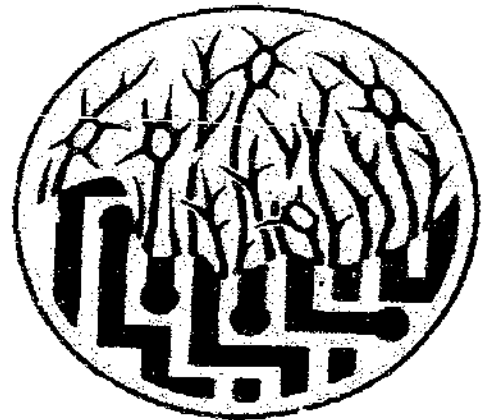


ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΕΥΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΘΕΜΑ: Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΝΕΥΡΩΝΙΚΩΝ ΔΙΚΤΥΩΝ ΣΤΗΝ ΑΝΑΠΤΥΞΗ
ΤΗΣ ΒΛΑΒΗΣ ΣΕ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ



ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ

ΚΑΤΕΡΕΛΟΣ ΔΙΟΝΥΣΙΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ

1. ΓΑΣΠΑΡΙΝΑΤΟΣ ΑΓΓΕΛΟΣ
2. ΣΚΕΥΗΣ ΓΕΡΑΣΙΜΟΣ
3. ΣΚΕΥΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΕΤΟΣ: 2006 - 2007

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1: ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

ΣΕΛΙΔΑ 3

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2: ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

ΣΕΛΙΔΑ 27

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3: ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΒΛΑΒΗΣ
ΣΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

ΣΕΛΙΔΑ 67

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4: ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ , ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ
ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

ΣΕΛΙΔΑ 116

1. ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

Η παραγωγή των ινών του βορίου και του καρβιδίου του πυριτίου στη δεκαετία του '60 και την πρόωρη δεκαετία του '70 επέτρεψε στην ενίσχυση των ελαφριών μετάλλων και ιδιαίτερα των κραμάτων αλουμινίου. Η ιδιαίτερη έρευνα στα ενισχυμένα ινώδη κράματα βορίου διεξήχθη στις ΗΠΑ στις αρχές της δεκαετίας του '70, που οδηγεί στις αεροδιαστημικές εφαρμογές στο διαστημικό όχημα ποκνών δρομολογίων και στα στρατιωτικά αεροσκάφη. Τα προβλήματα της χημικής αντίδρασης μεταξύ των ινών βορίου και της μήτρας στις θερμοκρασίες επάνω από 600 °C περιόρισαν τις τεχνικές επεξεργασίας στη σύνδεση διάχυσης των πλάσμα-ψεκασμένων λεπτών φύλλων. Πιο πρόσφατα η ανάπτυξη των επιστρωμάτων για να αποτρέψει την υποβάθμιση ινών και περισσότερων αδρανών ινών όπως το καρβίδιο και την αλουμίνα του πυριτίου έχει επιτρέψει στις υγρές μεθόδους επεξεργασίας μετάλλων για να αναπτυχθεί (τμήμα 3.2.2). Εντούτοις, τα περισσότερα σύνθετα μιτρών μετάλλων (MMCs) είναι ακόμα στο στάδιο ανάπτυξης, ή τα αρχικά στάδια της εμπορικής παραγωγής, και τόσο ευρέως δεν καθιερώνονται ως σύνθετα πολυμερών μιτρών.

τα σύνθετα μιτρών μετάλλων έχουν πολλά πλεονεκτήματα πέρα από τα μονολιθικά μέταλλα συμπεριλαμβανομένου ενός υψηλότερου συγκεκριμένου συντελεστή, μιας υψηλότερης συγκεκριμένης δύναμης, καλύτερων ιδιοτήτων στο ανυψωμένο θερμοκρασίες, χαμηλότερων συντελεστών της θερμικής επέκτασης και της καλύτερης αντοχής. Λόγω αυτών των ιδιοτήτων MMCs είναι υπό εξέταση για ένα ευρύ φάσμα των εφαρμογών, η ανθεκτικότητά τους είναι καλύτερη από τα μονολιθικά μέταλλα και είναι ακριβότερα αυτή τη στιγμή. ακαμψία, μεγαλύτερη κουρά και συμπεστικές δυνάμεις, και καλύτερες υψηλές ικανότητες θερμοκρασίας. Υπάρχουν επίσης πλεονεκτήματα σε μερικά από τα φυσικά tributes MMCs όπως καμία σημαντική ιδιότητα απορρόφησης υγρασίας, εύφλεκτο, υψηλές ηλεκτρικές και θερμικές αγωγιμότητες, και $resis -mcQ$ στις περισσότερες ακτινοβολίες

Κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας ή έτσι η δυνατότητα για τη βελτιωμένη σύνθετη απόδοση έχει καταδειχθεί πρώτιστα χρησιμοποιώντας τις τεχνικές στερεάς κατάστασης επεξεργασίας αν και η πιο πρόσφατα γρήγη κρατική επεξεργασία έχει κάνει τους ιδιαίτερους διασκελισμούς. Στην έναρξη του στερεάς κατάστασης που επεξεργάζεται το στερεό υλικό μιτρών είναι υπό μορφή είτε μορίων είτε φύλλου αλουμινίου. Με αυτές τις μορφές υπάρχει μια μεγάλη περιοχή επιφάνειας της υψηλής διαπαφής ενεργειακού στερεός-αερίου. Η στερεάς κατάστασης επεξεργασία περιλαμβάνει να φέρει τα μόρια ή το φύλλο αλουμινίου στη στενή επαφή με την ενίσχυση από όπου, στην εφαρμογή ενός κατάλληλου συνδυασμού θερμοκρασίας και πίεσης, μειώνεται η ελεύθερη ενέργεια του συστήματος από τη μήτρα παγιώνοντας για να δώσει στη χαμηλότερη ενέργεια τις solid-solid διαπαφές. Ο πραγματικός μηχανισμός από τον οποίο η υλική μεταφορά πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της σταθεροποίησης μπορεί να διαφέρει αλλά περιλαμβάνει αμετάβλητα τη διάχυση. Οι μέθοδοι που χρησιμοποιούν το φύλλο αλουμινίου καλούνται συνήθως διάχυση που συνδέει ενώ εκείνοι που χρησιμοποιούν τα μόρια τείνουν να αναφερθούν ως μεταλλουργία σκονών.

Το πρώτο στάδιο στη σύνδεση διάχυσης είναι να στριμωχτεί ένα χαλί ινών, που οι ίνες σε ισχύ είναι ένας πολυμερής σύνδεσμος, μεταξύ δύο φύλλων του φύλλου αλουμινίου για να διαμορφώσει μια πτυχή (σχήμα 3.1 (α), (β)). Σε μερικές περιπτώσεις αυτό ακολουθείται από τη σταθεροποίηση της πτυχής. Οι πτυχές κόβονται και συσσωρεύονται στην απαραίτητη ακολουθία (σχήμα 3.1 (γ)). Ο σωρός είναι έπειτα καντός που πιέζεται σε έναν κύβο για να διαμορφώσει το συστατικό (σχήμα 3.1 (δ)). Μερικά κράματα τιτανίου είναι σε θέση να υποβληθούν στις πολύ μεγάλες πλαστικές πιέσεις στην ένταση στις ανυψωμένες θερμοκρασίες θεωρούνται υπερπλαστικοί. Για αυτά τα κράματα η θερμοκρασία της σύνδεσης διάχυσης μπορεί να επιλεγεί προκειμένου να ωφεληθεί από την υπερπλαστική ροή της μήτρας γύρω από τις ίνες.

Η μεταλλουργία σκονών είναι ιδιαίτερα ταιριασμένη για την παραγωγή της ασυνεχούς ίνας, του μουστακιού ή ενισχυμένων των μόριο μετάλλων. Τα συστατικά αναμιγνύονται απλά και πιέζονται έπειτα, συχνά σε μια ανυψωμένη θερμοκρασία, για να παγιώσουν. Το στάδιο μίξης είναι κρίσιμο εάν ένα ομοιογενές υλικό με τις καλές ιδιότητες πρόκειται να παραχθεί. Αυτό το στάδιο πραγματοποιείται συνήθως κάτω από μια αδρανή ατμόσφαιρα προκειμένου να μειωθούν οι κίνδυνοι της έκρηξης και της κατάποσης. Επίσης οι καθαροί όροι απαιτούνται επειδή η μεγάλη περιοχή επιφάνειας των μορίων μπορεί να οδηγήσει στη μόλυνση είναι κοινή πρακτική να εξαερώσει για να αφαιρέσει όσο το δυνατόν περισσότερο των αερίων που απορροφώνται στην επιφάνεια και έπειτα μπορέστε πριν από τη σταθεροποίηση. Μια σειρά των μηχανικών μεθόδων εργασίας μπορεί να είναι χρησιμοποιημένος για τη συμπίεση όπως το σφυρηλατημένο κομμάτι, το κύλισμα και η εξώθηση. Μερικές φορές δύο μέθοδοι χρησιμοποιούνται στην επεξεργασία παραδείγματος χάριν η καυτή

συμπύση που παγιώνει ακολουθήσε από τη δευτεροβάθμια επεξεργασία για να λάβει την απαραίτητη μορφή. Η δευτεροβάθμια επεξεργασία έχει επίσης την ευεργετική επίδραση του χωρισμού οποιουδήποτε οξειδίου που ήταν παρόν περίπου τα μόρια μετάλλων.

Τα σύνθετα με την ενίσχυση μέχρι 50% μπορούν να παραχθούν από τη μεταλλουργία σκονών αλλά οι περισσότεροι κατασκευαστές περιορίζουν την ενίσχυση σε ένα μέγιστο περίπου 25% λόγω της ζημίας στις ίνες κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας και της απώλειας ανθεκτικότητας στα μέρη μεγάλης ποσότητας. Στην περίπτωση των ασυνεχών ινών και των μουστακίων κάποια ευθυγράμμιση της καθέτου αξόνων τους στο εφαρμοσμένο φορτίο πραγματοποιείται κατά τη διάρκεια της συμπύσης. Αυτό οδηγεί στην ανισότροπη συμπεριφορά με τις βελτιωμένες διαμήκεις ιδιότητες SiC το μουστάκι ενίσχυσε το αλουμίνιο είναι πλούσιοι κατ' αυτό τον τρόπο.

Η εργασία τα τελευταία χρόνια έχει επικεντρωθεί στην παραγωγή των σύνθετων μιτρών μετάλλων με την προσαρμογή των συμβατικών τεχνικών ρίψης. Τα σημαντικότερα εμπόδια σε αυτόν τον τύπο διαδικασίας μη-βρέχουν της ενίσχυσης και των δυσμενών αντιδράσεων μήτρα-ενίσχυσης λόγω των υψηλών θερμοκρασιών σχετικών. Οι διάφορες προσεγγίσεις ακολουθούνται για να υπερνικήσουν αυτά τα προβλήματα, η υπόσχεση όντας καλύπτοντας προηγουμένως την ενίσχυση με ένα κατάλληλο υλικό που προστατεύει από οποιεσδήποτε αντιδράσεις και που ενισχύει το βρέξιμο. Παραδείγματος χάριν, τα ειδικά βαθμολογημένα pyrolytic από γραφίτη επιστρώματα έχουν αναπτυχθεί για τη χρήση στις ίνες SiC σε μία προσπάθεια να ενισχυθεί wettability εις βάρος κάποιας μικρής απώλειας στις μηχανικές ιδιότητες. Εναλλακτικά το composi μιτρών μπορεί να τροποποιηθεί στην επεξεργασία ενίσχυσης. Έχει αναφερθεί ότι είναι δυνατό να παραχθούν οι ρίψεις αλουμινίου που ενισχύονται με την ίνα αλουμίνιας FP από την προσθήκη του λίθιου στο λειωμένο μέταλλο αλουμινίου. Αυτό διευκολύνει το βρέξιμο από το σχηματισμό ενός λι 20.Δ1 2 σπινέλιοσθ 3 στη διεπαφή ινών, χωρίς την προφανή υποβάθμιση των σύνθετων ιδιοτήτων. Εντούτοις υπάρχει ακόμα σημαντικό problems με μερικά μέταλλα στον παρόντα, η υγρή κρατική επεξεργασία δεν χρησιμοποιείται για το τιτάνιο και τα κράματά της λόγω της υψηλής ικανότητας αμέσου αντιδράσεως τους.

Η απλούστερη υγρή κρατική τεχνική, καλούμενη το ανακάτωμα λειωμένων μετάλλων, είναι να αναμιχθεί το μόριο, το μουστάκι ή η ασυνεχής ενίσχυση ινών με το λειωμένο μέταλλο και χυτός με το συμβατικό τρόπο. Ακόμη και με το ανακάτωμα, η ομοιόμορφη μίξη είναι δύσκολο να επιτευχθεί λόγω των διαφορών στην πυκνότητα μεταξύ της λειωμένων μήτρας και της ενίσχυσης, αν και η μίξη βελτιώνεται άδεια του λειωμένου μετάλλου για να δροσίσει σε ένα πιο ιξώδες διφασικό solid-liquid κράτος για το ανακάτωμα. Αυτή η τροποποίηση της ανακατώνοντας τεχνικής λειωμένων μετάλλων είναι vnown όπως comprocasting ή rheocasting. (Για να επιβεβαιώσει ότι είναι ευκολότερο να αναμιχθεί άθρα ομοιόμορφα σε ένα ρευστό ο πιο ιξώδης το ρευστό προσπαθήστε και (πυκνότερος από το ύδωρ) ή σπόροι χλόης (αναπτήρας από το ύδωρ) στο ύδωρ και :hen στην πιο ιξώδη κρέμα!) Υπάρχει ένα όριο περίπου 20 τόμων δεδομένου ότι η αποτελεσματική διασπορά της ενίσχυσης γίνεται δύσκολο αυτό το επίπεδο. Η ανακατώνοντας διαδικασία λειωμένων μετάλλων περιορίζεται στη συμβατική ρίψη και η χρήση είναι ακόμα περιορισμένα στο καπέλο εκείνων των κραμάτων έχουν μια ευρεία σειρά στερεοποίησης πέρα από την οποία υπάρχει.

Σε αντίθεση με το λειωμένο μέταλλο που ανακατώνει και που, η περισσότερη υγρή κατάσταση επεξεργάζεται η χρήση ενός προσχηματισμού που το υγρό πρέπει να διεισδύσει. Εάν - το brication πραγματοποιείται στην ατμοσφαιρική πίεση, κατόπιν κάποια είναι στήριξη στην τριχοειδή δράση για τη διήθηση. Αποδοτικότερη διήθηση επιτυγχάνεται με την χρήση μιας υψηλότερης εφαρμοσμένης πίεσης από ατμοσφαιρικός. "εφάρμοσε την πίεση π, η οποία πρέπει να υπερνικήσει τις δυνάμεις λόγω . το arvature του μηνίσκου στο μέτωπο διήθησης, δίνεται κοντά

ρίψη συμπύσεων (σχήμα 1.9). Ένας περιορισμός στο συστατικό που μπορεί να παραχθεί με αυτήν την διαδικασία επιβάλλεται από το μέγεθος του Τύπου που μπορεί να χρησιμοποιηθεί οικονομικά.

Η χρήση της εφαρμοσμένης πίεσης αερίου στο λειωμένο μέταλλο αφαιρεί αποτελεσματικά αυτό το πρόβλημα του μεγέθους. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα ένα αέριο είναι ότι οδηγεί σε μια γρηγορότερη διαδικασία και επομένως οποιαδήποτε ίνα ικανή την επαφή με το λειωμένο μέταλλο για τις σχετικά μικρές χρονικές περιόδους μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Αυτό σημαίνει ότι τα ακριβά επιστρώματα ινών δεν μπορούν να απαιτηθούν και επίσης ποικίλες διαφορετικές ίνες, όπως SiC, το β, το γ και το Al 20 3, μπορούν να ενσωματωθούν σε ένα υβριδικό σύνθετο για να πραγματοποιήσουν ένα πλήρως βελτιστοποιημένο σχέδιο. Η εφαρμογή της πίεσης από το αέριο παρά με τις μηχανικές διαδικασίες μειώνει επίσης την έκταση της θραύσης ινών και τη μη ευθυγράμμιση.

Εκτελέστε παρεμβάλλεται στον κύβο που είναι έπειτα κλειστό (α). Η αίθουσα που περιέχει το λειωμένο μέταλλο είναι εκκενωθέν (β) και έπειτα ένα αέριο που αναγκάζεται στην αίθουσα διά πίεση. Η πίεση του αερίου αναγκάζει το λειωμένο μέταλλο για να διεισδύσει τον προσχηματισμό (γ) η πίεση διατηρείται τη μικρή χρονική περίοδο που απαιτείται για τη στερεοποίηση.

η δυνατότητα της εκτενούς χημικής αντίδρασης. Ο έλεγχος της διάσπασης σε άτομα και της τροφής μορίων επιτρέπει σε ένα MMC με μια ομοιόμορφη διανομή των μορίων και της αποδεκτής πυκνότητας (χαρακτηριστικά > θεωρητική πυκνότητα 95%) για να παραχθεί σε ένα λογικό ποσοστό. Αυτή η τεχνική έχει χρησιμοποιηθεί κυρίως για τη μοριακή ενίσχυση SiC των κραμάτων αλουμινίου. Κάποια μορφή δευτεροβάθμιας επεξεργασίας υιοθετείται συνήθως μετά από την ομοαπόθεση.

Πολλές άλλες τεχνικές απόθεσης έχουν δοκιμαστεί για την επεξεργασία MMCs, δηλαδή χημική και φυσική απόθεση ατμού (π.χ., για το βολφράμιο), ηλεκτρολυτική επιμετάλλωση (κυρίως μήτρες νικελίου), επιμετάλλωση και ψεκασμός πλάσματος, αλλά δεν έχουν υιοθετηθεί ευρέως. Σε όλες τις περιπτώσεις η μήτρα κατατίθεται σε όλο έναν προσχηματισμό ινών. Ένα ελκυστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα μερικές από αυτή την τεχνολογία είναι ότι λειτουργούν στη χαμηλή θερμοκρασία και, υπό τον όρο ότι το πλήρες συστατικό παράγεται από την απόθεση, τις αντιδράσεις στη διεπαφή ενίσχυση-ινών ελαχιστοποιείται. Μερικές φορές εντούτοις, η απόθεση είναι *sim* πτυχή που χρησιμοποιείται για να παραγάγει μια πτυχή που παγιώνεται έπειτα με την καυτή συμπίεση

Η θερμική κλίση πρέπει να είναι τέτοια που μια επίπεδη δ-υγρή διεπαφή διατηρείται και η αύξηση της ευθυγραμμισμένης δομής είναι παρά να προαχθεί ο σχηματισμός φύτρων των φάσεων

Είναι σαφές ότι, κατά γενικό κανόνα, οι εκτενείς ενδιάμεσες αντιδράσεις πρέπει να αποφευχθούν εάν η βέλτιστη μηχανική απόδοση πρόκειται να επιτευχθεί με MMCs

Τα πλεονεκτήματα που MMCs έχουν πέρα από τα σύνθετα πολυμερών μητρών και τα μέταλλα αναφέρθηκαν στην εισαγωγή σε αυτό το κεφάλαιο. Οι επιλεγμένες σωματικές ιδιότητες θα συζητηθούν εδώ για να επεξηγήσουν μερικών από αυτά τα πλεονεκτήματα λεπτομερέστερα. Ο συντελεστής της θερμικής επέκτασης α των μετάλλων είναι μεγάλος, συνεπώς εκεί σημαντικές αλλαγές οργής στις διαστάσεις με τη θερμοκρασία που μπορεί να οδηγήσει με τα μεταλλικά συστατικά με τα στενά tolerances. Αντίθετα αποδοτικός της θερμικής επέκτασης της κεραμικής είναι πολύ χαμηλότερος και επομένως είναι Να εκπλήξει που η ενίσχυση με τις κεραμικά ίνες ή τα μόρια οδηγεί στο α . Παραδειγματος χάριν, για SiC είναι για το ένα πέμπτο και ένα τέταρτο "αυτό για το αλουμίνιο και το μαγνήσιο αντίστοιχα και, μέταλλα όταν ενισχύεται με το έκθεμα SiC η θερμική αντίσταση παραμόρφωσης, χρησιμοποιείται ως παράμετρος για την αξιολόγηση στις διαστημικές εφαρμογές που απαιτούν έναν υψηλό βαθμό του διαστατικού γ υπό τους όρους των ακραίων αλλαγών θερμοκρασίας. Το μαγνήσιο με τις ίνες άνθρακα έχει την ασυνήθιστη ιδιοκτησία μιας εξαιρετικά χαμηλής επέκτασης πέρα από ένα ευρύ φάσμα των θερμοκρασιών - κυρίως λόγω μηδέν διαμήκης συντελεστής επέκτασης των ινών άνθρακα - και αυτός πιθανό να βελτιώσει τη θερμική αντίσταση παραμόρφωσης από πέρα από το *litem* με την ενίσχυση ενός κράματος μαγνήσιου με την ίνα άνθρακα.

το σύνθετο αλουμίνιο μπορεί να είναι περισσότερο από να διπλασιάσει αυτού του αλουμινίου. Όχι *iprisingly* τα σύνθετα γίνονται *stiffer* ως ποσοστό της ενίσχυσης - πτυχές (σχήμα 3.10). Οι συντελεστές που αναφέρονται μέχρι τώρα για την ευθυγραμμισμένη συνεχή ίνα σύνθετη ήταν αξονικοί ή διαμήκεις συντελεστές, δηλ., μετρημένος παράλληλος στον άξονα. Θα πραγματοποιήσουμε έναν υπολογισμό αργότερα στο βιβλίο τώρα που μπορεί να είναι ο συντελεστής που μετριέται κανονικός στην κατεύθυνση ινών λιγότερο από το διαμήκη συντελεστή.

που εμφανίζεται με όλα τα υλικά κάτω από ορισμένους συνδυασμούς πίεσης και θερμοκρασίας. Η κλασική καμπύλη τρεις-σκηνικού ερπυσμού, που ισχύει στα μέταλλα, (α) η γραμμική μερίδα της καμπύλης ερπυσμού (β στο γ στον αριθμό) αντιστοιχεί στον ερπυσμό σταθερού κράτους

Τώρα στρέψτε την προσοχή μας σε MMCs και δείτε εάν εκθέτουν την κλασική καμπύλη τρεις-σκηνικού ερπυσμού. Οι καμπύλες ερπυσμού της παρόμοιας μορφής βρίσκονται μόνο στη συνεχή ίνα MMCs εάν η μήτρα και η ενίσχυση έχουν τα παρόμοια σημεία τήξης και συνεπώς και τον δύο ερπυσμό στα συγκρίσιμα ποσοστά. Αυτό σημαίνει αποτελεσματικά ότι οι τρεις-σκηνικές καμπύλες παρατηρούνται μόνο την ίνα μετάλλων που ενισχύονται για, και κάποιο κανονικό, σύνθετα.

Εντούτοις ακόμη και σε αυτές τις περιπτώσεις που τα στοιχεία ερπυσμού σταθερού κράτους η εφαρμογή της εξίσωσης δίνει στις τιμές για το ενεργειακό q και τον εκθέτη η ενεργοποίησης πίεσης που προφανώς με την πίεση και τη θερμοκρασία.

Οι καμπύλες ερπυσμού των συνεχών κεραμικών ενισχυμένων ίνα μετάλλων είναι επειδή στις θερμοκρασίες ενδιαφέρουσες για MMCs το ποσοστό ερπυσμού ϵ των ινών θα είναι αμελητέο σε σύγκριση με τον ερπυσμό έφαγε της μήτρας (τα ποσοστά ερπυσμού μπορούν να διαφέρουν από διάφορα μεγέθη). ακολουθεί ότι η παραμόρφωση των ινών είναι ουσιαστικά ελαστική και έτσι

στο βαθμό. Κατά συνέπεια, ο ερπυσμός εμποδίζεται και αντί *raching* το σταθερό κράτος συρθείτε το ποσοστό ερπυσμού των σύνθετων πτώσεων σταδιακά φυλά μηδέν ποσοστό όπως διευκρινίζεται στο σχήμα 3.18 (β). Δεδομένου ότι δεν υπάρχει κανένα στήριγμα Η περιπλοκή ενός ποσοστού ερπυσμού που πλησιάζει ασυμπτωτικά μηδέν η να μην προκύψει εάν η κεραμική ενίσχυση είναι σε μοριακό, ασυνεχής μορφή ή μουστακιών (ή το σύνθετο τονίζεται εγκάρσιως) ως μήτρα έπειτα σέρνεται γύρω από την

ενίσχυση. Παραδείγματος χάριν, για τις κοντές ίνες αυτά τα eads σε ένα πεπερασμένο ποσοστό ερπυσμού σταθερού κράτους με το ποσοστό που αυξάνεται με το λόγω διάστασης. Η ζημία όπως ο κενός σχηματισμός στην ίνα τελειώνει στο ποσοστό ερπυσμού με συνέπεια τον τριτογενή ερπυσμό

"atigue ορίζεται ως η αποτυχία ενός συστατικού κάτω από το επαναλαμβανόμενο μιας πίεσης μικρότερης από αυτή που απαιτείται για να προκαλέσει την αποτυχία σε έναν ενιαίο. Στην κούραση μια ρωγμή αρχίζει και αυξάνεται αργά στο πλαίσιο της δράσης φ την κυμαινόμενη πίεση έως ότου τελικά εμφανίζεται η αποτυχία σε ένα καταστροφικό χωρίς την ακαθάριστη διαστρέβλωση που προηγείται του γεγονότος.

Η αποτυχία MMCs κάτω από την κύμανση ή τις κυκλικές πιέσεις δεν ήταν

όπως ακριβώς και τις ιδιότητες κάτω από αποκαλούμενο στατικό που συζητείται στα προηγούμενα μηχανικά τμήματα ιδιοτήτων. Στην κούραση MMCs οι περιοχές έναρξης ρωγμών είναι συχνά εσωτερικές ατέλειες όπως τα κεραμικά μόρια που παραμένουν από την παραγωγή μουστακίων, Παρά αυτές τις περιοχές έναρξης ρωγμών η ενίσχυση του α etal μπορεί να οδηγήσει στη σημαντική βελτίωση στην αντίσταση κούρασης όπως "δικοί από την αύξηση στην πίεση έπρεπε να προκαλέσουν την αποτυχία σε 10 7 κύκλους όριο αντοχής 10 7 κύκλων Εντούτοις εκεί srs παραδείγματα στη λογοτεχνία όπου η αντίσταση κούρασης είναι με την ενίσχυση

Η σημαντικότερη χρήση των multifilamentary σύνθετων είναι ως windings για τους υπεραγωγούς μαγνήτες. Οι μηχανικές ιδιότητες είναι σημαντικές όπως το σύνθετο τονίζεται κατά τη διάρκεια της συνέλευσης του μαγνήτη και κατά τη διάρκεια της υπηρεσίας. Οι δυνάμεις στους υπεραγωγικούς μαγνήτες κατά τη διάρκεια της λειτουργίας είναι ιδιαίτερες και έχει διαπιστωθεί ότι η εκτατή πίεση στο σύνθετο μπορεί να φθάσει σε 100 MPa. Οι μηχανικές ιδιότητες των multifilamentary υπεραγωγών είναι καλύτερες από κάποιος πρώτα να αναμείνει για δύο λόγους. Κατ' αρχάς, η διαφορά μεταξύ των συντελεστών της θερμικής επέκτασης της μήτρας χαλκού και το NB 3sn οδηγούν στο μεσομεταλλικό δοκιμάζοντας μια συμπίεστική πίεση μέχρι 0,6% στην ψύξη από τη θερμοκρασία θερμικής επεξεργασίας. Κατά συνέπεια ενώ το μονολιθικό NB 3sn έχει μία ολκιμότητα λιγότερο από 0,2%, το μεσομεταλλικό στρώμα δεν αποτυγχάνει σε ένα σύνθετο έως ότου επιτυγχάνονται οι εκτατές πιέσεις της τάξης 0,8%. Αφετέρου λόγω της ανθεκτικότητας του πυρήνα νιόβιου microcracks στο NB3 δεν οδηγούν στην άμεση αποτυχία όπως τους σταματούν αρχικά στη διεπαφή μεσομεταλλικός-πυρήνων. Οι μηχανικές ιδιότητες επομένως καθορίζονται κατά ένα μεγάλο μέρος από το μέρος όγκου του πάχους στρώματος και της συμπίεστικής πίεσης.

Το αλουμίνιο και τα κράματά του είναι ελαφριά και χρησιμοποιούνται ευρέως στις εφαρμογές μεταφορών. Υπάρχει ιδιαίτερο ενδιαφέρον για την παραγωγή των βασισμένων σύνθετων κραμάτων αλουμινίου χαμηλότερου κόστους με τις βελτιωμένες ιδιότητες πέρα από τα μονολιθικά αντίστοιχά τους. Κατά γενικό κανόνα και οι δαπάνες υλικού και επεξεργασίας είναι υψηλές για τη συνεχή ίνα MMCs και ως εκ τούτου πολλές επιχειρήσεις έχουν επικεντρωθεί τα τελευταία χρόνια στα μοριακών ή ασυνεχών ινών σύνθετα μουστακίων.

Το καρβίδιο του πυριτίου είναι εύκολα διαθέσιμο ως μουστακία και μόρια, τα τελευταία που είναι λιγότερο ακριβά και λιγότεροι ενός κινδύνου στην υγεία. Για αυτούς τους λόγους υπάρχουν διάφοροι κατασκευαστές που παράγουν τα μοριακά ενισχυμένα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούν μια σειρά των διαδρομών συμπεριλαμβανομένης της ρίψης, της ομοαπόθεσης και της μεταλλουργίας σκονών. Μερικές από τις ιδιότητες αυτών των σύνθετων έχουν παρουσιαστεί ήδη, π.χ., θερμική επέκταση, συντελεστής των νεολαιών και δύναμη,

Μερικά από τα κράματα αλουμινίου που χρησιμοποιούνται ως μήτρα είναι θερμότητα θεραπεύσιμη, δηλ., η πίεση παραγωγής, η σκληρότητα και η δύναμη μπορούν να αυξηθούν από έλεγχο

Τεχνική κεραμική

Η τεχνική κεραμική είναι συνήθως κρυστάλλινη και οι δομές κρυστάλλου τους είναι γενικά πύο σύνθετες από τις απλές μεταλλικές δομές Η σύνδεση είναι επίσης μεταβλητή μπορεί να είναι ιοντική, ομοιοπολική ή έχει αναμίξει τα ιοντικός-ομοιοπολικά χαρακτηριστικά. Ο ομοιοπολικός δεσμός είναι ισχυρότερος από τον ιοντικό δεσμό και είναι κατευθυντικός. Μια συνέπεια της σύνδεσης είναι ότι η κεραμική έχει τα υψηλά σημεία τήξης. Η σύνδεση, μαζί με τη σύνθετη δομή κρυστάλλου, καθιστά την κεραμική εύθραυστη αλλά σχετικά ισχυρή.

Λόγω των υψηλών σημείων τήξης τους πολύ λίγη κεραμική παράγεται με την τήξη και τη ρίψη. Όσον αφορά στη σύγχρονη τεχνική κεραμική όπως η αλουμίνα, τις περισσότερες παράγονται μέσω μιας διαδρομής σκονών. Το πρώτο στάδιο στην παραγωγή ενός συστατικού είναι να πιεστεί η σκόνη συν έναν σύνδεσμο στην απαραίτητη μορφή που χρησιμοποιεί μια αρκετά υψηλή πίεση έτσι ώστε σχετικά πυκνός και ισχυρός πράσινο ένας συμπαγής, που μπορεί να αντιμετωπιστεί, διαμορφώνεται. Είναι σημαντικό ότι η πράσινη συμφωνία είναι ομοιόμορφης πυκνότητας ειδικά για τους οι ιδιότητες θα ποικίλουν σε όλο το

τελειωμένο συστατικό. Η ομοιομορφία της πυκνότητας

Κατά συνέπεια ένας από τους κύριους στόχους στην παραγωγή των κεραμικών σύνθετων μιτρών είναι να αυξηθεί η ανθεκτικότητα. Φυσικά αναμένεται επίσης, και πράγματι συχνά βρίσκεται, ότι υπάρχει μια συνακόλουθη βελτίωση στη δύναμη και στην ακαμψία. Είναι σαφές από αυτόν τον αριθμό ότι η ενίσχυση με τα μόρια και τις συνεχείς ίνες έχει το προβάδισμα σε μια αύξηση στην ανθεκτικότητα αλλά ότι η αύξηση είναι σημαντικότερη για τα τελευταία. Και το μονολιθικό και μοριακό ενισχυμένο σύνθετο αποτυγχάνει κατά τρόπο καταστροφικό, ο οποίος αντιπαραβάλλει με την αποτυχία του συνεχούς σύνθετου ινών όπου μια ουσιαστική ικανότητα μεταφοράς φορτίων διατηρείται μετά από την αποτυχία έχει αρχίσει. Επομένως όχι μόνο έχει το συνεχές σύνθετο ινών μια καλύτερη ανθεκτικότητα αλλά ο τρόπος αποτυχίας είναι πιο επιθυμητός. Εντούτοις, οι ίνες είναι μια ακριβότερη ενίσχυση από τα μόρια η επεξεργασία είναι πιο σύνθετη, επομένως η βελτίωση στην ανθεκτικότητα συνδέεται με ένα πρόσθετο φορτίο δαπανών η επεξεργασία καθοδηγεί γιατί CMCs περιλαμβάνουν τις υψηλές θερμοκρασίες και μπορούν μόνο που υιοθετείται με τις ενισχύσεις υψηλής θερμοκρασίας. Ακολουθεί ότι δεν ήταν ίνες και μυστάκια της κεραμικής υψηλής θερμοκρασίας, όπως το πυρίτιο, ήταν εύκολα διαθέσιμο ήταν εκεί πολύ ενδιαφέρον για CMCs. Ο υψηλός

οι ιδιότητες *empereature* της ενίσχυσης είναι σημαντικές επίσης κατά τη διάρκεια *ernice*. Μια σημαντική ιδιότητα της μονολιθικής κεραμικής είναι ότι διατηρούν τις ιδιότητές τους στις υψηλές θερμοκρασίες και αυτό το χαρακτηριστικό διατηρείται μόνο μέσα

ΓMCs εάν οι ενισχύσεις έχουν επίσης τις καλές ιδιότητες υψηλής θερμοκρασίας. Ως εκ τούτου, υπάρχει μόνο περιορισμένο ενδιαφέρον για τη σκλήρυνση της κεραμικής των ενισχύσεων των υλικών, όπως τα όλκιμα μέταλλα, τα οποία χάνουν το τους

Τα άτομα στα κρυστάλλινα υλικά τακτοποιούνται με έναν διαταγμένο τρόπο πέρα από τις απόστάσεις λέμε ότι υπάρχει μεγάλης ακτίνας διαταγή. Αντίθετα γυαλιά ένας πύο διαταραγμένος, αλλά όχι απολύτως τυχαίος, ρύθμιση των ατόμων τα γυαλιά λέγονται για να έχουν μια περιορισμένου φάσματος διαταγμένη δομή (σχήμα 4.2 (β)). Οι διαφορές μεταξύ του κρυστάλλινου και υαλώδους κράτους γίνονται κατανοητές καλύτερα ο προσχηματισμός και ένας γυμνοσάλιαγκας γυαλιού παρεμβάλλονται σε μια κυλινδρική φόρμα. Η εφαρμογή της θερμότητας και της πίεσης αναγκάζει το ρευστό γυαλί στους πόρους στον προσχηματισμό και, μετά από να δροσίσει, ο σύνθετος σωλήνας εκτινάσσεται από τη φόρμα.

Ορισμένη κεραμική μπορεί να παραχθεί από την πυρόλυση ενός πολυμερούς σώματος. Αυτοί κεραμικός-που παράγουν τα πολυμερή σώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί του πηλού στη διαδρομή παραγωγής για τα συνεχή σύνθετα ινών που διευκρινίζονται στο σχήμα 4.6, ?ut συχνότερα που υιοθετούνται για την υγρή διαπότιση μιας μεταρρύθμισης. Μετά από τη διαπότιση μια θερμική επεξεργασία απαιτείται στο *rytolyse* το *oolymer*. Η θερμοκρασία πυρόλυσης είναι σχετικά χαμηλή, χαρακτηριστικά 600-1000 °C, λhich μειώνει οποιαδήποτε υποβάθμιση της ενίσχυσης. Εντούτοις, το κεραμικό *Yield* είναι χαμηλό, γενικά λιγότερο από 60% και ως εκ τούτου πολλαπλάσιο πολυμερές σώμα *impregnation* - οι κύκλοι πυρόλυσης απαιτούνται στο πραγματοποιημένο υλικό υψηλής πυκνότητας. Όπως ^e που φαίνεται αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο αυτό είναι μια τυποποιημένη μέθοδος για τα σύνθετα άνθρακα-άνθρακα αλλά ισχύει επίσης σε άλλο, π.χ., την πυρόλυση του *polysilastylene*.

Sol-gel επεξεργασία

Το κολλοειδές διάλυμα είναι μια διασπορά των μικρών μορίων λιγότερο από 100 NM που λαμβάνεται συνήθως από την πτώση ως αποτέλεσμα μιας αντίδρασης στη λύση. Η εφαρμογή της θερμότητας και της πίεσης αναγκάζει το ρευστό γυαλί στους πόρους στον προσχηματισμό και, μετά από να δροσίσει, ο σύνθετος σωλήνας εκτινάσσεται από τη φόρμα. η καυτή πιάζοντας θερμοκρασία πρέπει να επιλεγεί προσεκτικά εάν η απαραίτητη μικροδομή, και ως εκ τούτου ιδιότητες, πρόκειται να ληφθεί. Είναι ουσιαστικό ότι η συμπύκνωση είναι πλήρης προτού η κρυστάλλωση να γίνει καλά καθιερωμένη η κρυστάλλωση δίνει μια αποτελεσματική αύξηση στο ιξώδες που εμποδίζει τη συμπύκνωση και οδηγεί στο πορώδες και τη φτωχή δύναμη.

Μια σειρά της γυαλί-κεραμικής, κάθε μια που έχει τις διαφορετικές κρυστάλλινες φάσεις, έχει χρησιμοποιηθεί για τη μήτρα, αλλά η ευρύτατα ερευνημένη γυαλί-κεραμική σε αυτό το πλαίσιο είναι εκείνοι βασισμένοι στο σύστημα λίθιου *aluminosilicate* (LAS). Επομένως θα επεξηγήσουμε τη συμπεριφορά των γυαλί-κεραμικών σύνθετων μιτρών χρησιμοποιώντας τα παραδείγματα από το σύστημα LAS. Τα συστατικά της χαρακτηριστικής γυαλί-κεραμικής από αυτό το σύστημα. Η σημαντικότερη φάση κρυστάλλου στην γυαλί-κεραμική LAS είναι β - *spodumene* και η μέγιστη θερμοκρασία εργασίας των μονολιθικών δειγμάτων είναι περίπου 1000 °C για το *λας-Ι* που ανέρχεται σε 1200 °C για *λας-III*. Ο συντελεστής των νεολαιών θερμοκρασίας *δωματίου* LAS είναι λιγότερο από 100 GPa έναντι των τιμών πάνω από 200 GPa για τις ίνες *SiC*. Επομένως υπάρχει ιδιαίτερη δυνατότητα για την αύξηση της ακαμψίας

από την ενσωμάτωση αυτών των ινών. Τα στοιχεία για τα ομοιοκατευθυνόμενα και διαγώνιος-χειρισμένα επιβεβαιώνουν ότι μια βελτίωση στη διαμήκη ακαμψία επιτυγχάνεται από την ενίσχυση με τις ίνες SiC. Οι τιμές για το ομοιοκατευθυνόμενο σύνθετο είναι σε λογική συμφωνία με εκείνους που προβλέπονται από έναν απλό νόμο των μιγμάτων 1. Οι τιμές για το ομοιοκατευθυνόμενο σύνθετο είναι σε λογική συμφωνία με εκείνους που προβλέπονται από έναν απλό νόμο των μιγμάτων που κατατέθηκε στον αναγνώστη. Η βελτίωση στην ακαμψία δεν είναι, φυσικά, έτσι μπαρκαρισμένη για τα σύνθετα με μια πιο σύνθετη ρύθμιση της ενίσχυσης, π.χ., για ένα διαγώνιος-χειρισμένο σύνθετο που ο συντελεστής των νεολαιών είναι μόνο 118 GPa έναντι 133 GPa για τον

Η σημαντικότερη εφαρμογή των σύνθετων άνθρακα-άνθρακα με το περιεχόμενο πορώδους στη σειρά 70-90% είναι ως μόνωση στις υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά τα σύνθετα είναι επίσης γνωστά ως συνδεμένη άνθρακα ή άνθρακα, CBCF, και μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν υπό κενό ή σε μια αδρανή ατμόσφαιρα όπως η οξειδωση εμφανίζεται στις θερμοκρασίες επάνω από περίπου 400 °C.

με την εξέταση ενός υλικού που μπορεί να υπάρξει σε καθένα κράτος. Το πυρίτιο (SiO₂) είναι ένα τέτοιο υλικό.

Εάν το πυρίτιο λειώνει και δροσιμένος πολύ αργά θα κρυσταλλώσει σε μια συγκεκριμένη θερμοκρασία τ_m, αποκαλούμενη το πάγωμα ή το σημείο τήξης, κατά τρόπο ίδιο σε αυτός ενός μετάλλου. Ο συγκεκριμένος όγκος ως λειτουργία της θερμοκρασίας εκθέτει μια ασυνέχεια στο σημείο τήξης και η λανθάνουσα θερμότητα εξελίσσεται όπως παρουσιάζεται από μια εξωθερμική αιχμή σε μια πλοκή διαφορικής θερμικής ανάλυσης. Από αυτές τις αλλαγές μπορούμε να συναγάγουμε ότι υπάρχουν σημαντικές διαφορές στις ατομικές ρυθμίσεις στις υγρές και κρυστάλλινες καταστάσεις. Το πυρίτιο μπορεί να κρυσταλλώσει με διάφορες αλλοτροπικές μορφές που μπορούν να θεωρηθούν ως μεγάλης ακτίνας διαταγμένο δίκτυο των ιόντων οξυγόνου, σε ένα κυβικό ή εξαγωνικό δικτυωτό πλέγμα τύπων, με τα ιόντα πυριτίου στα tetrahedral διαστήματα μεταξύ τους αυτό παρουσιάζεται σχηματικά σε δύο διαστάσεις

Όταν το πυρίτιο δροσιζεται γρηγορότερα από το λειωμένο κράτος υπάρχει ανεπαρκής χρόνος για τα ιόντα να επιτευχθεί η μεγάλης ακτίνας διαταγή του κρυστάλλινου κράτους και ο συγκεκριμένος όγκος εναντίον της θερμοκρασίας και οι πλοκές DTA δίνονται από τις διαστιγμένες γραμμές στο. Η θερμοκρασία τ_g σε αυτόν τον αριθμό είναι η θερμοκρασία μετάβασης γυαλιού, η οποία δεν είναι μια καθορισμένη με σαφήνεια θερμοκρασία όπως το τ_m αλλά εξαρτάται από το ποσοστό

ψύξης. Αυτό Microcracking λόγω του μετασχηματισμού επιτρέπει στο υγρό για να διαπεράσει περαιτέρω στο υλικό και για να διαδώσει το μετασχηματισμό στα μεγαλύτερα βάθη. Η απώλεια της ικανότητας για τη σκλήρυνση μετασχηματισμού, μαζί με τις μεγάλες ρωγμές που διαμορφώνονται από τη σύνδεση microcracks, παράγει μια χαρακτηρισμένη υποβάθμιση στη μηχανική απόδοση. Ήδη έχουμε δει ότι η ενδιάμεση δύναμη είναι μια λειτουργία της θερμικής επεξεργασίας και σύνθεσης μιτρών. Έχει καθοριστεί ότι σε μερικά γυαλί-κεραμικά συστήματα μητρών, συμπεριλαμβανομένου LAS, ένα πλούσιο ενδιάμεσο στρώμα άνθρακα αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της επεξεργασίας του σύνθετου και αυτό είναι αρμόδιο για τη χαμηλή ενδιάμεση δύναμη και τη χαρακτηρισμένη βελτίωση στην ανθεκτικότητα. υπάρχει επίσης ένα δεύτερο στρώμα αντίδρασης των λεπτών μορίων NbC.

Στην πίεση στην οποία οι πιο αδύνατες ίνες αποτυγχάνουν η μήτρα φέρνει ένα αμελητέο φορτίο. Ακολουθεί ότι η διαμήκης εκτατή δύναμη, σιτ, ενός ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου είναι περίπου

Μια συνέπεια της δομής ανοικτών δικτύων του είναι ότι το γυαλί μπορεί εύκολα να προσαρμόσει των διαφορετικών ειδών. Αυτά τα άτομα μπορούν να αναστατώσουν τη συνοχή του δικτύου ή να συμβάλουν στο δίκτυο. Τα πρώτα είναι γνωστά ως modifiers δικτύων, π.χ., νάτριο και τελευταία ως διαμορφωτές δικτύων,

Ένα γυαλί καλείται γυάλινο στερεό, έχει μια υψηλότερη ελεύθερη ενέργεια από το κρυστάλλινο κράτος και είναι επομένως μετασταθέν. Υπό ορισμένους όρους είναι δυνατό να κρυσταλλώσει, ή, ένα γυαλί για να διαμορφώσει έναν γυαλί-κεραμικό. Η γυαλί-κεραμική ορίζεται ως τα λεπτόκοκκα πολυκρυσταλλικά υλικά που διαμορφώνονται όταν τα γυαλιά μιας κατάλληλης σύνθεσης είναι θερμικά επεξεργασμένα και ως εκ τούτου υποβάλλονται στην ελεγχόμενη κρυστάλλωση. Είναι σημαντικό να υπογραμμιστεί ότι δεν μπορούν να κρυσταλλωθούν όλα τα γυαλιά για να διαμορφώσουν έναν γυαλί-κεραμικό - μερικά γυαλιά είναι πάρα πολύ σταθερά και δύσκολο να κρυσταλλωθούν ενώ άλλοι κρυσταλλώνουν πάρα πολύ εύκολα - μόνο ορισμένες συνθέσεις είναι υποκείμενα στην κρυστάλλωση με έναν ελεγχόμενο τρόπο.

Ένας γυαλί-κεραμικός δεν είναι πλήρως κρυστάλλινος χαρακτηριστικά τουλάχιστον 50% και τουλάχιστον 98% του όγκου μπορεί να είναι κρυστάλλινο. Οι ιδιότητες εξαρτώνται από τις ιδιότητες και τα μέρη όγκου του υπόλοιπου γυαλιού και της κρυστάλλινης φάσης (σ). Ένας γυαλί-κεραμικός έχει τις ανώτερες μηχανικές ιδιότητες στο γυαλί γονέων του και μπορεί επίσης να εκθέσει τις ασυνήθιστες ιδιότητες όπως ο εξαιρετικά μικρός συντελεστής της θερμικής επέκτασης ορισμένων συνθέσεων στο Li₂O-Al₂O₃-SiO₂ σύστημα.

Μια από την έλξη της μονολιθικής γυαλί-κεραμικής είναι ότι το γυαλί γονέων μπορεί να διαμορφωθεί

χρησιμοποιώντας διάφορη σχετικά ανέξοδη διαμόρφωση

Τα βασικά στάδια μιας CVI διαδικασίας παρουσιάζονται στο σχήμα 4.10. Η άρνηση αντιδραστηρίων είναι στερεά, υγρά ή αέρια στη θερμοκρασία δωματίου. Τα υγρά ή τα στερεά είναι καθισμένα για να αυξήσουν τις πιέσεις ατμού τους και ως εκ τούτου να αυξήσουν σε ένα αποδεκτό *evel* το ποσό αντιδραστηρίων στο αεριώδες κράτος. Τα αεριώδη αντιδραστήρια είναι επιλέγω-επάνω "από ένα ρέοντα αέριο, γνωστό ως αέριο μεταφορέων, και που μεταφέρεται

αυτός αντιδραστήρας. Το αεριώδες αντιδραστήριο διεισδύει το θερμαμένο τοποθετημένο υπόστρωμα π ο αντιδραστήρας μια χημική αντίδραση εμφανίζεται στο αεριώδες κράτος και την απόθεση

φ που η μήτρα πραγματοποιείται. Αν και το ποσοστό απόθεσης είναι γρηγορότερο απ' ότι για το post άλλες διαδικασίες απόθεσης ατμού είναι ακόμα σχετικά αργή, το μέγιστο ποσοστό που είναι μόνο της διαταγής 2500 Τα απόβλητα αποχέτευσης, τα οποία του αερίου μεταφορέων, μερικώς αποσυντεθειμένα αντιδραστήρια και μερικά προϊόντα αντίδρασης, πρέπει να αφαιρεθεί συνεχώς. *echniques and then heat treated to crystallize it. This is the conventional production method but in some cases a powder route, as previously described for technical ceramics, is employed. The powdered parent glass is pressed into the desired shape and the green compact heat treated to sinter*

nd crystallize. It is generally found that the sintering route yields better mechanical properties.

πορώδες είναι επομένως απίθανο ότι τα σύνθετα υψηλής απόδοσης θα παραχθούν μ' αυτό τον τρόπο.

Μέχρι τώρα οι μέθοδοι που περιλαμβάνουν τους πηλούς είναι κατάλληλες για τις ενισχύσεις από τα μόρια, τα μουστάκια και τις τεμαχισμένες ίνες αλλά τις μη συνεχείς ίνες. Βγάζουμε τώρα την προσοχή στην ο συνηθέστερα υιοθετημένη μέθοδο πηλού για τα συνεχή ενισχυμένα ίνα σύνθετα. Αυτό αναπτύχθηκε περίπου είκοσι έτη πριν στο Ηνωμένο Βασίλειο για την παραγωγή των σύνθετων μιτρών γυαλιού αλλά τώρα επίσης ευρέως χρησιμοποιώ για τα γυαλί-κεραμικά σύνθετα μιτρών. Η οικεία μίξη των συνεχών ινών και του γυαλιού (γυαλί γονέων μέσα η περίπτωση ενός γυαλί-κεραμικού) επιτυγχάνεται με το σχεδιασμό των δεσμών των ινών, που καλούνται ρυμουλκήσεις, μέσω ενός πηλού του κονιοποιημένου γυαλιού στο ύδωρ και ένας υδροδιαλυτός σύνδεσμος ρητίνης (σχήμα4.6). Οι ρυμουλκήσεις, που γονιμοποιούνται με τον πηλό, προς mandrel για να διαμορφώσουν μια monolayer ταινία. Η ταινία κόβεται στις πτυχές που συσσωρεύονται στην απαραίτητη ακολουθία συσσώρευσης, π.χ., ομοιοκατευθυνόμενη, διαγώνιος-που χειρίζεται, κ.λπ., πριν από την ουδετεροποίηση του συνδέσμου. Αυτό ακολουθείται με την καυτή συμπίεση για να παγιώσει τη μήτρα. Στο γυαλί-κεραμικό σύνθετο παραγωγή που κάποια κρυστάλλωση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του καυτού πιάζοντας σταδίου αλλά μια πρόσθετη θερμική επεξεργασία μπορεί να απαιτηθεί για να ολοκληρώσει devitrification.

οι τεχνικές διήθησης λειωμένων μετάλλων καθιερώνονται καλά ή σύνθετα μιτρών μετάλλων αυτών των τεχνικών για CMCs έχουν συναντηθεί με μόνο περιορισμένη επιτυχία μέχρι τώρα λόγω (α) των reactions με την ενίσχυση λόγω των υψηλών θερμοκρασιών τήξης της refractory κεραμικής και της ικανότητας άμεσου αντιδράσεως των λειωμένων γυαλιών, και (β) της χαμηλής διήθησης ποσοστών f ως αποτέλεσμα των υψηλών ιξωδών. Ο επιτυχέστερος των τεχνικών Tiel είναι

η περίπτωση ενός γυαλί-κεραμικού επιτυγχάνεται με το σχεδιασμό των δεσμών των ινών, που καλούνται ρυμουλκήσεις, μέσω ενός πηλού του κονιοποιημένου γυαλιού στο ύδωρ και ένας υδροδιαλυτός σύνδεσμος ρητίνης. Οι ρυμουλκήσεις, που γονιμοποιούνται με τον πηλό, προς mandrel για να διαμορφώσουν μια monolayer ταινία. Η ταινία κόβεται στις πτυχές που συσσωρεύονται στην απαραίτητη ακολουθία συσσώρευσης, π.χ., ομοιοκατευθυνόμενη, διαγώνιος-που χειρίζεται, κ.λπ., πριν από την ουδετεροποίηση του συνδέσμου. Αυτό ακολουθείται με την καυτή συμπίεση για να παγιώσει τη μήτρα. Στο γυαλί-κεραμικό σύνθετο παραγωγή που κάποια κρυστάλλωση εμφανίζεται κατά τη διάρκεια του καυτού πιάζοντας σταδίου αλλά μια πρόσθετη θερμική επεξεργασία μπορεί να απαιτηθεί για να ολοκληρώσει devitrification. Το μικρογράφημα παρουσιάζει το πλούσιο σε ίνες περιεχόμενο και καλή ευθυγράμμιση αποκτήσιμα μ' αυτό τον τρόπο.

ο προσχηματισμός και ένας γυμνοσάλιαγκας γυαλιού παρεμβάλλονται σε μια κυλινδρική φόρμα. Η εφαρμογή της θερμότητας και της πίεσης αναγκάζει το ρευστό γυαλί στους πόρους στον προσχηματισμό και, μετά από να δροσίσει, ο σύνθετος σωλήνας εκτινάσσεται από τη φόρμα.

Ορισμένη κεραμική μπορεί να παραχθεί από την πυρόλυση ενός πολυμερούς σώματος. Αυτοί κεραμικός-που παράγουν τα πολυμερή σώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν αντί του πηλού στη διαδρομή παραγωγής για τα συνεχή σύνθετα ινών συχνότερα που υιοθετούνται για την υγρή διαπότιση μιας μεταρρύθμισης. Μετά από τη διαπότιση μια θερμική επεξεργασία απαιτείται στο pyrolyse το polymer. Η θερμοκρασία πυρόλυσης είναι σχετικά χαμηλή, χαρακτηριστικά 600-1000 °C μειώνει οποιαδήποτε υποβάθμιση της ενίσχυσης. Εντούτοις, το κεραμικό Yield είναι χαμηλό, γενικά λιγότερο από 60% και ως εκ τούτου πολλαπλάσιο πολυμερές σώμα οι κύκλοι πυρόλυσης απαιτούνται στο πραγματοποιημένο υλικό υψηλής πυκνότητας. Όπως ^ε που φαίνεται αργότερα σε αυτό το κεφάλαιο, αυτό είναι μια τυποποιημένη μέθοδος για τα σύνθετα άνθρακα-άνθρακα μιας κεραμικής μήτρας από την αντίδραση μεταξύ ενός

λειωμένου μετάλλου και ενός αερίου, π.χ., λειωμένο αλουμίνιο που αντιδρά με το οξυγόνο στην αλουμίνα μορφής. Η αύξηση του κεραμικού εμφανίζεται εξωτερικά από την αρχική επιφάνεια μετάλλων και μέσω ενός προσχηματισμού όπως φαίνεται στο σχήμα 4.11 (α) Στην πραγματικότητα ένας προσχηματισμός δεν είναι προαπαιτούμενα και μοριακά ενισχυμένα σύνθετα μπορείτε επίσης να παραχθείτε με απλά να τοποθετήσει τα μόρια επάνω από το υγρό μέταλλο. Και στις δύο περιπτώσεις οι μόνες απαιτήσεις είναι ότι οι ίνες/τα μόρια δεν αντιδρούν με το αέριο και βρέχονται από τον κεραμικό.

Ο ρυθμός ανάπτυξης είναι σταθερός όπως ελέγχεται από το ποσοστό της χημικών αντίδρασης και όχι της μεταφοράς των αντιδρώντων ειδών. Η μεταφορά του υγρού μετάλλου θεωρείται για να εμφανιστεί γρήγορα με μια wicking διαδικασία κατά μήκος των ορίων σιταριού στην κεραμική μήτρα. Οι ρυθμοί ανάπτυξης είναι χαμηλοί, χαρακτηριστικά 1 mm/h, εντούτοις τα λογικά τμήματα μεγέθους (~20 εκατ. πυκνά) της σύνθετης μορφής μπορούν να κατασκευαστούν.

Τέτοιες αντιδράσεις έχουν τη δυνατότητα να δώσουν τις καλές ομοιογενείς διανομές της σκληραίνοντας φάσης, και οι πρώτες ύλες μπορούν να είναι λιγότερο δαπανηρές από τα προϊόντα, π.χ., ΔΙΣΕΚΑΤΟΜΜΥΡΙΟ είναι ακριβά. Εάν η αντίδραση είναι έντονα εξωθερμική μπορεί μόνος-, δηλ., την αντίδραση πρέπει να αρχίσει μόνο σε ένα μέρος της συμφωνίας των αντιδραστηρίων για το για να επεκταθεί σε όλη τη συμφωνία. Οι υψηλές αλλά παροδικές θερμοκρασίες περιλαμβάνονται και ως εκ τούτου οι μετασταθείσες δομές μπορούν να παραχθούν.

Η αλουμίνα είναι πιθανώς η πιο εξοικειωμένη της σύγχρονης τεχνικής κεραμικής και χρησιμοποιείται για ποικίλες εφαρμογές που κυμαίνονται από τα υποστρώματα για τις ηλεκτρικές συσκευές ως τις μηνιαίες σφαίρες στις προσθέσεις ισχίων. Ήταν επομένως μια προφανής επιλογή για να είναι η μήτρα ενός σύνθετου.

μουστάκι SiC που ενισχύεται

Ενισχυμένη η SiC αλουμίνα γίνεται συνήθως από κάποια παραλλαγή της μεθόδου πηλού. Η περιεκτικότητα σε μουστάκια είναι χαρακτηριστικά 25% ή λιγότερος και τα μουστάκια τείνουν να βρεθούν κάθετα στον πλέζοντας άξονα. Η μήτρα αποτελείται από τα μικρά, ισοαξονικά, τυχαία προσανατολισμένα σιτάρια α - αλουμίνα. Τα τέμνοντα εργαλεία για τις βιομηχανίες ξύλου και μετάλλων κατασκευάζονται από αυτά τα σύνθετα και λέγονται για να δώσουν τα σημαντικά οφέλη παραγωγικότητας πέρα από τα συμβατικά τέμνοντα εργαλεία καρβιδίου.

Το SiC είναι ελαφρώς λιγότερο πυκνό από την αλουμίνα ενισχύοντας έτσι με τα μουστάκια SiC eads σε μια μικρή μείωση στην πυκνότητα, π.χ., τις πυκνότητες της αλουμίνας και ένα σύνθετο με τα μουστάκια SiC 25% είναι περίπου 3,9 και 3,7 Mg/m³ αντίστοιχα. Ο συντελεστής των νεολαίων βελτιώνεται από την παρουσία των δύσκαμπτων μουστακιών και πλησιάζει 400 GPa για ένα σύνθετο με 25% SiC. Η μείωση στην πυκνότητα και την αύξηση στην ακαμψία στην ενσωμάτωση των μουστακιών οδηγεί προφανώς στις υψηλότερες συγκεκριμένες τιμές συντελεστών.

Αν και αυτές οι βελτιώσεις στην ακαμψία και το συγκεκριμένο συντελεστή είναι επιθυμητές μπορούν μόνο να θεωρηθούν δευτερεύον όφελος σε σύγκριση με σημαντική αύξηση στη δύναμη και την ανθεκτικότητα. Υπάρχει ιδιαίτερη διασπορά στις μηχανικές τιμές ιδιοκτησίας που αναφέρονται στη λογοτεχνία,. Υπάρχουν κάποια στοιχεία ότι η ένταση πίεσης για την αύξηση ρωγμών αυξάνεται με το μήκος ρωγμών αυτό προτείνει ότι το γεφύρωμα των προσώπων ρωγμών από τα ισχυρά μουστάκια SiC, που έχει παρατηρηθεί με την ανίχνευση της μικροσκοπησης ηλεκτρονίων, μπορεί κάποια σκλήρυνση ιχνών. Άλλοι πιθανοί ενεργοί σκληραίνοντας μηχανισμοί είναι εκτροπή και pull-out ρωγμών. Τέλος, είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι μερικοί τέμνοντες κατασκευαστές εργαλείων αναφέρουν το συντελεστή Weibull για τα σύνθετα που είναι ίσα με, ή μεγαλύτερος από, εκείνοι που συνδέονται κανονικά με τη μονολιθική αλουμίνα αυτό απεικονίζει το γεγονός ότι τα σύνθετα είναι περισσότερη ατέλεια ανεκτική και ότι οι ατέλειες ελέγχονται στη διαδικασία κατασκευής.

Η αλουμίνα χρησιμοποιείται στις εφαρμογές όπως τα φέρνοντας στερεά σωληνώσεων που αναστέλλονται στα αέρια ή τα υγρά, τα οποία απαιτούν την καλή αντίσταση διάβρωσης. SiC τα μουστάκια έχουν βρεθεί για να αυξάνουν την αντίσταση διάβρωσης.

Από κοινού με η περισσότερη άλλη κεραμική, αλουμίνα είναι επιρρεπής σε αποτυχία όταν υποβάλλεται στις γρήγορες διακυμάνσεις θερμοκρασίας. Εντούτοις η ενσωμάτωση των μουστακιών SiC χαμηλώνει το συντελεστή της θερμικής επέκτασης, αυξάνει τη θερμική αγωγιμότητα και βελτιώνει την ανθεκτικότητα, και όλες αυτές οι αλλαγές ιδιοκτησίας ενισχύουν την αντίσταση θερμικού κλονισμού. Η καλή αντίσταση θερμικού κλονισμού των ενισχυμένων μουστάκια σύνθετων SiC μπορεί να καταδειχθεί με τη μέτρηση της δύναμης των δειγμάτων μετά από να αποσβήσει από έναν φούρνο που κρατιέται σε μια υψηλή θερμοκρασία σε ένα υγρό, συνήθως ύδωρ, σε μια χαμηλή θερμοκρασία. και μπορεί να φανεί ότι για ενιαίο αποσβήνει τη δύναμη των αλουμίνα-20 τόμων σύνθετο μουστακιών δεν πέφτει ακόμη και για τις διαφορές θερμοκρασίας μεταξύ του φούρνου και του υγρού 900 °C ακόμα και αφού αποσβήνουν 10 η απώλεια στη δύναμη δεν ήταν σημαντική. Αντίθετα η δύναμη της αλουμίνας μειώθηκε κατά πάνω από 50% γιατί ένας

ενιαίος αποσβήνει με μια αλλαγή θερμοκρασίας 700 °C.

μορίων. Ο όρος ισορροπίας του zirconia σε ανυψωμένο θερμοκρασίες είναι tetragonal (τ) και στις χαμηλές θερμοκρασίες μονοκλινικό (μ). Στην ψύξη ZTA από τις υψηλές θερμοκρασίες που απαιτούνται για την επεξεργασία ο μετασχηματισμός μπορεί να εμφανιστεί στα μόρια και συνοδεύεται από μια αύξηση στον όγκο περίπου 3%. Ο μετασχηματισμός είναι αυτό που είναι γνωστό ως αθερμικό transformation ένα χαρακτηριστικό ενός αθερμικού μετασχηματισμού είναι ότι δεν είναι χρόνος εξαρτώμενος, δηλ., εάν πραγματοποιείται αυτό προχωρά πολύ γρήγορα. Εάν το transformation πραγματοποιείται στα μόρια zirconia σε ZTA κατά τη διάρκεια της παραγωγής, κατόπιν η αλλαγή όγκου 3% που συνοδεύει το μετασχηματισμό παράγει microcracks στη μήτρα αλουμίνας. Ο έλεγχος της έκτασης microcracking αυξάνει την ανθεκτικότητα με τη βοήθεια microcrack

Το σχήμα, αν και microcracking μπορεί να οδηγήσει σε μια βελτίωση στην ανθεκτικότητα είναι εκεί μια δυσμενής συνέπεια στη δύναμη.

Όταν τα μόρια διατηρούνται στο tetragonal κράτος στη θερμοκρασία δωματίου θεωρούνται σε μια ασταθή κατάσταση. Εάν ο μετασχηματισμός πραγματοποιείται ή όχι εξαρτάται όχι μόνο από το ποσό σταθεροποίησης του οξειδίου αλλά και από το μέγεθος των μορίων. Η παρουσία της μήτρας αλουμίνας περίπου τα μόρια το καθιστά δύσκολο για την επέκταση όγκου που συνδέεται με το μετασχηματισμό για να προσαρμοστεί λέμε ότι ο ελαστικός περιορισμός της μήτρας εμποδίζει το μετασχηματισμό. Ο περιορισμός είναι τέτοιος που τα μικρά μόρια είναι λιγότερο πιθανό να μετασχηματίσουν από τα μεγάλα μόρια.

Κατά συνέπεια με έναν κατάλληλο συνδυασμό ποσού σταθεροποίησης του μεγέθους οξειδίων και μορίων είμαστε σε θέση να λάβουμε μια διασπορά των μετασταθέντων tetragonal μορίων. Εντούτοις κάτω από την επιρροή του τομέα πίεσης σε μια άκρη ρωγμών αυτοί

όπου το $BzTC$ είναι το μέρος όγκου των μετασταθέντων μορίων zirconia στο σύνθετο, Δε είναι πίεση όγκου που συνοδεύει το μετασχηματισμό, το ϵ μ είναι συντελεστής των νεολαιών της μήτρας αλουμίνας και το ρ_0 είναι το πλάτος της ζώνης διαδικασίας γύρω από μια ρωγμή που περιέχει τα μετασχηματισμένα μόρια

Η δύναμη και η ανθεκτικότητα ZTA ως λειτουργία της περιεκτικότητας σε zirconia όταν ο σκληραίνοντας μηχανισμός μετασχηματισμού είναι ενεργός. Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι, σε αντίθεση με ZTA που από microcracking, η σκλήρυνση μετασχηματισμού μπορεί να οδηγήσει σε μια βελτίωση και στην ανθεκτικότητα και στη δύναμη και είναι συνεπώς ο προτιμημένος σκληραίνοντας μηχανισμός.

Την η προσοχή πρέπει να ληφθεί κατά χρησιμοποίηση ενός συστατικού που κατασκευάζεται από ZTA στα υγρά περιβάλλοντα. Έχει διαπιστωθεί ότι ορισμένα υγρά αναγκάζουν τα μετασταθέντα tetragonal μόρια στην επιφάνεια για να μετασχηματίσουν στο μονοκλινικό.

Microcracking λόγω του μετασχηματισμού επιτρέπει στο υγρό για να διαπεράσει περαιτέρω στο υλικό και για να διαδώσει το μετασχηματισμό στα μεγαλύτερα βάθη. Η απώλεια της ικανότητας για τη σκλήρυνση μετασχηματισμού, μαζί με τις μεγάλες ρωγμές που διαμορφώνονται από τη σύνδεση microcracks, παράγει μια χαρακτηρισμένη υποβάθμιση μέσα μηχανική απόδοση όπως εμφανίζεται στα στοιχεία δύναμης για ZTA σε μια 20 ένταση. HCl λύση, ότι η περιεκτικότητα σε yttria της HCl λύσης αυξάνεται ως λειτουργία του χρόνου σε επαφή με το ZTA. Αυτά τα αποτελέσματα σαφώς καταδεικνύουν ότι η αστάθεια των μορίων zirconia οφείλεται HCl δουλίζοντας έξω το οξείδιο σταθεροποίησης, yttria, από τα μόρια zirconia. Να είναι ότι τα μόρια zirconia που σταθεροποιούνται μπορεί με άλλα οξείδια μπορούν να μην είναι τόσο επιρρεπής σε επίθεση liquid αλλά, στο παρόν, το yttria είναι το ο συνηθέστερα χρησιμοποιημένο nabilizing οξείδιο και ως εκ τούτου αυτό πρέπει να θεωρηθεί ως αδυναμία ZTA.

Μια σειρά των σύνθετων είναι διαθέσιμη που αποτελούνται από έναν ινώδη άνθρακα σε μια ανθρακούχο μήτρα. Όλες οι ίνες άνθρακα έχουν χρησιμοποιηθεί στα σύνθετα άνθρακας-άνθρακα με διάφορες μορφές, π.χ., τεμαχισμένες ίνες και συνεχή χαλιά ινών. Η μήτρα άνθρακα είναι εξίσου τόσο μεταβλητή όπως

Η σημαντικότερη εφαρμογή των σύνθετων άνθρακας-άνθρακα με το περιεχόμενο πορώδους στη σειρά 70 90% είναι ως μόνωση στις υψηλές θερμοκρασίες. Αυτά τα σύνθετα είναι επίσης γνωστά ως συνδεδεμένη άνθρακας ίνα άνθρακα, CBCF, και μπορούν μόνο να χρησιμοποιηθούν υπό κενό ή σε μια αδρανή ατμόσφαιρα όπως η οξείδωση εμφανίζεται στις θερμοκρασίες επάνω από περίπου 400 °C.

Οι ίνες που χρησιμοποιούνται για CBCF είναι χαμηλές ίνες συντελεστών που παράγονται από έναν πρόδρομο τεχνητής μέταξας και είναι χαρακτηριστικά μερικά χιλιοστόμετρα στο μήκος. Ένας πηλός γίνεται με τις ίνες μαζί με κάποιο ανακυκλωμένο έδαφος CBCF, που καλούνται την επανάληψη. Η φαινολική ρητίνη, ένας σύνδεσμος και ένα ύδωρ προστίθενται στον πηλό και αναμιγνύονται. Το μίγμα αντλείται σε μια φόρμα και το ύδωρ που εξάγονται υπό κενό. Είναι σε αυτή τη φάση ότι κάποιος προσανατολισμός των ινών πραγματοποιείται κάθετος στην κατεύθυνση της εφαρμογής του κενού για να δοθεί μια λάθος καθορισμένη δυσδιάστατη επίδραση χαλιών (σχήματα 4.24 και 10.21). Τα κενά φορμαρισμένα συστατικά περνούν από τις διάφορες διαδικασίες ξήρανσης πριν από μια θερμική επεξεργασία ανθράκωσης σε μια ενδιάμεση θερμοκρασία (~950°C) που δίνει μια παραγωγή άνθρακα από

τη φαινολική ρητίνη περίπου 50%. Το τελικό στάδιο είναι μια θερμική επεξεργασία υψηλής θερμοκρασίας που ολοκληρώνεται σε μια χαμηλή πίεση προκειμένου να αναιρεθούν οι αεριώδεις ακαθαρσίες. Το τελικό προϊόν είναι εξαιρετικά καθαρό η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι μεγαλύτερη από 99.9%.

Οι ιδιότητες καθορίζονται κυρίως από το περιεχόμενο πορώδους και, λόγω του προσανατολισμού των ινών, είναι ανισότροπες. Διάφορες ιδιότητες για ένα CBCF περίπου του πορώδους 90% παρουσιάζονται στον. Μπορεί να φανεί ότι η δύναμη είναι χαμηλή έναντι αυτής άλλων CMCs αλλά είναι επαρκής για τις εφαρμογές μόνωσης. Από ιδιαίτερο ενδιαφέρον είναι η ανισοτροπία της θερμικής αγωγιμότητας σε ένα μονώνοντας συστατικό. Εξετάστε τη μόνωση για έναν φούρνο. Η μόνωση CBCF παράγεται έτσι ώστε η χαμηλή κατεύθυνση θερμικής αγωγιμότητας είναι κάθετη στον τοίχο φούρνων, δηλ., παράλληλο στην κατεύθυνση στην οποία η ροή θερμότητας πρόκειται να ελαχιστοποιηθεί. Η υψηλή θερμική αγωγιμότητα της καθέτου CBCF σε αυτήν την κατεύθυνση βοηθά στο επίτευγμα μιας ομοιόμορφης θερμοκρασίας στο φούρνο.

διασυνδέστε και μέσω των ινών. Αφ' ετέρου, οι υψηλότερες θερμοκρασίες επεξεργασίας συνδέονται με έναν πιο επιθυμητό τρόπο αποτυχίας και μια αυξανόμενη ανθεκτικότητα. Αυτό είναι μια συνέπεια graphitization που μειώνει τη δύναμη δεσμών ίνα-μητρών και διευκολύνει και pull-out.

Κατά γενικό κανόνα η συμπεριφορά σπασίματος των σύνθετων που κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας έναν πρόδρομο πηκτών, ή από CVI, είναι παρόμοια με αυτήν της υψηλής θερμοκρασίας που αντιμετωπίζεται, thermosetting υλικό μητρών προδρόμων ρητίνης.

Φυσικά η μηχανική συμπεριφορά δεν καθορίζεται απλώς από την επεξεργασία της μήτρας αλλά εξαρτάται επίσης έντονα από το ποσοστό και τη μορφή της ενίσχυσης ινών. Αυτό εμφανίζεται στις σχηματικές stress-strain καμπύλες για το ένα - (1-δ), δύο - (2ξος) και τρία - (τριδιάστατα) διαστατικά υφάμενα ενισχυμένα ίνα σύνθετα άνθρακα που παρουσιάζονται στο σχήμα 4.31. Το σύνθετο 1-δ είναι ισχυρό αλλά εύθραυστο ενώ ο τριδιάστατος έχει πολλή βελτιωμένη ανθεκτικότητα που επιτυγχάνεται εις βάρος της δύναμης ο 2ξος έχει το μεσάζοντα ιδιοτήτων σε εκείνοι του 1-δ και τριδιάστατος ο 2ξος έχει το μεσάζοντα ιδιοτήτων σε εκείνοι του 1-δ και τριδιάστατος. Η χαμηλή ανθεκτικότητα του 1-δ, και μέχρι ένα σημείο ο 2ξος, σύνθετα αποδίδονται στις φτωχές διελασματικές ιδιότητες λόγω της εφθραυστότητας της μήτρας. Οι διελασματικές ιδιότητες μπορούν να ενισχυθούν από την ενσωμάτωση των λεπτών από γραφίτη μορίων στη μήτρα για να δώσουν την άμβλυνση και την εκτροπή ρωγμών. Αυτό είναι ένα παράδειγμα υβριδικού ενός σύνθετου και αυτό μπορεί να έχει μια διελασματική ανθεκτικότητα που είναι διπλή ότι του μόριο-ελεύθερου σύνθετου μιτρών.

ίνα - ενισχυμένα πολυμερή σώματα. Εντούτοις, μετά από τις μεγάλες περιόδους κάτω από μια κυμαινόμενη πίεση φαίνεται ότι τοπικό microcracking της μήτρας μπορεί να εμφανιστεί σε τέτοιο βαθμό ώστε μικρός, τα μόρια μιτρών διαμορφώνεται που μπορούν να χαθούν από το σύνθετο ως λεπτή σκόνη.

Το forte των σύνθετων άνθρακα-άνθρακα είναι ότι διατηρούν τις μηχανικές ιδιότητές τους στις εξαιρετικά υψηλές θερμοκρασίες. Η απόδοσή τους στις ανυψωμένες θερμοκρασίες είναι ιδιαίτερα εντυπωσιακή έναντι άλλων υλικών υψηλής θερμοκρασίας όταν αντιμετωπίζονται από την άποψη των συγκεκριμένων ιδιοτήτων όπως εμφανίζεται στα συγκεκριμένα στοιχεία δύναμης του. (σημειώστε ότι το επίθετο "πυκνό" χρησιμοποιείται για να διαφοροποιήσει μεταξύ αυτών των σύνθετων και των πορώδων υλικών CBCF η πυκνότητα του πυκνού σύνθετου άνθρακα-άνθρακα είναι στην πραγματικότητα χαμηλή, χαρακτηριστικά στη σειρά 1.4-1.7 Mg/m³.) Εντούτοις, όπως για τα υλικά, πυκνά σύνθετα άνθρακα-άνθρακα CBCF πάσχετε από μια έλλειψη αντίστασης οξείδωσης. Τα προστατευτικά επιστρώματα μπορούν να εφαρμοστούν στα συστατικά και αυτά λειτουργούν αυτήν την περίοδο εύλογα καλά μέχρι περίπου 1400 °C, αν και τα συστήματα επιστρώματος ικανά την προστασία μέχρι 1800°C αναπτύσσονται.

Για ένα επιστρώμα για να είναι επιτυχές πρέπει να ικανοποιήσει τα ακόλουθα κριτήρια: (i) να είστε μηχανικά, χημικά και θερμικά συμβατό σύστημα με το σύνθετο, (II) εμμένει στο σύνθετο, (III) αποτρέπει τη διάχυση του οξυγόνου από το περιβάλλον κατευθείαν στο σύνθετο, και (iv) αποτρέπει τη διάχυση του άνθρακα

Τα πιο κοινά υλικά μητρών για τα σύνθετα είναι πολυμερή. Οι λόγοι για αυτό είναι διπλοί. Γενικά οι μηχανικές ιδιότητες των πολυμερών σωμάτων είναι ανεπαρκείς για πολλούς δομικούς λόγους. Ειδικότερα η δύναμη και η ακαμψία τους είναι χαμηλές έναντι των μετάλλων και της κεραμικής. Αυτό σήμανε ότι υπήρξε ένα ιδιαίτερο όφελος που αποκομίζεται με την ενίσχυση των πολυμερών σωμάτων και ότι η ενίσχυση, αρχικά τουλάχιστον δεν έπρεπε να έχει τις εξαιρετικές ιδιότητες.

Αφετέρου, όπως θα δούμε στην παράγραφο 5.3, η επεξεργασία των σύνθετων πολυμερών μιτρών (PMCs) δεν χρειάζεται να περιλάβει τις υψηλές πιέσεις και δεν απαιτεί τις υψηλές θερμοκρασίες. Ακολουθεί ότι τα προβλήματα που συνδέονται με την υποβάθμιση της ενίσχυσης κατά τη διάρκεια της κατασκευής είναι λιγότερο σημαντικά για PMCs thac για τα σύνθετα με άλλες μήτρες. Επίσης ο εξοπλισμός που απαιτείται για PMCs μπορεί να είναι απλούστερος. Για αυτούς τους λόγους τα σύνθετα πολυμερών μιτρών developed γρήγορα και σύντομα έγιναν αποδεκτά για τις δομικές εφαρμογές. Σήμερα τα glass-reinforced πολυμερή

σώματα είναι ακόμα κατά πολύ οι χρησιμοποιημένοι όροι ολοκληρωμένου κυκλώματος σύνθετου υλικού του όγκου με εξαίρεση το σκυρόδεμα.

Μια απλή ταξινόμηση των πολυμερών σωμάτων δίνεται στο σχήμα 5.1 οι τρεις κατηγορίες, thermosets, η θερμοπλαστική και τα λάστιχα, είναι όλες σημαντικές δεδομένου ότι μακριά α > οι μήτρες PMCs είναι ενδιαφερόμενες. Μέσα σε οποιαδήποτε κατηγορία υπάρχουν πολλά διαφορετικά πολυμερή σώματα, π.χ., εποξικά, πολυεστέρας, το polyimide και φαινολικός είναι όλα thermosets. Ακόμη και ένα δεδομένο πολυμερές σώμα, όπως ο πολυεστέρας, υπάρχει με πολλές μορφές, υπάρχει ένας μεγάλος αριθμός διατιπώσεων, θεραπευόντας πρακτόρων και αποτελέσματος which υλικών πληρώσεως σε μια εκτενή σειρά των ιδιοτήτων για τους πολυεστέρες. Πράγματι, οι πολυεστέρες, και άλλα πολυμερή σώματα, πωλούνται συχνά σύμφωνα με τις ιδιότητές τους από την απασχόληση των περιγραφικών όρων συμπεριλαμβανομένου του "γενικού σκοπού" χημικά ανθεκτικού "και" της θερμότητας ανθεκτικής". Λαμβάνοντας υπόψη επίσης των υλικών που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση, και οι πιθανές ρυθμίσεις της ενίσχυσης (τυχαίες τεμαχισμένες ίνες, ομοιοκατευθυνόμενες, πολυάριθμες υφάνσεις είναι σαφές ότι η σειρά των ιδιοτήτων που εκτίθενται από PMCs είναι αρκετά emarkable.

Τα κύρια μειονεκτήματα PMCs είναι το χαμηλό μέγιστό τους εργαζόμενος - τα niperatures, υψηλοί συντελεστές της θερμικής επέκτασης και ως εκ τούτου αστάθεια, και ευαισθησία στην ακτινοβολία και την υγρασία. Η απορρόφηση το ύδωρ από το περιβάλλον μπορεί να έχει πολλά επιβλαβή αποτελέσματα που μηχανική απόδοση βαθμού, συμπεριλαμβανομένης της διόγκωσης, σχηματισμός εσωτερικού και χαμήλωμα της θερμοκρασίας μετάβασης γυαλιού. Υπάρχει

οι εξαιρέσεις, παραδείγματος χάριν ενισχυμένα με ίνες πολυμερή σώματα άνθρακα μπορούν να είναι *παρατηρημένος για να έχει τους πολύ χαμηλούς συντελεστές της θερμικής επέκτασης και εροχίες ακτινοβολία ε ανθεκτική θερμοκρασία. Μια πρωταρχική εκτίμηση είναι το ιξώδες και ο χρόνος απασχόλησης της ρητίνης. Το χέρι απαιτεί λαϊκός-επάνω λίγο κύριο εξοπλισμό αλλά είναι έντασης εργατικού δυναμικού. Είναι ιδιαίτερα ταιριαγμένο για ένας-οφφς-έναν ή τα σύντομα τρεξίματα παραγωγής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα μεγάλα συστατικά όπως οι φλούδες των βαρκών και των πισινών. Τα κύρια μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι το χαμηλό περιεχόμενο ενίσχυσης περίπου 30 τόμων και η δυσκολία στην αφαίρεση όλου του παγιδευμένου αέρα, ως εκ τούτου οι μηχανικές ιδιότητες δεν είναι καλές.

Η ψεκασμός-επάνω μέθοδος έχει τα περισσότερα από τα πλεονεκτήματα να περιγράψουν προηγουμένως για το χέρι την λαϊκός-επάνω μέθοδο, εκτός από το ότι η συνεχής ενίσχυση ινών δεν είναι δυνατή, με το πρόσθετο όφελος ενός μεγαλύτερου ποσοστού παραγωγής. Οι τεμαχισμένοι ίνες, η ρητίνη και ο καταλύτης τροφοδοτούνται ένα πυροβόλο όπλο που ψεκάζει το μίγμα προς μια φόρμα που προετοιμάζεται με παρόμοιο τρόπο, δηλ., με ένα παλτό πρακτόρων και πηκτωμάτων απελευθέρωσης, σε αυτή για το χέρι λαϊκός-επάνω. Το ψεκασμένο σύνθετο πρέπει να κυληθεί για να αφαιρέσει τον παγιδευμένο αέρα και για να δώσει μια ομαλή επιφάνεια.

Μια τροποποίηση αυτών των τεχνικών είναι να ψεκάσει ή λαϊκός-επάνω στο πίσω μέρος ενός προσχηματισμένου θερμοπλαστικού συστατικού. Αυτή η τροποποιημένη διαδικασία χρησιμοποιείται για τα συστατικά όπως οι νεροχύτες και τα λουτρά δεδομένου ότι η σύνθετη υποστήριξη δίνει τη δύναμη και την ακαμψία στο συστατικό.

Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται ευρέως για τα μακροχρόνια τρεξίματα παραγωγής για τα συστατικά ρογ στο μέγεθος από τα μικρά εσωτερικά στοιχεία στις πόρτες και τις επιτροπές αμαξιών για τα μεγάλα οχήματα. Το υλικό που διαμορφώνεται πιέζεται μεταξύ των θερμαμένων αντιστοιχημένων κύβων όπως διευκρινισμένος στο σχήμα 5.11. Η πίεση που απαιτείται εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά ροής του υλικού τροφών και μπορεί να είναι τόσο υψηλή όπως 50 MPa αλλά είναι συνήθως λιγότερο από 10 MPa. Οι υλικές ροές τροφών στα περιγράμματα φορμάρον και όταν η θερμοκρασία είναι αρκετά υψηλή θεραπεύει γρήγορα. για την πλήρη διαδικασία σχήματος εξαρτάται προφανώς από το υλικό τροφών αλλά και από τις διαστάσεις του συστατικού και εάν η προθέρμανση της τροφής έχει υιοθετηθεί για να κονταίνει το χρόνο οι χρόνοι κυμαίνονται χαρακτηριστικά από αρκετά δευτερόλεπτα σε αρκετά πρακτικά. Η καλή φορμαρισμένη λεπτομέρεια και η διαστατική ακρίβεια είναι δυνατές αν και το κόστος ενός σύνθετου κύβου χάλυβα εργαλείων μπορεί να είναι ιδιαίτερο.

Δύο μορφές τροφής που είναι ιδιαίτερα ταιριασμένο σχήμα ταιριάζω με-κύβων είναι ένωση σχήματος φύλλων και ένωση σχήματος ζύμης. Η ένωση σχήματος φύλλων, που βραχύνεται συχνά σε SMC, είναι ένα έτοιμο φύλλο του μίγματος ρητίνη-ινών που περιέχει όλες τις απαραίτητες πρόσθετες ουσίες όπως ο θεραπευόντας πράκτορας, ο πράκτορας απελευθέρωσης και η χρωστική ουσία. Μειώνει τον αριθμό συστατικών που αποθηκεύονται, είναι καθαρό για να χρησιμοποιήσει και δίνει την καλή συνέπεια στο τελειωμένο συστατικό. Δεδομένου ότι όλα τα συστατικά προμιγνύονται SMC έχει μια ζωή του προϊόντος στο ράφι θερμοκρασία. Μια πρωταρχική εκτίμηση είναι το ιξώδες και ο χρόνος απασχόλησης της ρητίνης.

Το χέρι απαιτεί λαϊκός-επάνω λίγο κύριο εξοπλισμό αλλά είναι έντασης εργατικού δυναμικού. Είναι

ιδιαίτερα ταιριασμένο για ένας-οφφς-έναν ή τα σύντομα τρεξίματα παραγωγής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τα μεγάλα συστατικά όπως οι φλούδες των βαρκών και των πισινών. Τα κύρια μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου είναι το χαμηλό περιεχόμενο ενίσχυσης περίπου 30 και η δυσκολία στην αφαίρεση όλου του παγιδευμένου αέρα, ως εκ τούτου οι μηχανικές ιδιότητες δεν είναι καλές, θερμοκρασία. Μια πρωταρχική εκτίμηση είναι το ιξώδες και ο χρόνος απασχόλησης της ρητίνης.

υπολογισμένος που πέρα από τα τρία τέταρτα όλων των μητρών PMCs είναι moseetting πολυμερή σώματα. Τα thermosetting πολυμερή σώματα, ή thermosets, είναι ρητίνες εύκολα διασύνδεση κατά τη διάρκεια της θεραπείας. Η θεραπεία περιλαμβάνει την εφαρμογή και πίεση ή η προσθήκη ενός καταλύτη γνωστού ως θεραπεύοντας η σύνδεση είναι, όπως τους δεσμούς στην πολυμερή αλυσίδα, ομοιοπολική. Αυτοί ισχυροί ds των διασυνδέσεων έχει την επίδραση να τραβήξει τις αλυσίδες από κοινού. Αυτό πάνει τη μετακίνηση των πολυμερών αλυσίδων και έτσι αυξάνει το γυαλί θερμοκρασία στην ανωτέρω θερμοκρασία δωματίου. Συνεπώς είναι εύθραυστο στη θερμοκρασία δωματίου και έχει τη χαμηλή ανθεκτικότητα σπασίματος χαρακτηριστικά 0,5 1.0MPam 1/2. Επίσης, λόγω του σταυρού thermosets δεν μπορούν να αναδιαμορφωθούν με τη θέρμανση εκ νέου: thermosets υποβιβάζουν ακριβώς η εξαπάτηση, και μπορεί σε μερικές περιπτώσεις να κάψει, αλλά δεν μαλακώνει αρκετά

Αφ' ετέρου πολλά πλεονεκτήματα αυξάνουν από την παρουσία των διασυνδέσεων όπως καταδεικνύεται από τα στοιχεία ιδιοκτησίας που παρουσιάζονται στον πίνακα Si που η ακαμψία αυξάνεται όπως οι αδύνατες βαν der Waals συνδέοντας πολυμερείς αλυσίδες betweei αντικαθίστανται από τις ισχυρές διασυνδέσεις. Επιπλέον thermosets μπορούν να χρησιμοποιηθούν στις υψηλότερες θερμοκρασίες δεδομένου ότι έχουν τις υψηλότερες μαλακώνοντας θερμοκρασίες και τις καλύτερες ιδιότητες ερπυσμού από τη θερμοπλαστική. Τέλος, είναι ανθεκτικότεροι στη χημική επίθεση από την περισσότερη θερμοπλαστική.

Μια κοινή ρητίνη, που αναπτύσσεται πρώτα το 1942, αυτό αποτελείται από ακόρεστο (δηλ., οι διπλοί δεσμοί υπάρχουν μεταξύ ορισμένων ατόμων carbon) γραμμικοί πολυεστέρες που διαλύονται στο στυρόλιο. Το στυρόλιο είναι το διαγώνιος μονομερές και η θεραπεία επηρεάζεται μέσω ενός οργανικού ινιαιου υπεροξειδίου που παράγει τους ελεύθερους ριζοσπάστες που οδηγούν στο σχηματισμό του διαστατικού, το διασυνδεμένο δίκτυο που παρουσιάζεται στον πολυεστέρα . είναι σχετικά ανεξόδο και έχει τα χαμηλά ιξώδη, το οποίο είναι ευεργετικό η πολλές διαδικασίες επεξεργασίας. Εντούτοις η διακένωση που εμφανίζεται επάνω είναι υψηλή (4-8%).

Οι εποξικές ρητίνες είναι ακριβότερες και είναι πιο ιξώδεις από τον πολυεστέρα καθιστώντας τη διαπότιση των υφαμένων υφασμάτων δυσκολότερη. Αν και θεραπεύοντας απαιτεί τις θερμοκρασίες μέχρι 180 °C, εποξίες έχει ένα σημαντικό πλεονέκτημα μέσα καπέλο που θεραπεύονται συνήθως σε δύο ή περισσότερα στάδια. Αυτό επιτρέπει στους προσχηματισμούς για να είναι γονιμοποιημένος με τον εποξικό σε ένα μερικώς θεραπευμένο κράτος. που αποθηκεύεται, συχνά στις υπό το μηδέν θερμοκρασίες, για ένα λογικό χρονικό διάστημα φορμαμένος στην τελική μορφή και έπειτα θεραπευμένος. Η διακένωση επάνω είναι μικρότερο απ' ό,τι για τους πολυεστέρες, που είναι χαρακτηριστικά 1-5%. Όσον αφορά στους πολυεστέρες ένα ευρύ φάσμα των διατυπώσεων για τις εποξικές ρητίνες είναι Γενικά αρχίζουν ως γραμμικά χαμηλά πολυμερή σώματα μοριακού βάρους Πολλά υλικά είναι σε θέση να ενεργήσουν όπως θεραπεύοντας gents για τις εποξικές ρητίνες, π.χ., τα πολυαμίδια και τα polyamines. Κατά τη διάρκεια της θεραπείας,

οι ετινε ομάδες σχετικά με το θεραπεύοντας πράκτορα αντιδρούν με τον εποξικό, γνωστός επίσης όπως ή οι ομάδες υδροξυλίου για να παραγάγει τη διαμόρφωση διασυνδέσεων Phenolics είναι τα παλαιότερα thermosets που συζητούνται εδώ αλλά, εντούτοις, τον χαμηλότερου κόστους και της καλής ισορροπίας ιδιοτήτων τους βρίσκουν ακόμα πολλές Πράγματι λόγω της καλής αντίστασης πυρκαγιάς τους η χρήση τους έχει αυξανόμενος πάλι πρόσφατα λόγω της εισαγωγής των πιο αυστηρών κανονισμών λίπους, καπνού και τοξικότητας. Οι φαινολικές ρητίνες παράγονται από τη φαινόλη και τη φορμαλδεϋ'δη reactinf τα χαρακτηριστικά του προϊόντος dependitif ρητίνης στα ποσοστά των αντιδραστηρίων και του καταλύτη που χρησιμοποιούνται (το σχήμα 5.5 " μερικές ρητίνες, που καλούνται resoles ή τις one-stage ρητίνες, συστατικά περιέχει του necess^t" - συμπεριλαμβανομένου ενός καταλύτη που θεραπεύονται με τη θέρμανση, π.χ., κατά τη διάρκεια του σχήματος bom, χωρίς την ανάγκη για οποιοδήποτε πρόσθετο θεραπεύοντας πράκτορα. αλλοι, γνωστοί ως δύο σταδίων ρητίνες ή novalacs, απαιτούν την προσθήκη ενός πράκτορα προγενέστερου τα προϊόντα εξελίσσονται κατά τη διάρκεια της θεραπείας, ως εκ τούτου οι υψηλές πιέσεις είναι συχνά ανάγκη στη σύνθετη παραγωγή. Το Polyimides είναι ακριβότερο και λιγότερο ευρέως χρησιμοποιημένο από τους πολυεστέρες " εποξίες αλλά μπορεί να αντισταθεί τις σχετικά υψηλές θερμοκρασίες υπηρεσιών. Αλυσίδα μιδίου τουρο, η οποία είναι άκαμπτη και θερμότητα ανθεκτική εξ αιτίας της παρουσίας nag I δομές, αποτελέσματα σε μια υψηλή ακαμψία, ενός χαμηλού συντελεστή της επέκτασης και μιας θερμοκρασίας υπηρεσιών τόσο υψηλής όπως 425 °C για αρκετές ώρες Έχουμε δει ότι οι ιδιότητες thermosets καθορίστηκαν κοντά η μοριακή δομή ε και το ίδιο πράγμα ισχύουν για τη

θερμοπλαστική. το εμποplastics είναι γραμμικά πολυμερή σώματα όχι διασύνδεση
 η ένα άκαμπτο δίκτυο αν και οι αλυσίδες μπορούν να διακλαδιστούν

η μετρημένη σε ίντσες αλυσίδα είναι ακόμα ιδιαίτερη αντίθετα από τις αλυσίδες έναδιασυνδεμένο δίκτυο. που συνδέει μεταξύ των αλυσίδων σε έναν θερμοπλαστικό οφείλεται στο αδύνατο φορτηγό def δυνάμεις · που σπάζουν εύκολα από η συνδυασμένη δράση θερμικού και εφαρμοσμένη πίεση. Γι' αυτό η ροή θερμοπλαστικής ανυψωμένος Υπό τον όρο ότι οι αλυσίδες ενός θερμοπλαστικού είναι σχετικά απλές χωρίς ογκώδη ομάδες είναι πιθανό να διπλώσουν πίσω σε τους για να διαμορφώσουν κρυστάλλινο Η διαδικασία κρυστάλλωσης στην ψύξη ενός πολυμερούς λειωμένου μετάλλου προχωρά όπως χαμηλότερα σημεία. Πρώτα μικρά πλάτο-όπως lamellae της διπλωμένης κρυστάλλινης δομής είναι Κάθε lamella χωρίζει γρήγορα και χωρίζει sheaf ταινία-όπως ινώδεις κατασκευές stalline, που χωρίζονται από το άμορφο υλικό. Συνεχής διαχωρισμός αρνήσεις sheaf εξωτερικά μέχρι τις στενά μικτές ινώδεις κατασκευές συν άμορφο iterial έχει μια σφαιρική μορφή. Αυτό καλείται spherulite. οι διαστάσεις spherulites μπορούν να ποικίλουν από submicrons σε διάφορα χιλιοστόμετρα γενικά όσο πιο αργή η ψύξη τόσο μεγαλύτερο το spherulite μέγεθος. Η περισσότερη θερμοπλαστική είναι μερικώς κρυστάλλινη αλλά η έκταση της κρυστάλλωσης εξαρτάται - από τις λεπτομέρειες της μοριακής δομής και ποικίλλει αρκετά. Παραδείγματος χάριν, το γραμμικό πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας (HDPE), λόγω του simplicin και της τακτικότητας των αλυσίδων, είναι σε θέση να επιτύχει την κρυστάλλωση μέχρι 90%. Αντιπαραβάλλει το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας (ldpe) έχει μια διακλαδισμένη δομή which παρεμποδίζει την κανονική συσκευασία που απαιτείται για την κρυστάλλωση και hence η διαύγεια φθάνει μόνο σε περίπου 60%. Σε άλλος ακραίος από HDPE polymethylmethacrylate (PMMA), που έχει χωρίσει κατά διαστήματα ακανόνιστα.

ιδιότητες. Τα διαφορετικά ναύλων υποδεικνύονται από τον αριθμό ατόμων άνθρακα που συνδέονται με τις ομάδες οξέος και αμύνων στην πολυμερή αλυσίδα. Κατά συνέπεια ένα straight-chain αλειφατικό ναύλων θα υποδεικνύταν ως ναύλων X, όπου χ είναι ο αριθμός ατόμων άνθρακα στη μονάδα μονομερών, ενώ ναύλων x.y έχει τα άτομα άνθρακα χ στη σπονδυλική στήλη αμύνων και το Y στην όξινη ομάδα (σχήμα 5.9). Ένα από τα ο συνηθέστερα αντιμετωπιζόμενα πολυαμίδια είναι ναύλων 6,6, το οποίο έχει ένα σημείο τήξης 261 °C και διατηρεί τις ιδιότητές του σε περίπου 150 °C. Έχει έναν καλό συνδυασμό ακαμψίας, δύναμης και ανθεκτικότητας

και το τελευταίο διατηρούνται στις χαμηλές θερμοκρασίες. Εντούτοις, η αντίσταση στην απορρόφηση ύδατος είναι μόνο μέτρια. Τα πολυαμίδια με την καλύτερη αντίσταση υγρασίας, όπως το ναύλων 1,1 και 1,2, έχουν αναπτυχθεί αλλά αυτά έχουν τα χαμηλότερα σημεία τήξης και επομένως κατώτερες ιδιότητες στις ανυψωμένες θερμοκρασίες

Σαφώς δεν είναι αρμόζον να περιγράψει όλη η θερμοπλαστική που χρησιμοποιείται αυτήν την περίοδο ως μήτρες. Τα δύο που συζητούνται μέχρι τώρα έχουν επλεχτεί για να επεξηγήσουν τα καθιερωμένα πολυμερή σώματα αυτής της κατηγορίας ενώ η επόμενη θερμοπλαστική δύο που θα περιγράψουμε εν συντομία έχει αναπτυχθεί πιο πρόσφατα. Το πολύ Etheretherketone, δεδομένου ότι είναι συνήθως γνωστό, είναι ένα ημικρυστάλλινο πολυμερές σώμα που έχει τη διαύγεια 20-40%. Έχει μια άκαμπτη σπονδυλική στήλη (σχήμα 5.8 (β)) που του δίνει την υψηλή μετάβαση γυαλιού (τ γ) και τις θερμοκρασίες τήξης (ΓΜ) 143 °C και 343 °C αντίστοιχα. (Το σχετικό πολυμερές σώμα A πολύ, polyetherketone, PEK, έχει ακόμα το υψηλότερο τ γ και το τ μ 162 °C και 373 °C αντίστοιχα λόγω του μικρότερου αριθμού ατόμων οξυγόνου αιθέρα ανά δαχτυλίδι βενζολίου - να συγκρίνουν τις δομές αλυσίδων των σχημάτων 5.8 (β) και 5.8 (γ).) Μια συνέπεια του υψηλού τ γ και του τ μ PEEK είναι ότι οι μηχανικές ιδιότητες διατηρούνται μέχρι 120 °C και μπορεί να υιοθετηθεί στις θερμοκρασίες τόσο υψηλές όπως 230 °C. Επιπλέον έχει μια καλή ανθεκτικότητα με έναν κρίσιμο παράγοντα έντασης πίεσης της τάξης των 6MPam 1/2 και είναι ανθεκτικός σε πολλούς διαλύτες.

Το φυσικό λάστιχο λαμβάνεται από το λατέξ από hevea Brasiliensis δέντρων και είναι polyisoprene πάνω από 98%. Polyisoprene υπάρχει με δύο μορφές και είναι η μορφή της KAK που είναι το κύριο συστατικό του φυσικού λάστιχου. Σήμερα ένα ευρύ φάσμα των συνθετικών λάστιχων είναι διαθέσιμο και αυτά εξουσιάζουν την αγορά. Διάφορα συνθετικά λάστιχα προέρχονται από το βουταδιένιο όπως polybutadiene, το στυρόλιο-βουταδιένιο (SBR) και το νιτρίλιο-βουταδιένιο (NBR), και αυτά copolymers SBR και NBR είναι τα σημαντικότερα.

Για να επιτύχει τις ιδιότητες κατάλληλες για δομικούς λόγους που τα περισσότερα λάστιχα πρέπει "να βουλκανιστούν", δηλ., τα μακριά μόρια του λάστιχου πρέπει να διασυνδεθεί. Ο διασυνδέοντας πράκτορας στη θείωση είναι συνήθως θείο και οι αυξήσεις ακαμψίας και δύναμης με τον αριθμό διασυνδέσεων.

Θα δούμε στο εξής τμήμα ότι μια εκτενής σειρά των καλά καθιερωμένων μεθόδων επεξεργασίας είναι διαθέσιμη για PMCs. Αυτοί ποικίλλουν από τις απλές έντασης εργατικού δυναμικού μεθόδους κατάλληλες για μια στις αυτοματοποιημένες μεθόδους για γρήγορα τους μεγάλους αριθμούς σύνθετων συστατικών. Η μέθοδος παραγωγής και του PMC που επιλέγονται από έναν κατασκευαστή θα εξαρτηθεί από τους παράγοντες όπως το κόστος, η μορφή του συστατικού, ο αριθμός συστατικών και η απαραίτητη

απόδοση.

Οι ίνες γυαλιού είναι η πιο κοινή ενίσχυση για PMCs, αλλά ο άνθρακας και aramid οι ίνες χρησιμοποιούνται συχνότερα. Οι ενισχυμένοι με ίνες πολυεστέρες γυαλιού (GRPs) έχουν κατά πολύ το μεγαλύτερο ποσοστό της αγοράς με τα εροκίες που είναι δεύτεροι. Αν και τα ενισχυμένα με ίνες εροκίες γυαλιού (GREs) μπορούν να είναι φτωχά δεύτερα στα αντίστοιχα πολυεστέρα τους από την άποψη της ποσότητας, όπως μπορούμε να δούμε από τα στοιχεία του πίνακα 5.7 αυτό δεν είναι η περίπτωση όσον αφορά στις ιδιότητες. Συνεπεία του υψηλότερου κόστους και των ανώτερων ιδιοτήτων τους GREs υιοθετούνται γενικά στη μικρή ποσότητα, εφαρμογές υψηλής τεχνολογίας.

Οι ανώτερες μηχανικές ιδιότητες GREs που καταδεικνύονται στον πίνακα 5.7 είναι ένα αποτέλεσμα της καλών δύναμης και της ακαμψίας της εποξικής μήτρας και η ισχυρή σύνδεση των ινών γυαλιού στον εποξικό. Δεσμός E-rokies εντονότερα στις ίνες γυαλιού από καθένα άλλα ευρέως χρησιμοποιημένα thermosets, των πολυεστέρων και phenolics. Εντούτοις οι πράκτορες συζεύξεων χρησιμοποιούνται ακόμα για να βελτιώσουν το βρέξιμο και τη σύνδεση στην εποξική μήτρα και ένα ευρύ φάσμα των πρακτόρων συζεύξεων έχει βρεθεί για να είναι αποτελεσματικό silanes. Η καλή σύνδεση των εροκίες στην ενίσχυση γυαλιού οδηγεί στις υψηλές διελασματικές δυνάμεις κουράς. Και E - το γυαλί και χρησιμοποιούνται με τα εροκίες, με την ενσωμάτωση του υψηλότερου s-gyaliou' δύναμης (επίσης γνωστού ως p-γυαλί) παράγοντας τις καλύτερες μηχανικές ιδιότητες

Οι ίνες γυαλιού σε ένα σύνθετο μπορούν να υποβιβαστούν από το ύδωρ και αυτό οδηγεί σε μια απώλεια δύναμης. Το ύδωρ φθάνει στις ίνες μέσω των ατελειών στη μήτρα, κάτω από τις φτωχές διεπαφές ίνα μιτρών ή από τη διάχυση μέσω της μήτρας. Υπάρχουν στοιχεία ότι οι πράκτορες συζεύξεων μπορούν όχι μόνο να έχουν επιπτώσεις στην ξηρά δύναμη GREs αλλά και να μειώσουν την απώλεια δύναμης στα υγρά περιβάλλοντα. Όπως φαίνεται στο σχήμα 5.17 η ξηρά κάμψης δύναμη των εποξικών φύλλων πλαστικού ποικίλλει από 540 έως 705 MPa και μετά από την έκθεση στο βράζοντας ύδωρ για 72 χ αντά έχουν πέσει σε 225 έως 470 MPa ανάλογα με τον πράκτορα συζεύξεων. Η καλή εκτέλεση που συνδέεται με τους silane πράκτορες συζεύξεων έχει εξηγηθεί ως εξής. Όπως περιγράφεται στο κεφάλαιο 2 (η παράγραφος της 2.7.2) silane είναι συνδεδεμένη με τη ρητίνη μέσω μιας συμβατής ρ ομάδας ρητίνης και στο γυαλί από M όπου M είναι χαρακτηριστικά Si, Φε ή Al. Παρουσία του ύδατος ο ομοιοπολικός δεσμός MO υδρολύει όπως φαίνεται στο σχήμα 5.18 (α) Στο πλαίσιο της δράσης μιας πίεσης κουράς η ίνα μπορεί να γλιστρήσει σχετικά με τη μήτρα χωρίς μόνιμη αποτυχία δεσμών και ως εκ τούτου ζημία στην ακεραιότητα interface

Οι αλλαγές στη μήτρα λόγω της υγρασίας, επίσης εκείνοι στη διεπαφή ινών μήτρα-γυαλιού, τροποποιούν επίσης τις μηχανικές ιδιότητες του συνθέτου. Υπάρχουν διάφορες περιοχές στη διασυνδεδεμένη εποξική μήτρα για τη σύνδεση των μορίων ύδατος με τη σύνδεση υδρογόνου. Το ύδωρ ενεργεί ως plasticizer και μειώνει τη θερμοκρασία τ γ μετάβασης γυαλιού σημαντικά (διάφορες δεκάδες των βαθμών) όπως παρουσιασμένος από τα στοιχεία για έξι θεραπευμένες εποξικές ρητίνες στο σχήμα 5.19. Η μείωση του τ γ μπορεί να είναι ευεργετική όσον αφορά τις ιδιότητες στην περιβαλλοντική θερμοκρασία, αλλά μπορεί να έχει μια χαρακτηρισμένη καταστρεπτική επίδραση στην απόδοση στις ανυψωμένες θερμοκρασίες. Αξίζει στον αναγνώστη σε αυτή τη φάση ότι οι εποξικές ρητίνες είναι διαθέσιμες με ποικίλες συνθέσεις και δομές και έχουν συνεπώς μια σειρά των θερμοκρασιών μετάβασης γυαλιού και αποκρίνονται διαφορετικά στο ύδωρ. Παραδείγματος χάριν, έχει διαπιστωθεί ότι ο θεραπεύοντας πράκτορας διαδραματίζει έναν ρόλο στον καθορισμό των κινητικών της λήψης ύδατος και της υποβάθμισης στις μηχανικές ιδιότητες.

Αν και το γυαλί είναι η ευρύτετα χρησιμοποιημένη ενίσχυση για τα πολυμερή σώματα γενικά, και ο άνθρακας και aramid υιοθετείται για να λάβει τα εποξικά σύνθετα μιτρών με τα διαφορετικά χαρακτηριστικά που απαιτούνται για ορισμένες εφαρμογές, οι εκτατές και συμπιεστικές δυνάμεις και η ακαμψία των ενισχυμένων με ίνες εροκίες άνθρακα είναι καλύτερες από εκείνοι GREs, εντούτοις η απόδοση στην κουρά αυτών των δύο εποξικών βασισμένων σύνθετων είναι παρόμοια. Τα ενισχυμένα άνθρακας υλικά έχουν τις χαμηλότερες πυκνότητες έτσι οι συγκεκριμένες ιδιότητές τους είναι μακριά ανώτερες, αλλά πρέπει να αναφερθεί ότι ένα υψηλότερο κόστος περιλαμβάνεται. Οι ελαφριές ίνες aramid οδηγούν ακόμα στα σύνθετα χαμηλότερης πυκνότητας που δίνει τις καλές συγκεκριμένες ιδιότητες ακόμα κι αν οι τιμές εκτατής δύναμης και ακαμψίας είναι λιγότερο από εκείνες τις αποκτηθείσες χρησιμοποιώντας ίνες άνθρακα. Οι συμπιεστικές ιδιότητες είναι σχετικά φτωχές. Το forte του αραμιδ-εποξικού συστήματος είναι ότι έχει την καλύτερη αντίσταση αντίκτυπου των εποξικών σύνθετων μιτρών. Λόγω του αγαθού τους οι συγκεκριμένες ιδιότητες aramid και τα ενισχυμένα με ίνες εροκίες άνθρακα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για τις εφαρμογές στην αεροδιαστημική βιομηχανία.

Προηγουμένως έχει επισημανθεί ότι τα thermosetting πολυμερή σώματα είναι ευρύτετα χρησιμοποιημένη για τις μήτρες PMCs. Εντούτοις υπάρχει αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη θερμοπλαστική λόγω της ουσιαστικά απεριόριστης ζωής του προϊόντος στο ράφι τους, της ευκολίας της επεξεργασίας, της

δυνατότητας τα αποκόμματα και του απορρίματος, και βελτιωμένος ανά formance σε ορισμένες περιοχές όπως η ανθεκτικότητα. Ο πολυ αιθέρας etherket, είναι σχετικά δαπανηρός ένας θερμοπλαστικός με τις καλές μηχανικές ιδιότητες. Υπό αυτήν τη μορφή είναι πλέον πιθανό να υιοθετηθεί στις εφαρμογές υψηλής απόδοσης παραδείγματος χάριν, ο άνθρακας ενισχυμένος με ίνες είναι ανταγωνιστής με τον άνθρακα που ενισχύεται εροχίες είναι ένα ημικρυστάλλινο πολυμερές σώμα η του οποίου μηχανική συμπεριφορά εξαρτάται από το βαθμό κρυστάλλωσης και μεγέθους και τη διανομή spherulites. Αυτά τα μικροδομικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα καθορίζονται από τη θερμική ιστορία και την ενίσχυση. Σχετικά με τη θερμική ιστορία, με την ψύξη εξαιρετικά γρήγορα από το λειωμένο μέταλλο σε ένα ποσοστό μεγαλύτερο από 1000°C/1. μια άμορφη μήτρα μπορεί να ληφθεί, ενώ κάτω από την πιο συνηθισμένη ψύξη ρυθμίζει το βαθμό διαύγειας είναι 20- 30%. Spherulites είναι nucleated στη PEEK μήτρα και στις επιφάνειες ινών. Η έκταση του σχηματισμού φύτρων στη διαπαφή ίνα-μιτράν ποικίλλει με την ενίσχυση ακόμη και για μια δεδομένη ενίσχυση όπως η ίνα άνθρακα ο σχηματισμός φύτρων είναι ευαίσθητος στον τύπο ίνας χρησιμοποιούμενο.

Ένα από τα σημαντικότερα θέλητρα της θερμοπλαστικής είναι η καλή ανθεκτικότητά τους σε σύγκριση με thermosets είναι σκληρός ακόμη και για έναν θερμοπλαστικό και την ανθεκτικότητα δεν υποβιβάζεται όταν ενισχύεται

Έχουμε δει ότι οι μηχανικές ιδιότητες των εροχίες μπορούν να επηρεαστούν από την υγρασία, εντούτοις είναι αντίθετα, όπως πολλές θερμοπλαστικές μήτρες, δεν απορροφούν ένα σημαντικό ποσό ύδατος. Κατά συνέπεια ακόμη και στους υγρούς όρους ένα PEEK σύνθετο μιτράν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις θερμοκρασίες τόσο υψηλές όπως 120 °C. Για τις αεροδιαστημικές εφαρμογές τα υλικά απαιτούν επίσης μια αντίσταση σε άλλα υγρά όπως τα καύσιμα, το υδραυλικό ρευστό, τα λιπαντικά και οι διαλύτες. Εκτιμώντας ότι άμορφα polysulphone και το polyetherimide θερμοπλαστικής υποβιβάζουν μέσα

πολλά από αυτά τα υγρά, ημικρυστάλλινα έχουν βρεθεί για να είναι ανθεκτικά στα χαρακτηριστικά περιβάλλοντα αεροσκαφών. Στην πραγματικότητα παρουσιάζει καλή αντίσταση στα περισσότερα περιβάλλοντα στη θερμοκρασία δωματίου με εξαίρεση τα ισχυρά διαλύματα θειικού οξέος.

Μια αδυναμία των πολυμερών σωμάτων που δεν εκτίθενται από τα δομικά μέταλλα και την κεραμική είναι το εύφλεκτό τους. Τα πτητικά προϊόντα αποσύνθεσης των πολυμερών σωμάτων είναι συχνά πλούσια σε υδρογόνο που υποστηρίζει τη διαδικασία καύσης. Εντούτοις, και η άλλη αρωματική (δηλ., ένα ή περισσότερο δαχτυλίδι βενζολίου στο μόριο) θερμοπλαστική, έχει μια χαμηλή αναλογία του υδρογόνου στον άνθρακα και συνεπώς μην παράγετε τα μεγάλα ποσά καυσίμων πτητικών ουσιών. είναι επομένως δύσκολος να αναφλέξει. Ένα μέτρο του εύφλεκτου είναι ο δείκτης οξυγόνου περιορισμού (LOI) που είναι το ποσοστό του οξυγόνου σε ένα μίγμα άζωτο-οξυγόνου που θα υποστηρίξει ακριβώς την καύση. Οι τιμές LOI για κάποια αρωματική θερμοπλαστική παρουσιάζονται. Η υψηλή αξία LOI 35% για PEEK είναι εξαιρετικά επιθυμητή ο αέρας περιέχει μόνο το οξυγόνο 22% και επομένως και τα σύνθετά του είναι αυτοεξολοθρευτικά σε μια κανονική ατμόσφαιρα Όχι μόνο είναι σύνθετα μιτράν δύσκολα να θέσουν στην πυρκαγιά αλλά, εξ αιτίας του υψηλού τ γ και του τ μ PEEK, ή μηχανική απόδοση διατηρείται στις υψηλές θερμοκρασίες. Τα στοιχεία για PEEK που ενισχύεται με τις συνεχείς άνθρακα ίνες γυαλιού ινών και 30% ασυνεχείς που παρουσιάζονται στο σχήμα 5.21 καταδεικνύουν ότι ακόμη και σε 150°C η δύναμη και η ακαμψία του φτωχότερου ενισχυμένου γυαλί σύνθετου απόδοσης ήταν ακόμα πάνω από 60% των τιμών θερμοκρασίας δωματίου.

Συχνά πρέπει να εξασφαλίσουμε ότι ένα συστατικό δεν σπάζει, δηλ., αυτό έχει την επαρκή δύναμη, ή ότι δεν υφίσταται την υπερβολική παραμόρφωση κάτω από το φορτίο, δηλ., έχει την επαρκή ακαμψία. Για αυτούς τους λόγους μέθοδοι discuss * την ακαμψία και τη δύναμη των σύνθετων στα ακόλουθα κεφάλαια. Ειδικότερα θα ενδιαφερθούμε για τη συμπεριφορά των επίπεδων, πιάτο-όπως στοιχείων, καθώς τα σύνθετα συστατικά κατασκευάζονται συχνά κατ' αυτό τον τρόπο. Δεδομένου ότι οι περισσότερες από αυτές τις μεθόδους προέρχονται από τις βασικές αρχές των μηχανικών και της ανάλυσης πίεσης, τα τελευταία είναι ο αναθεωρημένος Belo πριν πηγαίνουν για να εξεταστούν τα σύνθετα. Τα πλήρη στοιχεία αυτών των μεθόδων μπορούν να βρεθούν στα τυποποιημένα κείμενα σε τέτοια θέματα.

Θεωρούμε τα φορτία ενεργώντας σε μια δομή ή ένα συστατικό δύο βασικών τύπων δυνάμεις και ζεύγη. Οι δυνάμεις μπορούν να υποδιαιρεθούν περαιτέρω σε tenafel συμπιεστικό και να κουρέψουν, και τα ζεύγη στις κάμπτοντας στιγμές και twistim τις στιγμές (ή τις ροπές). Όλοι αυτοί μπορούν να ενεργήσουν μεμονωμένα ή σε συνδυασμό, ανάλογα με την κατάσταση.

Κατά πραγματοποίηση μιας δομικής ανάλυσης την είναι κατάλληλο να αντιπροσωπευθεί η επαναδομή από το ένα, ή περισσότεροι, εξιδανικευμένα στοιχεία. Κάθε στοιχείο almet βεβαίως να είστε μια απλοποίηση της πραγματικής κατάστασης, δεδομένου ότι θα κάνουμε τις υποθέσεις για τον τρόπο που τα φορτία διανέμονται μέσα σε τον. Αυτές οι απλοποιήσεις είναι συχνά βασισμένες στις διαστάσεις του μέρους.

Ένα ευθύ μέλος το του οποίου μήκος είναι πολύ μεγαλύτερο ότι οι διατομικές διαστάσεις του, και

υποβάλλεται σε μια ένταση ή μια συμπίεση κατά μήκος του μήκους του, αναφέρεται ως ράβδος. Ένα παρόμοιο μέλος, αλλά σε μια κάμπτοντας στιγμή είναι γνωστό ως ακτίνα, ξηρά όταν φορτώνεται από μια ροπή καλείται άξονα.

Όταν έχουμε έναν deirient το ο οποίος μήκος και εύρος είναι πολύ μεγαλύτερος από το πάχος του, και που υποβάλλεται στις επίπεδες δυνάμεις, αναφερόμαστε σε το ως μεμβράνη. Εάν τον υποβάλλουμε στις κάμπτοντας στιγμές τον καλούμε πιάτο.

Τα κυλινδρικά συστατικά cast αντιμετωπίζονται ως μεμβράνες υπό τον όρο ότι η διάμετρος είναι σταθερή και πολύ μεγαλύτερη από το πάχος τοίχων. Εάν η διάμετρος df ο κύλινδρος ποικίλλει κατά μήκος του μήκους της που θα το καλούσαμε κοχύλι σε αυτήν την περίπτωση η συμπεριφορά της είναι παρόμοια με, αλλά πιο περίπλοκος από, ένα πιάτο.

Κάθε τύπος φορτίου που αναφέρεται ανωτέρω παράγει μια χαρακτηριστική παραμόρφωση ϕ το σώμα στο οποίο ενεργεί. Επίσης equently αναφερόμαστε στις καταστάσεις της πίεσης αεροπλάνων και της πίεσης αεροπλάνων. Στην πίεση αεροπλάνων, gesses κανονικός στο αεροπλάνο στο οποίο οι πιέσεις ενεργούν θεωρείται για να είναι :ego, π.χ. ένα πιάτο στο απλό bendig. Στην πίεση αεροπλάνων, πιέσεις κανονικές στο οποίο η πράξη πιέσεων θεωρείται μηδέν, π.χ. η διαγώνιος-δράση ενός φραγμού κράτησε τους άκαμπτους τοίχους betweeri.

Μια ροπή θα προκαλέσει τις πιέσεις κουράς. Πάλι, αυτοί θα ποικίλουν μια γραμμική μόδα αλλά μπορεί μόνο να υπολογιστεί εύκολα για το απλό βεβαίως είναι μια απλοποίηση της πραγματικής κατάστασης, δεδομένου ότι θα κάνουμε τις υποθέσεις για τον τρόπο που τα φορτία διανέμονται μέσα σε το. Αυτές οι απλοποιήσεις είναι συχνά βασισμένες στις διαστάσεις του μέρους. Ένα ευθύ μέλος το του οποίου μήκος είναι πολύ μεγαλύτερο ότι οι διατομικές διαστάσεις του, και υποβάλλεται σε μια ένταση ή μια συμπίεση κατά μήκος του μήκους του, αναφέρεται ως ράβδος. Ένα παρόμοιο μέλος, αλλά σε μια κάμπτοντας στιγμή είναι γνωστό ως ακτίνα, ξηρά όταν φορτώνεται από μια ροπή καλείται άξονα. Όταν έχουμε έναν deirient το ο οποίος μήκος και εύρος είναι πολύ μεγαλύτερος από το πάχος του, και που υποβάλλεται στις-ΕΠΙΠΕΔΕΣ δυνάμεις, αναφερόμαστε σε το ως μεμβράνη. Εάν τον υποβάλλουμε στις κάμπτοντας στιγμές τον καλούμε πιάτο. βεβαίως να είστε μια απλοποίηση της πραγματικής κατάστασης, δεδομένου ότι θα κάνουμε τις υποθέσεις για τον τρόπο που τα φορτία διανέμονται μέσα σε το. Αυτές οι απλοποιήσεις είναι συχνά βασισμένες στις διαστάσεις του μέρους.

Ένα ευθύ μέλος το του οποίου μήκος είναι πολύ μεγαλύτερο ότι οι διατομικές διαστάσεις του, και υποβάλλεται σε μια ένταση ή μια συμπίεση κατά μήκος του μήκους του, αναφέρεται ως ράβδος. Ένα παρόμοιο μέλος, αλλά σε μια κάμπτοντας στιγμή είναι γνωστό ως ακτίνα, ξηρά όταν φορτώνεται από μια ροπή καλείται άξονα.

Όταν έχουμε έναν deirient το ο οποίος μήκος και εύρος είναι πολύ μεγαλύτερος από το πάχος του, και που υποβάλλεται στις-ΕΠΙΠΕΔΕΣ δυνάμεις, αναφερόμαστε σε το ως μεμβράνη. Εάν τον υποβάλλουμε στις κάμπτοντας στιγμές τον καλούμε πιάτο. Τα κυλινδρικά συστατικά cast αντιμετωπίζονται ως μεμβράνες υπό τον όρο ότι η διάμετρος είναι σταθερή και πολύ μεγαλύτερη από το πάχος τοίχων. Εάν η διάμετρος df ο κύλινδρος ποικίλλει κατά μήκος του μήκους της που θα το καλούσαμε κοχύλι σε αυτήν την περίπτωση η συμπεριφορά της είναι παρόμοια με, αλλά πιο περίπλοκος από, ένα πιάτο.

Κάθε τύπος φορτίου που αναφέρεται ανωτέρω παράγει μια χαρακτηριστική παραμόρφωση ϕ το σώμα στο οποίο ενεργεί. Αυτοί παρουσιάζονται στο σχήμα

Οποιαδήποτε διαμήκης παραμόρφωση (στην κατεύθυνση της δύναμης) θα συνοδευθεί από μια πλευρική παραμόρφωση υπό την αντίθετη έννοια, όπως διευκρινίζεται για ένα πιάτο και η πίεση κουράς και η πίεση αφορούν από το συντελεστή κουράς, γ , δηλ. Οι ανωτέρω εξισώσεις αναφέρονται σε ένα υλικό για το οποίο η πίεση είναι ανάλογη προς την πίεση, δηλ., το υλικό είναι γραμμικό ελαστικό. Τέτοια υλικά λέγονται για να υπακούσουν το νόμο Hooke. η inear συμπεριφορά φαίνεται όχι πάντα, ειδικά για τη φόρτωση κουράς.

Κατά επίλυση των προβλημάτων ανάλυσης πίεσης, την ξέρουμε συνήθως τις πιέσεις (από τα εφαρμοσμένα φορτία) και επιθυμούμε να υπολογίσουμε τις αντίστοιχες πιέσεις (ή τις παραμορφώσεις). Για τις μικρές (δηλ., ελαστικός) πιέσεις, αυτές οι ποσότητες αφορούν από τις ελαστικές σταθερές που θα είναι γνωστές για το υλικό υπό εξέταση. Ακολουθεί, κατόπιν, ότι εάν οι άμεσες πιέσεις ενεργούν σε δύο ορθογώνιες κατευθύνσεις, η επακόλουθη πίεση σε κάθε κατεύθυνση θα εξαρτηθεί και από τις δύο πιέσεις. Η γραμμική συμπεριφορά φαίνεται όχι πάντα, ειδικά για τη φόρτωση κουράς. Συνήθως χρειαζόμαστε επίσης τις πιέσεις από την άποψη της πίεσης. Αυτοί βρίσκονται εύκολα με την επίλυση των εξισώσεων 6,3, δηλ. Οι ανωτέρω εξισώσεις αναφέρονται σε ένα υλικό για το οποίο η πίεση είναι ανάλογη προς την πίεση, δηλ., το υλικό είναι γραμμικό ελαστικό.

Τέτοια υλικά λέγονται για να υπακούσουν το νόμο Hooke. Η γραμμική συμπεριφορά φαίνεται όχι πάντα, ειδικά για τη φόρτωση κουράς. Οι πιέσεις στις δύο ορθογώνιες κατευθύνσεις αφορούν από μια ποσότητα γνωστή ως αναλογία Poisson, β Ακολουθεί, κατόπιν, ότι εάν οι άμεσες πιέσεις ενεργούν σε δύο ορθογώνιες

κατευθύνσεις, η επακόλουθη πίεση σε κάθε κατεύθυνση θα εξαρτηθεί και από τις δύο πιέσεις,

Συνήθως χρειαζόμαστε επίσης τις πιέσεις από την άποψη της πίεσης. Αυτοί βρίσκονται εύκολα Η επιρροή της αναλογίας Poisson φαίνεται, επίσης, στην κάμψη των πιάτων. Όπως δηλώνεται ήδη, η κάμψη θα οδηγήσει σε μια γραμμική διανομή της άμεσης πίεσης που ποικίλλει μέσω του πάχους, από την ένταση σε μια επιφάνεια στη συμπίεση σε άλλη. Συνδεδεμένοι με την εκτατή πίεση βλέπουμε τώρα που θα υπάρξει μια πλευρική συστολή, και συνδεδεμένος με τη συμπιεστική πίεση μια πλευρική επέκταση. Το αποτέλεσμα αυτού είναι να καμφθεί το πιάτο υπό την αντίθετη έννοια στην κύρια κάμψη (σχήμα 6.5), που δίνει αυτό που είναι γνωστό ως anticlastic κυρτότητα. Κάμπτοντας παραμόρφωση σχήματος 6.5 ενός πιάτου. Εκτατή πίεση πλευρική συστολή *duces* ανώτερης επιφάνειας στην υπέρ (αντίθετη στη χαμηλότερη επιφάνεια).

Χρησιμοποίηση μιας γενίκευσης της κάμψης ακτίνων μπορούμε να αφοράμε τις άμεσες πιέσεις και τις κυρτότητες που προκύπτουν από τις εφαρμοσμένες κάμπτοντας στιγμές, όπως η απόσταση που μετριέται μέσω του πάχους. Για μια εφαρμοσμένη στιγμή *twistini* θα υπάρξει μια αντίστοιχη πίεση κουράς που δίνεται κοντά

Σημειώστε την το χρήση ενός διπλού υπογεγραμμένου κατά εξέταση της κουράς. Ο υπογεγραμμένος FIM αφορά τον κανονικό του αεροπλάνου στο οποίο η πίεση ενεργεί και το δεύτερο υπογεγραμμένο στην κατεύθυνση της πίεσης το σχήμα Οι μέθοδοι για τις εκτροπές δίνονται στα προηγμένα κείμενα στους εφαρμοσμένους μηχανικούς.

Οι εξισώσεις χρησιμοποιούμενες ανωτέρω αφορούν τα ισοτροπικά υλικά, όπως τα *unre-inforced* μέταλλα ή τα πολυμερή σώματα σε ορισμένους όρους. Σε αυτά τα υλικά τα ελαστικά *constraints*, δεν ποικίλλουν με την κατεύθυνση. Με άλλα λόγια, εάν επρόκειτο να πάρουμε ένα φύλλο του μετάλλου με τον τυχαίο προσανατολισμό των σιταριών, για παράδειγμα, και να κόψουμε από το μια σειρά δειγμάτων δοκιμής, η αξία *E* που καθορίζεται από μια εκτατή δοκιμή θα ήταν η ίδια για κάθε δείγμα.

Μια περαιτέρω ιδιοκτησία των ισοτροπικών υλικών είναι ότι μόνο δύο ελαστικές σταθερές που απαιτείται για να περιγράψει (ή να χαρακτηρίσει) τη δύναμη - ενταση συμπεριφορά. Συνήθως χρησιμοποιούμε E και ν , οι οποίοι αφορούν το γ από την εξίσωση

Κατά την καθορισμό της δύναμης ενός ισοτροπικού υλικού που είναι συμβατικός προι4στάμενος χρήσης μ τονίζει ή τεντώνει από κοινού με μια αποτυχία *criterm*, οι κύριες τιμές είναι τα μέγιστα σε ένα σημείο σε ένα συστατικό και είναι *found* από τις πιέσεις, ή τις πιέσεις, σε εκείνο το σημείο, που εκφράζεται ορθογώνιους άξονες ενός στους κατάλληλους καθορισμένους ν . Όταν οι πιέσεις ποικίλλουν σε όλο το συστατικό, ως συνήθως περίπτωση, είναι απαραίτητο να υπολογίσουν οι κύριες τιμές σε διάφορα σημεία για να βρεί το απόλυτο μέγιστο.

Προκειμένου να βρεθεί ο προι4στάμενος τονίζει σε ένα σημείο, είναι πρώτο απαραίτητο Λ λαμβάνει μια έκφραση για τις άμεσες και πιέσεις κουράς ενεργώντας σε ένα πρόσωπο M κάποια γωνία θ στους βασικούς άξονες που όλο το ρ

Επειδή η αφετηρία ενός σημαντικού ποσοστού της κατασκευής των σύνθετων είναι ο συνδυασμός ινών και μήτρας, θα ήταν πολύ - βοηθητικό εάν θα μπορούσαμε να προβλέψουμε τη συμπεριφορά του σύνθετου (φύλλο πλαστικού) από γνώση υπάρχουν πολλοί περιορισμοί σε τέτοιες αναλύσεις μικρομηχανικής. Εντούτοις, η μελέτη της απόδοσης σε μια κλίμακα μικροϋπολογιστών είναι ουσιαστική εάν πρόκειται να καταλάβουμε πλήρως ποιοι έλεγχοι η δύναμη, η ανθεκτικότητα, κ.λπ., των σύνθετων. δήλωσε ότι η ομοιοκατευθυνόμενη πτυχή κλειδαριά διαμορφώνει ενός χρήσιμου κτηρίου "για πολλές μελέτες των σύνθετων. Πολλή ανάλυση μικρομηχανικής, *therefore*, έχει αφιερωθεί σε αυτό το απλό σύστημα. Η επιτυχέστερη εφαρμογή είναι η πρόβλεψη της ακαμψίας παράλληλης στις ίνες, δηλ. η ακαμψία. Για να λάβει αυτό η ακαμψία εξετάζει μια σειρά ομοιόμορφων παράλληλων συνεχών ινών, που συνδέεται τέλεια με τη μήτρα, και φορτωμένος παράλληλος στις ίνες. Η υπόθεση της τέλει σύνδεσης σημαίνει ότι δεν υπάρχει καμία ολίσθηση στη διεπαφή ινών/μιτρών και, ως εκ τούτου, το επιβληθέν φορτίο κατά μήκος της κατεύθυνσης ινών θα παραγάγει τις πιέσεις (ϵ) που είναι ίσες σε όλα τα συστατικά (σύνθετο, ίνες, μήτρα), δηλ. λαμβάνει μια έκφραση για την εγκάρσια ακαμψία εξετάζουμε ένα φορτίο που εφαρμόζεται κάθετα στην κατεύθυνση ινών, Αντικαθιστάμε το πραγματικό σύνθετο το απλό πρότυπο Υποτίθεται ότι τα μήκη είναι ανάλογα προς τα μέρη όγκου και ότι η δύναμη (ή πίεση) είναι η ίδια σε κάθε ιδρυτική ανάκληση ότι υποθέσαμε ότι οι πιέσεις ήταν οι ίδιες.

Είναι συνηθισμένο σαν διαμήκη αξία, εάν μόνο επειδή ο εγκάρσιος συντελεστής *ibre* είναι εξαιρετικά δύσκολο να καθοριστεί. Αυτή η υπόθεση $>$ μόνο ϵ σωστό για τις ισοτροπικές ίνες. Όπως να αναμένεται, λόγω των τεράστιων απλοποιήσεων που γίνονται το ανωτέρω πρότυπο, δεν δίνει τις πολύ καλές προβλέψεις. Η εξαιρετικά περίπλοκη ελαστικότητα ή οι πεπερασμένες αναλύσεις στοιχείων είναι για να παραγάγει ένα ακριβέστερο πρότυπο. Εντούτοις, το απλό πρότυπο είναι *self* στην άδεια σε μας για να αξιολογήσει η αποτελεσματικότητα των διαφορετικών ινών και των μιτρών.

Είναι πολύ δυσκολότερο να ληφθεί μια πρόβλεψη για τη δύναμη απ'ό,τι για την ακαμψία που αυτό είναι λόγω διάφορων παραγόντων: η τυχαία φύση της αποτυχίας και ως εκ τούτου η ανάγκη να

υιοθετηθούν οι στατιστικές μέθοδοι ο αριθμός τρόπων αποτυχίας που μπορεί να προκαλέσει τη σύνθετη αποτυχία (ίνα, μήτρα ή αποτυχία διεπαφών) η πολύ τοπική φύση της έναρξης αποτυχίας και η επιρροή ο ίδιος του σχετικού τομέα πίεσης που καθορίζεται από τις λεπτομέρειες της συσκευασίας ινών. Όσον αφορά στην ακαμψία, μέθοδοι FO:προβλέποντας τη διαμήκη απόδοση είναι καλύτερος από εκείνοι για την εγκάρσια απόδοση κουράς ANC.

Επίσης απαιτούμε ότι οι ίνες πρέπει να ενισχύσουν τη μήτρα, LE ότι η σύνθετη δύναμη είναι μεγαλύτερη από τη δύναμη μιτρών. Αυτό το ίπρφε ένα μέρος όγκου ινών επάνω από κάποια κρίσιμη αξία, πάλι περίπου 0,1 για PMCs έπειτα για τα πολύ μικρά μέρη όγκου όταν η ρωγμή μιτρών ". (πρώτα), το φορτίο ρίχνεται προς τις ίνες: η πλήρης αποτυχία του ελάσματος wM ακολουθεί δεδομένου ότι υπάρχουν ανεπαρκείς ίνες για να πάρουν το φορτίο δύναμη απ' ό,τι για την ακαμψία. Αυτός της αποτυχίας και ως εκ τούτου το ρ των τρόπων αποτυχίας που μπορεί "αποτυχία της MAC) πολύ ο τοπικός ο σχετικός τομέας πίεσης. Είναι για την ακαμψία, μέθοδοι για η εκείνοι για εγκάρσιο μπορεί να αποδειχθεί ότι το μέρος όγκου ινών αλλαγή τρόπου πολύ σε μικρό για FRP. Εν περιλήψει, για το περισσότερο PMCs, δίνει σε μια λογική περιγραφή τη φυσική load-carrying ικανότητα, αλλά πρέπει να αναγνωριστεί ότι (των ινών ή της μήτρας) μπορεί να είναι ένα πίο χρήσιμο κριτήριο σχεδίου. Η ανωτέρω επεξεργασία παραμελεί μερικά σημαντικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, όπως της δύναμης από την ίνα στην ίνα και η διανομή των μεγεθών ρωγμών κατά μήκος κάθε ίνας. Η δύναμη ινών δεν είναι μια μοναδική αξία ποικίλλει από μια ίνα σε άλλη και εξαρτάται από το μήκος πέρα από το οποίο μετριέται. Κατά συνέπεια, η επιλογή σ χ είναι μακριά από προφανή και αυτό είναι απαραίτητος να χρησιμοποιήσει μια στατιστική προσέγγιση.

Είναι ευρέως γνωστό ότι οι πειραματικά μετρημένες δυνάμεις των εύθραυστων στερεών υπόκεινται στα μεγάλα ποσά διασποράς που μπορούν να περιγράφουν από τη λειτουργία διανομής Weibull. Όταν η δύναμη ενός μεγάλου αριθμού ινών, διάμετρος $2r$, μετριέται πέρα από ένα μήκος μανομέτρων ελέγχου ακριβείας η διανομή των δυνάμεων μπορεί να αντιπροσωπευθεί από την ίδια λειτουργία. Μπορεί να υποτίθεται ότι η καμπύλη διανομής Weibull έχει δύο σημεία διακοπών που αντιστοιχούν σε ένα όριο $\sigma \chi$ και μια ανώτερη αστρονομική μονάδα χαμηλότερης δύναμης ορίου δύναμης. Το τελευταίο είναι ισοδύναμο με τη θεωρητική δύναμη της ίνας ελλείψει οποιωνδήποτε εσωτερικών ατελειών ή ρωγμών επιφάνειας που είναι αρμόδιες για τις μειωμένες δυνάμεις που μετρούνται. παρουσιάζει στο Weibull συσσωρευτική λειτουργία διανομής πιθανότητας $\gamma(\alpha)$ που δίνεται κοντά

όπου το $\gamma(\alpha)$ είναι η πιθανότητα του σπασίματος μια ίνα σε επίπεδο πίεσης ίσο με ή λιγότερο από το α . Είναι συχνά χρήσιμο να αξιολογηθεί η δύναμη ινών με τη μέτρηση της δύναμης 7β σπασίματος μιας δέσμης των ινών που, ως μεμονωμένες ίνες, εκθέτουν τη διανομή που περιγράφεται από την εξίσωση 8,16 και έχουν μια μέση δύναμη σ . Διαπιστώνεται ότι ένα χ είναι λιγότερο από σ και ότι η αναλογία ένα α εξαρτάται από το ποσό διασποράς στη δύναμη των μεμονωμένων ινών. Πολύ εύθραυστες ίνες, οι οποίες παρουσιάζουν συνήθως α Εάν οι συνεχείς ίνες πρόκειται να αποτελεσματικές ως ενισχύσεις των πρακτόρων, οι ρωγμές πρέπει να είναι από περισσότερο από το κρίσιμο μήκος για τα περαιτέρω letails. Στην πράξη αυτό δεν είναι συνήθως ένα πρόβλημα επειδή οι ρωγμές, στις καλές ίνες :uality, είναι πολλά χιλιοστόμετρα χώρια, ενώ το κρίσιμο μήκος είναι λιγότερος

Η σύνθετη φύση της εκτατής αποτυχίας, που περιλαμβάνει την ίνα, τη μήτρα ή τη διεπαφή, φαίνεται επίσης στη συμπίεση, αλλά με τις προστιθέμενες δυνατότητες της παραμόρφωσης ινών ~ και κουράς μιτρών. Η συνηθισμένη αφετηρία για την πρόβλεψη του διαμήκους συμπεστικού length από την άποψη των ιδιοτήτων της ίνας και της μήτρας είναι εργασία από Rosen - ho προβλεπόμενος ότι η αποτυχία υπό αυτούς τους όρους φόρτωσης θα ήταν ανάμεικτη με το κούμπωμα των ινών όπως στο κούμπωμα στηλών των δοκών στέγης.

μεγαλύτερος από τα πειραματικά αποτελέσματα. Αυτό προτείνει ότι είτε το μικροϋπολογιστής-κουμπώνοντας πρότυπο κάνει λάθος απολύτως ή ότι οι ελλοχεύουσες υποθέσεις έχουν υπεραπλουστευθεί σοβαρά.

Οποιοσδήποτε παράγοντας που οδηγεί σε μια μείωση της υποστήριξης που η μήτρα και οι περιβάλλουσες ίνες δίνουν σε μια ιδιαίτερη ίνα για να τον αποτρέψουν θα οδηγήσει σε μια μείωση ενός Στα πραγματικά συστήματα αυτή η υποστήριξη μπορεί να μειωθεί από τα ακόλουθα αποτελέσματα: συσσωρευση ινών που οδηγεί στις τοπικές πλούσιες περιοχές ρητίνης η παρουσία κενών φτωχή ευθυγράμμιση των ινών ή waviness ινών που οδηγεί σε μερικές ίνες κατά προτίμηση που προσανατολίζονται για το εύκολο κούμπωμα ινών που μπορεί να εμφανιστεί ως αποτέλεσμα των διαφορών μεταξύ των αναλογιών του Poisson της μήτρας και της ίνας και viscoelastic παραμόρφωση της μήτρας που οδηγεί σε μια αποτελεσματική μείωση του συντελεστή κουράς μιτρών. Μια πρόσφατη προσέγγιση που αποτελεί αρχικό waviness ινών και την πίεση παραγωγής κουράς μιτρών δίνει μια ακριβέστερη πρόβλεψη. Ένας πρόσθετος παράγοντας που ισχύει για τον άνθρακα και Kevlar 49 είναι οι μη-ισοτροπικές ελαστικές ιδιότητες αυτών των ινών. Η παραγωγή της υποθέτει ότι και η ίνα και η μήτρα είναι ισοτροπικές. Και ο άνθρακας και Kevlar 49 ίνες έχουν τους χαμηλούς εγκάρσιους και συντελεστές κουράς που σημαίνει ότι οι

προβλέψεις βασισμένες στις ιστροπικές ιδιότητες θα υπερεκτιμήσουν τη δύναμη κουμπώματος του σύνθετου υλικού. Επιπλέον, η χαμηλή συμπίεστική δύναμη Kevlar 49 οδηγεί στην πρόωρη αποτυχία των ινών με να παραγάγει. Η επιφάνεια σπασίματος έχει συνήθως πολλές διαμήκεις διασπάσεις, και κάποια διεύρυνση των ινών εμφανίζεται.

Οι πιέσεις αποτυχίας στη συμπίεση μπορούν να είναι πολύ κοντά σε εκείνους που φαίνονται στην ένταση: εντούτοις, τα αποτελέσματα εξαρτώνται πολύ από τη μέθοδο δοκιμής. Δεν υπάρχει καμία απλή σχέση για την πρόβλεψη της εγκάρσιας εκτατής δύναμης αντίθετα από τη διαμήκη εκτατή δύναμη που είναι καθορισμένη σχεδόν ολόκληρη!) από έναν ενιαίο παράγοντα, δηλ. η δύναμη ινών, η εγκάρσια δύναμη είναι governed από πολλούς παράγοντες συμπεριλαμβανομένων των ιδιοτήτων της ίνας και της μήτρας, της δύναμης δεσμών διεπαφών, της παρουσίας και της διανομής των κενών, και της εσωτερικής διανομής πίεσης και πίεσης. Το πιο ευδιάκριτο χαρακτηριστικό γνώρισμα της εγκάρσιας δύναμης είναι ότι για FRP είναι συνήθως λιγότερο από τη δύναμη της ρητίνης γονέων έτσι ώστε, σε αντίθεση με την επίδρασή τους στον εγκάρσιο συντελεστή, διαπιστώνουμε ότι οι ίνες έχουν μια αρνητική ενισχύοντας επίπτωση.

Η εγκάρσια εκτατή δύναμη ενός ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου σε *whic*: υπάρχει ελάχιστη ή καμία σύνδεση διεπαφών καθορίζεται από τη δύναμη της ρητίνης. Σε μια πρώτη προσέγγιση οι ίνες μπορούν να θεωρηθούν ως τρύπες cylindrical. Για μια τετραγωνική σειρά ινών η προβλεφθείσα δύναμη, υπό τον όρο ότι η ρητίνη *thi* δεν είναι εγκοπή ευαίσθητη, δίνεται *by* Όταν οι ίνες συνδέονται έντονα με τη μήτρα, η εγκάρσια δύναμη είναι εξαρτώμενος από τη δύναμη διεπαφών καθώς επίσης και με βάση τη μήτρα. Εάν ο δεσμός διεπαφών δεν αποτυγχάνει εκεί είναι μια ενίσχυση πίεσης και πίεσης μήτρα που είναι ένα μέγιστο μεταξύ των ινών. Υπολογισμοί των τομέων πίεσης η το σύνθετο δείχνει ότι η μέγιστη εκτατή συγκέντρωση πίεσης εμφανίζεται μεταξύ των ινών αξίας περίπου 2,0 αν και η αποτυχία μιτρών θα εξαρτηθεί από την πλήρη triaxial κατάσταση της πίεσης, είναι σαφές καπέλο που αυτά τα αποτελέσματα συγκέντρωσης πίεσης θα οδηγήσουν σε μια μείωση της δύναμης με τη μήτρα από έναν παράγοντα περίπου δύο. Εντούτοις, πρέπει να σημειωθεί *!* η εκτατή δύναμη των εύθραυστων μιτρών εξουσιάζεται από την επίδραση των

Η προσέγγιση ενίσχυσης πίεσης δεν είναι κατάλληλη για τις μήτρες που μια έντονη μη γραμμική stress-strain απάντηση. Η μείωση *nsverse* η δύναμη πρέπει έπειτα να αποτελεσθεί από την άποψη της πίεσης *agnification* ~, το οποίο είναι ένα μέγιστο μεταξύ των ινών. Πολύ υψηλό πίεσης - τιμές *ation*, ίσως τόσο υψηλός όπως πέντε, λαμβάνονται όταν είναι οι ίνες *rsely* χωρισμένος κατά διαστήματα. Οι μικροσκοπικές μελέτες του σπασίματος των ομοιοκατευθυνόμενων σύνθετων επιβεβαιώνουν Οι εγκάρσιες ρωγμές *LIT* είναι *nucleated* στις περιοχές της πυκνής συσκευασίας και επίσης παγατε κατά προτίμηση μέσω τέτοιων περιοχών. Μια κύρια ρωγμή συχνά *3w* η διεπαφή ίνα-μιτρών στις περιοχές της πυκνής συσκευασίας. Οι ρωγμές μπορούν μπροστά από την κύρια ρωγμή με, ή από το σπάσιμο ρητίνης πολύ στη διεπαφή ίνα-μιτρών στις περιοχές μέγιστου ακτινωτού εκτατού *ess* ή πίεση. *ther* οι πηγές χαμηλής εγκάρσιας εκτατής δύναμης περιλαμβάνουν *face* πριν από τη συνεκτική αποτυχία της ρητίνης ή της ίνας.

Τα τελευταία μπορούν να είναι *ularly* σχετικός με τις ίνες άνθρακα που έχουν βάλει τις δομές προσανατολισμένες σε στρώσεις παράλληλος στην επιφάνεια. Και στις δύο περιπτώσεις οι αιχμηρές ρωγμές μπορούν να διαμορφωθούν που μπορούν στην καταστροφική αποτυχία. Λόγω της σημασίας κάποια εγκάρσια δύναμη, προσπάθεια έχει αφιερωθεί στην τροποποίηση της δομής μιτρών ώστε τα αποτελέσματα συγκέντρωσης πίεσης. Δύο δυνατότητες είναι ενδιαφέρουσες *3MCs* η εισαγωγή μιας πολύ λεπτής διασποράς των λαστιχένιων μορίων εύθραυστη ρητίνη αυτά τα μόρια είναι γνωστά για να αυξάνουν την ανθεκτικότητα σπασίματος ρητίνες χωρίς μια πάρα πολύ μεγάλη μείωση της δύναμης και της ακαμψίας. Αυτή η επίδραση είναι για να είναι ιδιαίτερα σημαντικός στα υλικά με τη χαμηλή χρήση ενός μεσάζοντος στη διεπαφή ίνα-μιτρών που μπορεί να οδηγήσει σε μια αλλαγή στην πίεση η και μια μείωση της ενίσχυσης πίεσης. Μια τέτοια προσέγγιση μπορεί Όσον αφορά στην εγκάρσια ένταση, καμία ικανοποιητική μέθοδος πρόβλεψης δύναμης δεν υπάρχει για τη δύναμη συμπίεσης. Η εγκάρσια κατάσταση συμπίεσης περιπλέκεται από το γεγονός ότι δύο διαφορετικοί τρόποι αποτυχίας είναι δυνατοί.

Μια αποτυχία που περιλαμβάνει την αποτυχία κουράς μιτρών ή/και την αποτυχία διεπαφών ίνα-μιτρών είναι πλέον πιθανή. Σε αυτήν την περίπτωση η δύναμη θα είναι χαμηλότερη από τη διαμήκη συμπίεστική δύναμη, αλλά υψηλότερη από την εγκάρσια εκτατή δύναμη. Εάν το σύνθετο περιορίζεται για να αποτρέψει την αποτυχία στο εγκάρσιο επίπεδο, κουρεψτε την αποτυχία των ινών πραγματοποιείται δίνοντας μια δύναμη πλησιάζοντας τη διαμήκη αξία.

Τα δύο άκρα αντιστοιχούν στον εφαρμοσμένο παράλληλο κουράς στις ίνες ή την κάθετο ίνες. Η αποτυχία κουράς που συνδέεται με τα τελευταία είναι απίθανη δεδομένου ότι θα υπονοούσε την αποτυχία των ινών, η αποτυχία μιτρών ή διεπαφών είναι πολύ πιθανότερη. Η δύναμη θα εξουσιαστεί από τις ιδιότητες μιτρών επειδή η διάδοση ρωγμών μπορεί να εμφανιστεί εξ ολοκλήρου από την κουρά από τη μήτρα χωρίς τη διατάραξη ή σπάσιμο των ινών έτσι θα εξαρτηθεί από τις *viscoelastic* ιδιότητες της ρητίνης με παρόμοιο τρόπο *!* στις εγκάρσιες εκτατές ιδιότητες που περιγράφονται ανωτέρω ή μια δεδομένη μήτρα,

the η δύναμη κουράς εξαρτάται από τα αποτελέσματα συγκέντρωσης πίεσης που συνδέονται με την παρουσία ινών και κενών, και από το θόριο: δύναμη the interfacial bond. At low v ο παράγοντας συγκέντρωσης πίεσης είναι σχετικά αναισθητός στο β αλλά αυξάνεται γρήγορα όταν το β είναι μεγαλύτερος. Ταϊλάνδος 0,60, Για τα σύνθετα με τις εύθραυστες μήτρες, η συγκέντρωση πίεσης θα οδηγήσει στις τιμές του ϕ_{12} χαμηλότερου από τη δύναμη κουράς του matra μόνο. Η επίδραση είναι εντονότερη όταν εμφανίζεται η συσσώρευση ινών. Θόριο: η δύναμη ενός σύνθετου με τις πιο εύκαμπτες μήτρες είναι περίπου θόριο όπως για την καθαρή μήτρα επειδή οποιοδήποτε τόξο συγκεντρώσεων πίεσης οι τοπικές που χαλαρώνει διαδικασίες παραμόρφωσης. Τα ίδια επιχειρήματα εφαρμόζουν την επίδραση των κενών και των αδύναμα συνδεμένων διεπαφών. Λόγω των περιπλοκών, καμία σοβαρή προσπάθεια δεν έχει γίνει να διαμορφώσει αυτόν τον τρόπο αποτυχία. Όπως αναφέρεται ήδη, ο άνθρακας και aramid οι ίνες έχουν πολύ μικρός, ή ακόμα και ελαφρώς αρνητικός, συντελεστής της διαμήκους θερμικής επέκτασης (ένα ϕ). Μια συνέπεια αυτού είναι ότι οι υπόλοιπες πίεςεις οργανώνονται σε ένα ομοιοκατευθυνόμενο σύνθετο όπως δροσίζει από τη θερμοκρασία θεραπείας. Στην εγκάρσια κατεύθυνση αυτές οι πίεςεις μπορούν να είναι ένα σημαντικό μέρος της πίεσης αποτυχίας της μήτρας. Ως εκ τούτου, οποιοσδήποτε υπολογισμός που προσπαθεί να προβλέψει την αποτυχία πρέπει να περιλάβει αυτές τις θερμικές επιδράσεις.

Μια δεύτερη συνέπεια της ίνας και της μήτρας που έχουν τους διαφορετικούς συντελεστές επέκτασης είναι ότι το σύνθετο έχει τους διαφορετικούς συντελεστές στο διάμηκες και τις εγκάρσιες (2) κατευθύνσεις. Η ανισοτροπία της θερμικής επέκτασης θα προκαλέσει το υπόλοιπο : πίεςεις στα φύλλα πλαστικού, εκτός από εκείνους σε κάθε πτυχή αναφερθείσα - bone.

Οι μήτρες ρητίνης θα απορροφήσουν την υγρασία και επομένως θα πρηστούν κατά τη διάρκεια των κανονικών perating όρων. Μερικές ίνες, όπως Kevlar, απορροφούν επίσης το ύδωρ. η λήψη σε μια μήτρα ρητίνης είναι συνήθως με μια διαδικασία της διάχυσης Fickian v_d που η διόγκωση μπορεί να χαρακτηριστεί από έναν συντελεστή απορρόφησης (s), το ποιο s άμεσα ισοδύναμο με το συντελεστή θερμικής επέκτασης. Για ένα ομοιογενές υλικό μπορεί να αποδειχθεί ότι β (που ορίζεται ως η αλλαγή μονάδων πίεσης :eg της περιεκτικότητας σε υγρασία) δίνεται κοντά Πολλά εργαστήρια χρησιμοποιούν την κάμψης κούραση που εξετάζει μια εναλλακτική λύση στην αξονική φόρτωση, δεδομένου ότι είναι ευκολότερο να εκτελέσει, μην απαιτώντας κανέναν ενισχυτικό οδηγό και, γενικά, χαμηλότερη μηχανή δοκιμής ικανότητας. Οι κάμψης μέθοδοι δοκιμής που χρησιμοποιούνται για τη στατική φόρτωση είναι συνήθως κατάλληλες για την κούραση, αλλά η προσοχή πρέπει να ληφθεί για να ελαχιστοποιήσει την τριβή στους κυλίνδρους φόρτωσης, και είναι μερικές φορές απαραίτητο να εισαχθούν οι υποστηρίζοντας κύλινδροι στην αντίστροφη πλευρά των δελτίων.

Η δοκιμή κούρασης από τη φόρτωση κουράς είναι λιγότερο κοινή, αλλά ίσως πρέπει να εξεταστεί περισσότερο από είναι αυτή τη στιγμή. Η ευρύτητα χρησιμοποιημένη δοκιμή κουράς είναι πιθανώς η σύντομη ακτίνα ή η διελασματική δοκιμή κουράς. Αυτό μπορεί εύκολα να τροποποιηθεί για τη χρήση κούρασης από την εισαγωγή της υποστήριξης των κυλίνδρων απέναντι από τους κύριους κυλίνδρους, ιδιαίτερα εάν η εκτροπή πρόκειται να αντιστραφεί. Οι εναλλακτικές μέθοδοι δοκιμής κούρασης κουράς που χρησιμοποιούνται είναι επίσης βασισμένες στις τροποποιήσεις των μεθόδων που χρησιμοποιούνται για τη στατική δοκιμή. Πρώτα η εκτατή δοκιμή επάνω

τα φύλλα πλαστικού $\pm 45^\circ$, που προκαλεί την κουρά κατά μήκος των ινών, έχουν χρησιμοποιηθεί εκτενώς ως στατική δοκιμή για τη δύναμη κουράς και θα μπορούσαν επίσης να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή των στοιχείων κούρασης κουράς. Δεύτερον, η δοκιμή κουράς ραγών, επίσης που χρησιμοποιείται ευρέως για τις στατικές μετρήσεις δύναμης κουράς, έχει χρησιμοποιηθεί επίσης στην κούραση. Το δείγμα κουράς ραγών απαιτεί κάποια τροποποίηση για το για να είναι κατάλληλη για την κούραση που εξετάζει και η πρόσφατη εργασία έχει δείξει ότι οι ζωές κούρασης αποκτήσιμες εξαρτώνται πολύ από την ποιότητα επιφάνειας της εκτεθειμένης άκρης του δελτίου.

Αν και η εφαρμογή των καθαρώς ομοιοκατευθυνόμενων σύνθετων είναι περιορισμένη, λόγω των φτωχότερων μηχανικών ιδιοτήτων στις κατευθύνσεις εκτός από κατά μήκος των ινών, η χρήση έχει γίνει των σύνθετων με τα μεγάλα μέρη των ινών σε μια κατεύθυνση, όπως τις λεπίδες στροφικών ελικοπτερών και τις ανοίξεις φύλλων οχημάτων. Η μελέτη τέτοιων συστημάτων είναι, επομένως, σημαντική ειδικά όπως η γνώση οι η συμπεριφορά τους μπορεί να βοηθήσει να προβλέψει την απόδοση των multi-directional φύλλων πλαστικού. Οι χαρακτηριστικές πλοκές της μέγιστης εκτατής πίεσης εναντίον των κύκλων κούτσουρων στην αποτυχία, η παραδοσιακή s-n παρουσίαση των στοιχείων, παρουσιάζονται στα στοιχεία για τρία ομοιοκατευθυνόμενα υλικά επιδεικνύονται, ίνα άνθρακα, ίνα γυαλιού και aramid ενισχυμένη με ίνες εποξική ρητίνη. Η αναλογία της πίεσης κούρασης στην υψηλή διάρκεια ζωής στη στατική δύναμη είναι η μικρότερη για ενισχυμένος με ίνες υλικός γυαλιού και μέγιστος για το ενισχυμένο με ίνες υλικό άνθρακα, δηλ. το τελευταίο έχει μια ανώτερη απόδοση κούρασης.

Δεδομένου ότι για τα ομοιοκατευθυνόμενα σύνθετα υλικά κάτω από την εκτατή φόρτωση οι ίνες φέρνουν ουσιαστικά όλο το φορτίο, η εκτατή συμπεριφορά κούρασης να αναμένεται για να εξαρτηθεί απλώς από

τις ίνες, και δεδομένου ότι οι ίνες δεν είναι συνήθως ευαίσθητες στη φόρτωση κούρασης, η καλή συμπεριφορά κούρασης πρέπει να οδηγήσει. Εντούτοις, τα πειραματικά στοιχεία έχουν δείξει ότι οι κλίσεις των καμπυλών καθορίζονται κυρίως από την πίεση στη μήτρα. Συνεπώς οι πλοκές της μέσης πίεσης παρά να τονίσουν εναντίον των κύκλων κούτσουρων στην αποτυχία είναι συχνά σημαντικότερες για τα σύνθετα υλικά. Όλες οι μη μεταλλικές ίνες, όπως αναφέρονται ήδη, καθορίζουν μια στατιστική διανομή της δύναμης, από τις ρωγμές, κατά συνέπεια μερικές από τις πιο αδύνατες ίνες θα αποτύχουν κατά τη διάρκεια της φόρτωσης κούρασης. Αυτό προκαλεί τοπικό υψηλό τονίζει στη μήτρα και στη διεπαφή ίνα-μιτρών, ο οποίος οδηγεί στην ανάπτυξη της ζημίας κούρασης με τους αυξανόμενους αριθμούς κύκλων.

Η ζημία μπορεί επίσης να αναπτύξει στα τοπικά microdefects, όπως οι misaligned ίνες, περιοχές ή τα κενά ρητίνης τις πλούσιες. Οι ρωγμές ρητίνης αναπτύσσονται συχνά μεταξύ των ινών που απομονώνουν τις από το παρακείμενο υλικό και που δίνουν τις τους ατελέσφορους μεταφορείς φορτίων, αναγκάζοντας τις ίνες για να γίνουν τοπικά υπερφορτωμένες και να προαγάγουν τις στατικές αποτυχίες ινών να εμφανιστούν. Κοντά στην τελική αποτυχία, η μήτρα μπορεί να παρουσιάσει εκτενή διαμήκη διαχωρισμό παράλληλα στις ίνες που προκαλούνται από τη ρητίνη και την ενδιάμεση ζημία, που οδηγούν στη βούρτσα-όπως αποτυχία χαρακτηριστική των περισσότερων ομοιοκατευθυνόμενων υλικών. Το ποσοστό αυτής της διαδικασίας υποβάθμισης στη μήτρα και στη διεπαφή είναι μια λειτουργία της μαζικής πίεσης στη ρητίνη καθώς επίσης και η φύση της μήτρας. Η χρήση των πολύ δύσκαμπτων ινών οδηγεί στις σχετικά χαμηλές πιέσεις και έτσι τις ρηχές καμπύλες, ενώ οι λιγότερο δύσκαμπτες ίνες οδηγούν στις μεγαλύτερες πιέσεις μιτρών και τις πιο απότομο s-n καμπύλες. Αυτή η επίδραση της ακαμψίας ινών στη μορφή της s-n καμπύλης εμφανίζεται καλά στα στοιχεία για την ίνα άνθρακα και ενισχυμένος με ίνες εποξικός γυαλιού που δίνεται στις ίνες έχει μια ακαμψία μεταξύ αυτής των ινών γυαλιού και άνθρακα, κατά συνέπεια η ενδιάμεση συμπεριφορά κούρασης θα αναμενόταν. Εντούτοις, ο μηχανισμός ζημίας κούρασης είναι περίπλοκος σε αυτό το υλικό δεδομένου ότι agamid οι ίνες είναι οι ίδιοι κουράζουν ευαίσθητο και μπορούν defibrillate κατά τη διάρκεια της φόρτωσης κούρασης. Αυτό αναγκάζει τη s-n καμπύλη για να υιοθετήσει τη μορφή που απεικονίζεται στο σχήμα 13.1, που γίνεται πολύ πιο απότομο στο μεσάζοντα

μακροχρόνια διάρκεια ζωής.

Τα τελευταία χρόνια οι κατασκευαστές έχουν επιδιώξει να βελτιώσουν τις μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων υλικών βασισμένων στις τυποποιημένες υψηλές ίνες άνθρακα δύναμης στις μήτρες ρητίνης. Οι ίνες άνθρακα με μια σπάζοντας πίεση 1,8 % είναι τώρα ευρέως διαθέσιμες, όλοι οι σημαντικότεροι κατασκευαστές που προσφέρουν τα προϊόντα σε αυτήν την κατηγορία, και οι ίνες με μια σπάζοντας πίεση πάνω από 2% έχουν παραχθεί σε μια εργαστηριακή κλίμακα και θα πωληθούν σύντομα. Η χρησιμοποίηση των ινών άνθρακα υψηλότερης απόδοσης στις ίδιες τυποποιημένες μήτρες εποξικής ρητίνης οδηγεί γενικά σε λίγη βελτίωση στη συμπεριφορά κούρασης, όπως φαίνεται στο σχήμα 13.2 που παρουσιάζει πλοκές της μέγιστης πίεσης εναντίον των κύκλων κούτσουρων στην αποτυχία για διάφορα σύνθετα, όλες βασισμένες στην ίδια μήτρα ρητίνης αλλά με τη διαφορετική ίνα άνθρακα ενισχυόμενες μόνο τις μικρές αλλαγές στη συμπεριφορά κούρασης είναι προφανής, συνήθως ακριβώς μια μικρή μετατόπιση κατά μήκος της συντεταγμένης σύμφωνα με τις αλλαγές μ ο στατικός η παραγωγή των σύνθετων υλικών μπορεί να είναι κάπως σημαντικότερη από έχει συμβεί στο παρελθόν. Η φτωχότερη συμπεριφορά κούρασης αυτών των νέων σύνθετων μπορεί να οφείλεται όχι μόνο στη χειρότερη απόδοση των πιο ανθεκτικών μιτρών χρησιμοποιούμενων, αλλά και στις διαφορετικές διαδικασίες αποτυχίας που προκαλούνται, όπως η υπερβολική ίνα-μήτρα roy ή που χωρίζει. Στην αύξηση του ποσοστού των μη αξονικών ινών σε ένα φύλλο πλαστικού, η διαμήκεις στατικές εκτατή δύναμη και η ακαμψία μειώνονται δεδομένου ότι λιγότερες ίνες είναι διαθέσιμες για να υποστηρίξουν τα εφαρμοσμένα φορτία. Η κλίση της εκτατήσ καμπύλης αυξάνεται σε σχέση με τη στατική δύναμη) επειδή τα στρώματα με τις εκτός άξονα ίνες, οι των οποίων μηχανικές ιδιότητες είναι ρητίνη εξαρτώμενη, είναι ευκολότερα χαλασμένα στην κούραση.

δύναμη. Εναλλακτικά οι ρωγμές μπορούν περιστασιακά να διαδώσουν: τα αρχικά μεταφέροντα στρώματα και αποδυναμώνουν σοβαρά το υλικό. Η τελευταία εκτατή αποτυχία κούρασης των σύνθετων φύλλων πλαστικού καθορίζεται ακόμα από τα ομοιοκατευθυνόμενα στρώματα, κατά συνέπεια οι έκτατες s-n καμπύλες για τα multidirectional τοποθετημένα σε στρώματα σύνθετα υλικά είναι σχετικά ρηχές, αν και πιο απότομο than για το πλήρως ομοιοκατευθυνόμενο υλικό.

Σαν γενική εκτίμηση στη δοκιμή κούρασης των υλικών PMC, τα tes: η συχνότητα πρέπει να επιλεγεί ώστε να ελαχιστοποιηθεί η θέρμανση του υλικού. Η πηγή αυτής της επίδρασης θέρμανσης είναι υστέρηση στη ρητίνη, επίσης, ίσως, στη διεπαφή ίνα-μιτρών και σε μερικές περιπτώσεις, όπως τα σύνθετα που χρησιμοποιούν τις ίνες πολυμερούς ενίσχυσης, στις ίνες. Γενικά, τα φύλλα πλαστικού που εξουσιάζονται από τις συνεχείς ίνες στην κατεύθυνση δοκιμής παρουσιάζουν χαμηλότερες πιέσεις και οι συχνότητες λίγης υστέρησης θέρμανσης και δοκιμής περίπου 10 Hz είναι κατάλληλες. Εξουσιασμένα τα ρητίνη φύλλα

πλαστικού, με λίγες, ενδεχομένως, ίνες στην κατεύθυνση δοκιμής, παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη θέρμανση πιέσεων και μακρές υστέρησης και συχνότητες 5 Hz ή λιγότεροι, συστήνονται.

Η τοπική θέρμανση επί των τόπων ζημίας, η εναλλακτική πηγή θέρμανσης, μπορεί ακόμα να εμφανιστεί και θα μπορούσε να προκαλέσει την τοπική άνοδο θερμοκρασίας. Ιδανικά η θερμοκρασία δειγμάτων πρέπει να ελεγχθεί κατά τη διάρκεια μιας δοκιμής για να εξασφαλίσει ότι η υπερθέρμανση δεν εμφανίζεται. Αυτό είναι δύσκολο χωρίς ακριβή thermography εξοπλισμό, αν και ο στρατηγικός προσδιορισμός θέσης των θερμοηλεκτρικών ζευγών, η χρήση του χεριού κράτησε τους αισθητήρες θερμοκρασίας ή η εφαρμογή των ευαίσθητων επιστρωμάτων θερμοκρασίας μπορεί να είναι κατάλληλες εναλλακτικές λύσεις, ιδιαίτερα όταν είναι γνωστή η περιοχή της επίδρασης θέρμανσης, όπως όταν οι συμπτικνωτές πιέσης είναι παρόντες.

Η επίδραση της συχνότητας στις ιδιότητες, που είναι η επίδραση του ποσοστού φόρτωσης κούρασης, είναι αμελητέα για τα περισσότερα συνεχή σύνθετα ινών που εξετάζονται στην κατεύθυνση ινών, εφ' όσον η θέρμανση υστέρησης είναι επίσης αμελητέα. Η κύρια εξαίρεση είναι GFRP στο οποίο υπάρχει μια σημαντική επίδραση ποσοστού (σχήμα 12.5) όσο μεγαλύτερο το ποσοστό τόσο μεγαλύτερη η δύναμη. Μια ευαισθησία ποσοστού για τη δύναμη πάνω από 100 MPa ανά ποσοστό δεκαετίας έχει αναφερθεί. Ο λόγος για αυτό δεν είναι εξολοκλήρου σαφής, αλλά θεωρείται οφειλόμενος στην περιβαλλοντική ευαισθησία των ινών γυαλιού παρά οποιαδήποτε visco-elastic επίδραση. Βεβαίως η επίδραση έχει βρεθεί για να αλλάζει όταν αλλάζει το περιβάλλον που περιβάλλει τις ίνες γυαλιού. Τα εξεταστικά σύνθετα χωρίς τις ίνες στην κατεύθυνση δοκιμής, όπου η μήτρα ρητίνης έχει την visco-elastic συμπεριφορά, συχνά επίσης θα οδηγήσουν σε μια σημαντική επίδραση ποσοστού.

Κατά συλλογή των στοιχείων κούρασης όσον αφορά τα σύνθετα υλικά, επομένως, καλύτερη την πολιτική είναι να πραγματοποιηθούν όλες οι δοκιμές κούρασης σε ένα σταθερό ποσοστό. Κατά συνέπεια οι χαμηλές δοκιμές φορτίων εκτελούνται στις σχετικά υψηλές συχνότητες και τις υψηλές δοκιμές φορτίων στις χαμηλότερες συχνότητες.

Προκληθείσες οι άκρη πιέσεις μπορούν να είναι ένα πρόβλημα σε πολλούς τύπους δοκιμών, αλλά ιδιαίτερα έτσι στην κούραση. Μερικές δοκιμές, όπως εκείνοι που ερευνούν τα διελασματικά αποτελέσματα, μπορούν να στοχεύσουν να μεγιστοποιήσουν τα αποτελέσματα ακρών, αλλά στην κούραση εξετάζουν την πολιτική είναι συνήθως να προσπαθήσουν να ελαχιστοποιήσουν την άκρη προκληθείσα τονίζον και η ζημία που αναπτύσσεται αναπόφευκτα κατά συνέπεια. Και η κουρά και οι κανονικές πιέσεις μπορούν να αναπτυχθούν στις άκρες δελτίων, αυτοί που προκύπτουν από τον κακό συνδυασμό των ιδιοτήτων μεταξύ των στρωμάτων όπως εξηγημένος σε ένα προηγούμενο κεφάλαιο (τμήμα 9.4.2). Το μέγεθος αυτών των πιέσεων θα αλλάξει και των δύο με τη θερμοκρασία, επειδή τα στρώματα έχουν τους διαφορετικούς συντελεστές επέκτασης, και με την περιεκτικότητα σε υγρασία, όπως τα στρώματα επεκτείνονται στις διαφορετικές εκτάσεις να απορροφήσουν την εξωτερική υγρασία. Προκληθείσα η άκρη ζημία, προφανής στη στατική φόρτωση, αυξάνεται συνήθως με τους αυξανόμενους αριθμούς κύκλων κούρασης. Στις χειρότερες περιπτώσεις που τα στρώματα μπορούν να γίνουν εντελώς οδηγώντας στην πιθανή περιβαλλοντική επίθεση και βεβαίως τις σοβαρές απώλειες στη συμπίεστική δύναμη.

Οι συμπτικνωτές πιέσης όπως οι εγκοπές, οι τρύπες, οι σύνδεσμοι, η ζημία αντίκτυπου και άλλες ατέλειες έχουν τη λιγότερη επίδραση στην εκτατή δύναμη κούρασης απ' ό,τι στη στατική δύναμη. Ανάλογα με τη φυλλόμορφη διαμόρφωση, αυτές οι συγκεντρώσεις πιέσης μπορούν να μειώσουν τη στατική εκτατή δύναμη κατά μέχρι 50%. Στην κούραση, εντούτοις, οι ζώνες ζημίας αναπτύσσονται στις συγκεντρώσεις πιέσης που μπορούν να χρησιμεύσουν να μειώσουν το μέγεθός τους. Αυτές οι ζώνες αποτελούνται συνήθως από τις ρωγμές κατά μήκος των ινών μέσα στα στρώματα, και το διελασματικό ράγισμα μεταξύ των στρωμάτων που, εάν δεν βλέπουν τις ίνες, μπορούν να οδηγήσουν στην αυξανόμενη δύναμη. Η περαιτέρω ανακύκλωση οδηγεί σε κάποια απώλεια στη δύναμη, αλλά χαρακτηριστικά η δύναμη κούρασης, υπολόγισε σε καθαρή βάση πιέσης, προσεγγίσεις που αυτή της πεδιάδας το υλικό μετά από τη μακροχρόνια διάρκεια ζωής, με συνέπεια τις αρκετά επίπεδες s-n καμπύλες. Αυτό παρουσιάζεται στο σχήμα 13. 5 μέσα ποιες τέσσερις s-n καμπύλες σχεδιάζονται για δύο σύνολα σύνθετων υλικών, ένα που γίνονται από το μη υφανθέν υλικό και άλλο από το υφανθέν ύφασμα ινών άνθρακα. Οι στατικές δυνάμεις των χαραγμένων δελτίων, και που υφαίνονται και μη υφανθέντων, είναι σημαντικά χαμηλότερες από εκείνοι των σαφών δελτίων, αλλά μετά από τους μεγάλους αριθμούς κύκλων κούρασης οι δυνάμεις κούρασης τους πλησιάζουν εκείνοι των σαφών δελτίων.

Οι γενικά πολύ λιγότερες πληροφορίες είναι διαθέσιμες για τη συμπίεστική κούραση PMCs, κυρίως επειδή η συμπίεστική δοκιμή αυτών των υλικών παρουσιάζει πολλά προβλήματα, όχι ο πιο ελάχιστα όποια είναι η ανάγκη να υποστηριχθούν τα δείγματα ενάντια σφαιρική, που συνδυάζεται με τους περιορισμούς που επιβάλλονται στη γεωμετρία δειγμάτων από την ανισόρροπη φύση των υλικών.

Τελικά, ο χειρότερος όρος φόρτωσης κούρασης για τα σύνθετα υλικά είναι πλήρως αξονική κούραση, ή φόρτωση ένταση-συμπίεσης. Η φτωχότερη συμπεριφορά των σύνθετων υλικών στην αξονική φόρτωση

έναντι της εκτατής φόρτωσης είναι επειδή πολλές από τις πτυχές του φύλλου πλαστικού, χωρίς ίνες στην κατεύθυνση δοκιμής, αναπτύσσουν intraply τη ζημία και αυτό προκαλεί την τοπική απελασματοποίηση στρώματος στη σχετικά σύντομη διάρκεια ζωής. Στην εκτατή φόρτωση αυτό δεν είναι σοβαρό, δεδομένου ότι τα στρώματα που περιέχουν τις ίνες που ευθυγραμμίζονται κατά μήκος της κατεύθυνσης δοκιμής συνεχίζουν να υποστηρίζουν την πλειοψηφία του εφαρμοσμένου φορτίου. Στη συμπίεση, εντούτοις, η εκτατή προκληθείσα ζημία αυτού του τύπου μπορεί να οδηγήσει στην τοπικά αστάθεια στρώματος και το κούμπωμα στρώματος, ίσως προτού να αρχίσουν η ρητίνη και η ενδιάμεση ζημία μέσα στα στρώματα $\text{fil} > \text{re}$. Κατά συνέπεια οι ζωές κούρασης στην αξονική φόρτωση είναι συνήθως πύο σύντομες απ' ότι για τη φόρτωση μηδέν-συμπίεσης ή μηδέν-έντασης.

Μια από τις κύριες εναλλακτικές μορφές σύνθετων υλικών πολυμερών μιτρών σε χρήση είναι εκείνοι βασισμένοι στην υφασμένη ενίσχυση ινών. Αυτά τα PMCs προσφέρουν τα σημαντικά πλεονεκτήματα στο χειρισμό και την επεξεργασία πέρα από τα συμβατικά υλικά βασισμένα στο ομοιοκατευθυνόμενο prepreg. Επιπλέον, η χρήση των υφασμένων σύνθετων μπορεί να οδηγήσει στην καλύτερη συγκράτηση της ζημίας αντίκτυπου και των βελτιωμένων υπόλοιπων ιδιοτήτων μετά από τον αντίκτυπο. Εντούτοις, είναι ευρέως γνωστό ότι η φυλλόμορφες στατικές ακαμψία και η δύναμη μειώνονται μέσω της χρήσης της ενίσχυσης υφάσματος, κυρίως λόγω της αναπόφευκτης διαστρέβλωσης των ινών στην ύφανση, και επίσης επειδή τα μέρη όγκου ινών 0,60 έως 0,65 που βρίσκονται στο μη υφανθέν συνεχές υλικό ινών δεν είναι επιτεύξιμα στα υφασμένα σύνθετα, ένας αριθμός 0,50 έως 0,55 όντας πιο χαρακτηριστικές. Αυτή η επίδραση είναι επίσης *which four S-N curves are plotted for two sets of composite materials, one made from non-woven material and the other from woven carbon fibre fabric. The static strengths of the notched coupons, both woven and non-woven, are significantly lower than those of the plain coupons, but after large numbers of fatigue cycles their fatigue strengths approach those of the plain coupons.*

Μια άλλη εναλλακτική μορφή υλικού PMC σε γενική χρήση είναι το υβριδικό σύνθετο. Αυτός ο όρος είναι συνήθως διατηρημένος για τα σύνθετα που κατασκευάζονται με δύο διαφορετικές ίνες στην ίδια μήτρα ρητίνης, π.χ. ίνες γυαλιού και άνθρακα είτε χωριστά στις μεμονωμένες πτυχές είτε που αναμιγνύονται σε κάθε πτυχή. Οι κύριοι λόγοι για την υβριδοποίηση είναι βελτιωμένο ταίριασμα ανθεκτικότητα ή ακαμψία. Μερικές ίνες, όπως οι βασισμένοι στο πολυμερές σώμα τύποι, είναι ιδιαίτερα σκληρές και όταν υβριδοποιείται με τις ίνες όπως ο άνθρακας ή το γυαλί μπορεί να παραγάγει τα σκληρά φύλλα πλαστικού χωρίς μερικά από τα μειονεκτήματα που συνδέονται με τις πολυμερείς ίνες μόνο. Εναλλακτικά μερικά συστατικά, όπως οι λεπίδες στροφών ελικοπτέρων, μπορούν να απαιτήσουν την ακριβή ακαμψία που ταιριάζει με και αυτό μπορεί να επιτευχθεί ευκολότερα με τα υβριδικά σύνθετα, συνήθως με τα μίγματα ινών γυαλιού και άνθρακα.

Η στατική μηχανική απόδοση των υβριδικών σύνθετων εξουσιάζεται από τη συμπεριφορά της πιο κατώτερης φάσης πίεσης, συχνά ίνες άνθρακα. Εάν αυτό είναι παρόν μόνο στις μικρές αναλογίες έπειτα η αποτυχία αυτής της φάσης μπορεί να είναι ανεκτή με το φορτίο τους που μεταφέρεται στην υψηλότερη φάση πίεσης. Συνήθως, εντούτοις, η αποτυχία της κατώτερης φάσης πίεσης προκαλεί την αποτυχία ολόκληρου του σύνθετου. Στην κούραση, όπως έχει παρουσιαστεί προηγούμενο, οι διαφορετικές ίνες οδηγούν στην πολύ διαφορετική σύνθετη συμπεριφορά κούρασης. Δεδομένου ότι η απόδοση κούρασης είναι πρώτιστα πίεση εξαρτώμενη, στα υβριδικά σύνθετα η συμπεριφορά εξουσιάζεται ομοίως από την πιο κατώτερη φάση πίεσης. Αυτό είναι επειδή αυτή η φάση είναι συνήθως η πιο δύσκαμπτη και φέρνει υπό αυτήν τη μορφή το μεγαλύτερο μέρος του φορτίου. Η άλλη φάση υποβάλλεται συνήθως στις πιέσεις κάτω από κανονικό και παρουσιάζει μικρότερη υποβάθμιση κούρασης από όταν εξετάζεται μεμονωμένα.

Όπως και να πρέπει να αντισταθούν τα άκρα φόρτωσης, τα σύνθετα συστατικά πρέπει να επιζήσουν επίσης σε μια σειρά των διαφορετικών περιβαλλόντων της υγρασίας και της θερμοκρασίας. Οι σχετικές υγρασίες μπορούν να ποικίλουν από 0 στις θερμοκρασίες 100%,

για την περισσότερη σειρά χρήσεων από -40°C σε 70°C , αν και τα στρατιωτικά αεροσκάφη πρέπει να αντισταθούν τις θερμοκρασίες μέχρι 130°C κατά την πτήση και ακόμα μεγαλύτερος γύρω από τις μηχανές. Η επίδραση αυτών των θερμοκρασιών στις σύνθετες ιδιότητες πρέπει να μαθευτεί και, ιδανικά, να προβλεφθεί. τα περισσότερα σύνθετα πολυμερών μιτρών απορροφούν την υγρασία από τις υγρές ατμόσφαιρες. Αυτό είναι συνήθως περιορισμένο στη μήτρα ρητίνης, αλλά μερικές ίνες απορροφούν επίσης την υγρασία. Οι εποξικές ρητίνες απορροφούν μεταξύ 1 και 10% από το βάρος της υγρασίας, έτσι ένα χαρακτηριστικό σύνθετο με 60% από τον όγκο των ινών θα απορροφήσει την περίπου υγρασία 0,3 3%, αλλά τα συστήματα σε διαδεδομένη χρήση τείνουν να απορροφήσουν στη σειρά 12% από το βάρος.

Η απορρόφηση της υγρασίας είναι διάχυση ελεγχόμενη και στα λεπτά φύλλα Η απορρόφηση της υγρασίας από τα υγρά περιβάλλοντα στη θερμοκρασία δωματίου, αν και προκαλώντας τη διόγκωση, είναι

συνήθως μια αντιστρέψιμη διαδικασία και με τα περισσότερα προηγμένα σύνθετα δεν υπάρχει καμία υποβάθμιση στις ιδιότητες θερμοκρασίας δωματίου. Επειδή οι υγρές ρητίνες μαλακώνουν, εξουσιασμένες οι ρητίνη σύνθετες ιδιότητες μειώνονται στην ανυψωμένη θερμοκρασία, ιδιαίτερα ως γυαλί η θερμοκρασία μετάβασης της ρητίνης προσεγγίζεται. Η μείωση της θερμοκρασίας μετάβασης γυαλιού των εποξικών ρητινών με την περιεκτικότητα σε υγρασία είναι διευκρινισμένη microcracking . της διεπαφής ρητίνης ή ίνα-μιτρών, η δημιουργία φουσκάλων ή η απελασματοποίηση μπορεί επίσης να εμφανιστεί.

Για τα multidirectional φύλλα πλαστικού που εξετάζονται στην ένταση, η θερμοκρασία και η υγρασία έχουν λίγη επίδραση στην αποτυχία των κυρίαρχων 0 μεταφερόντων στρωμάτων °. Σε οποιαδήποτε εξουσιασμένη ρητίνη κατάσταση, όπως η εφαρμοσμένη ένταση στα φύλλα πλαστικού με ελάχιστες ή καμία ίνες 0°, ή πύο συνήθως στη συμπίεση όπου η ρητίνη απαιτείται για να υποστηρίξει τις ίνες ενάντια στο κούμπωμα, μπορούν να υπάρξουν σημαντικά αποτελέσματα λόγω της θερμοκρασίας και της υγρασίας. Παραδείγματος χάριν, ένα φύλλο πλαστικού ±45° CFRP, που εξετάζεται στην ένταση σε 130 °C και την υγρασία 1,5%, παρουσιάζει πτώση 40% στη δύναμη και σχεδόν το διπλασιασμό της πίεσης αποτυχίας, έναντι του ξηρού κράτους θερμοκρασίας δωματίου.

Εκτός από την αλλαγή και το ύδωρ θερμοκρασίας, τα σύνθετα συχνά εκθέτω σε άλλες περιβαλλοντικές επιρροές όπως το υπεριώδες φως, οι διαλύτες, οι ατμοί, τα οξέα και τα αλκάλια. Η αντίσταση της μήτρας είναι σαφώς κρίσιμη στην προστασία της διεπαφής ίνα-μιτρών και των ινών οι ίδιοι. Στο στρατηγό οι εποξικές ρητίνες είναι ανθεκτικότερες από τους πολυεστέρες ενώ η θερμοπλαστική υψηλής απόδοσης, όπως PEEK, είναι ουσιαστικά αναισθητη στην περιβαλλοντική επίθεση.

Και οι εποξικές και ρητίνες πολυεστέρας απορροφούν ευκολότερα τους οργανικούς διαλύτες από τα διαλύματα ύδατος. Ο παραδοσιακός ενισχυμένος με ίνες πολυεστέρας γυαλιού (GRP) μπορεί να παρουσιάσει καταστροφική μείωση της δύναμης τότε εκτίθεται στις όξινες λύσεις, ειδικά εάν το σύνθετο είναι κάτω από το φορτίο (ένα φαινόμενο γνωστό ως διάβρωση πίεσης). Κυρίως αυτό οφείλεται E - ίνες γυαλιού που ραγίζουν όταν επιτίθεται από το οξύ.

Το πρώτο ζήτημα που πρέπει να αντιμετωπιστεί σε αυτόν τον ειδικό τομέα της εργασίας κούρασης σύνθετων είναι πώς να εκτελέσει τη δοκιμή. Οι δοκιμές κούρασης είναι αναπόφευκτα μέσες - στις μακροπρόθεσμες δοκιμές, μερικές φορές μόνιμες ημέρες ή εβδομάδες, κατά συνέπεια η δυνατότητα των δελτίων δοκιμής που στεγνώνουν κατά τη διάρκεια της περιόδου της δοκιμής πρέπει να εξεταστεί. Δοκιμές που εκτελούνται στο μόλυβδο θερμοκρασίας δωματίου γενικά σε μικρή αλλαγή στην περιεκτικότητα σε υγρασία, δεδομένου ότι οι χρόνοι που περιλαμβάνονται για τα περισσότερα υλικά για να απορροφήσουν ή να εκροφήσουν τα σημαντικά ποσά υγρασίας είναι μακροχρόνιοι. Το πρόβλημα της ξήρανσης δελτίων είναι ιδιαίτερα οξύ, εντούτοις, όταν πραγματοποιείται η δοκιμή κούρασης στις ανυψωμένες θερμοκρασίες. Οι προφυλάξεις πρέπει έπειτα να ληφθούν για να συντηρήσουν την περιεκτικότητα σε υγρασία του δείγματος. Μια δυνατότητα είναι να εξετάσει σε μια αίθουσα στην οποία η θερμοκρασία και η υγρασία ελέγχονται. Αν και αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται, περιλαμβάνει τον ακριβό εξοπλισμό ίσως πέρα από τον προϋπολογισμό πολλών εργαστηρίων. Οι εναλλακτικές προσεγγίσεις που έχουν χρησιμοποιηθεί περιλαμβάνουν να εσωκλείσουν το δείγμα σε μια τσάντα πολυαιθυλενίου στην οποία μια αλατισμένη λύση χρησιμοποιείται για να διατηρήσει την απαραίτητη υγρασία, ή σφράγιση του δείγματος συνολικά από την ενθυλάκωση.

2. ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ

Εισαγωγή

Στην πρώτη ματιά, τα νευρικά δίκτυα και τα συγκεκριμένα συστήματα φαίνονται να είναι συνολικά διαφορετικές περιοχές με τις μόνο οριακές συνδέσεις το ένα στο άλλο. Σε αυτήν την εισαγωγή εξηγούμε εν συντομία τις ιδέες πίσω από αυτά τα πρότυπα, και θα δείξουμε ότι οι συνδυασμοί νευρικών δικτύων με τα συγκεκριμένα συστήματα, τα αποκαλούμενα συγκεκριμένα ή νευρο-συγκεκριμένα νευρωνικά συστήματα, προσφέρουν έναν μεγάλο αριθμό ενδιαφερουσών δυνατοτήτων.

Νευρωνικά δίκτυα

Τα δίκτυα Neurai, επίσης γνωστά ως διασυνδεδετά πρότυπα, είναι συστήματα που προσπαθούν να χρησιμοποιήσουν μερικές από τις γνωστές ή αναμενόμενες αρχές οργάνωσης του ανθρώπινου εγκεφάλου. Αποτελούνται από διάφορους ανεξάρτητους, απλούς επεξεργαστές - οι νευρώνες. Αυτοί οι νευρώνες επικοινωνούν ο ένας με τον άλλον μέσω των σταθμισμένων συνδέσεων - τα συναπτικά βάρη. Πρώτα, η έρευνα σε αυτήν την περιοχή οδηγήθηκε από τα νευροβιολογικά ενδιαφέροντα. Η διαμόρφωση των ενιαίων νευρώνων και οι αποκαλούμενοι "κανόνες εκμάθησης" για την τροποποίηση των συναπτικών βαρών ήταν τα αρχικά ερευνητικά θέματα.

Διάσημο perceptron του Frank Rosenblatt ήταν το πρώτο νευρικό πρότυπο για να εξετάσει τις πτυχές των πληροφοριών επεξεργασίας και αποθήκευσης. Δεδομένου ότι μια "μηχανή εκμάθησης" αυτό ήταν αρκετά μια αίσθηση το 1960 και άρχισε τη "χρυσή ηλικία" των νευρικών δικτύων. Χρησιμοποιώντας έναν κανόνα εκμάθησης και ένα σύνολο παραδειγμάτων, perceptron ήταν σε θέση να μάθει να παράγει στόχων σήματα εισαγωγής αποτελεσμάτων τα δεδομένα. Αλλά σύντομα έγινε προφανές ότι perceptron δεν ήταν ικανό να μάθει να λύνει τα σχετικά απλά προβλήματα (π.χ. για να αποφασίσουν εάν υπάρχει ένας ομαλός ή περίεργος αριθμός αυτών σε ένα σχέδιο εισαγωγής), και η νευρική έρευνα δικτύων υπέστη μια αυστηρή αρχή οπισθοδρόμησης το 1969 - η αποκαλούμενη "σκοτεινή ηλικία" των νευρικών δικτύων. Το ενδιαφέρον και η ευφορία επέστρεψαν, όταν ανακαλύφθηκαν οι νέοι ισχυροί αλγόριθμοι εκμάθησης σε 1985. Σήμερα μερικά νευρικά πρότυπα δικτύων είναι γνωστά για να είναι καθολικά προσεγγίσιμα, ικανά να προσεγγίσουν οποιαδήποτε δεδομένη συνεχή χαρτογράφηση από τις εισαγωγές στα αποτελέσματα.

Η σύγχρονη έρευνα στα νευρικά δίκτυα, αποκαλούμενα επίσης σύναψη σχέσεων, εξετάζει την ανάπτυξη των αρχιτεκτονικών και των αλγορίθμων εκμάθησης, και εξετάζει τη δυνατότητα εφαρμογής αυτών των προτύπων στους στόχους επεξεργασίας πληροφοριών. Η νευροβιολογική ευλογοφάνεια αυτών των "τεχνητών" νευρικών δικτύων είναι συνήθως μόνο μικρής ή καμίας σπουδαιότητας. Αλλά υπάρχουν πολλοί ερευνητές που αφιερώνονται στη διαμόρφωση των βιολογικών νευρικών δικτύων από τα τεχνητά νευρικά δίκτυα για να μάθουν περισσότερο για τη δομή του ανθρώπινου εγκεφάλου και τον τρόπο που λειτουργεί.

Θα περιοριστούμε στο πρόβλημα της επεξεργασίας πληροφοριών, και δεν εξετάζουμε τις βιολογικές πτυχές. Όταν μιλάμε για τα νευρικά δίκτυα, θα αναφερθούμε πάντα στα τεχνητά νευρικά δίκτυα που μιμούνται έναν υπολογιστή.

Η έρευνα για τα νευρικά δίκτυα, η αίτησή τους, και οι ανακαλύψεις από τη νευροβιολογία οδήγησε σε διάφορες τροποποιήσεις των παλαιότερων απλών νευρικών δικτύων, και σε πολλά νέα πρότυπα. Όλα αυτά τα πρότυπα είναι βασισμένα στις μάλλον απλές μονάδες επεξεργασίας ή τους νευρώνες ανταλλάσσοντας τις πληροφορίες μέσω των σταθμισμένων συνδέσεων. Χάριν μιας ομοιόμορφης σημείωσης, και για να τονίσουμε τι τα διαφορετικά πρότυπα έχουν από κοινού και τι τα διακρίνουν, θα εισαγάγουμε ένα γενικό πρότυπο. Λειτουργεί ως επίσημο πλαίσιο για τα νευρικά δίκτυα και επίσης για τα νευροσυγκεκριμένα συστήματα.

Οι διαφορετικοί τύποι νευρικών δικτύων μπορούν να λύσουν τα διαφορετικά προβλήματα, όπως την αναγνώριση σχεδίων, ολοκλήρωση σχεδίων, που καθορίζει τις ομοιότητες μεταξύ των σχεδίων ή τα στοιχεία - επίσης από την άποψη της παρεμβολής ή της παρέκτασης - και την αυτόματη ταξινόμηση.

Εκτός από στους στόχους βελτιστοποίησης, στους οποίους επίσης διάφορα νευρικά πρότυπα μπορούν να εφαρμοστούν, τα νευρικά δίκτυα λύνουν ένα πρόβλημα με τη χρησιμοποίηση μιας διαδικασίας εκμάθησης που εξαρτάται από το νευρικό πρότυπο και το δεδομένο πρόβλημα. Διακρίνουμε μεταξύ των σταθερών και ελεύθερων στόχων εκμάθησης, και των εποπτευμένων και ανεπίβλεπτων αλγορίθμων εκμάθησης. Ένας

σταθερός στόχος εκμάθησης διευκρινίζει ένα σύνολο στοιχείων, όπου για κάθε δεδομένο σχέδιο εισαγωγής το σχέδιο παραγωγής στόχων είναι γνωστό. Ένα νευρικό δίκτυο υποτίθεται για να μάθει τη χαρτογράφηση από την εισαγωγή στο διάστημα παραγωγής με τη χρησιμοποίηση ενός εποπτευμένου αλγορίθμου εκμάθησης. Εάν τα ίδια ή παρόμοια σχέδια εισαγωγής παρουσιάζονται στο δίκτυο μετά από να μάθουν, πρέπει να παραγάγει ένα κατάλληλο σχέδιο παραγωγής. Οι ελεύθεροι στόχοι εκμάθησης καθορίζουν συνήθως ένα πρόβλημα ταξινόμησης, όπου οι ομοιότητες μεταξύ των σχεδίων πρέπει να βρεθούν. Κάθε σχέδιο πρέπει να καταταχτεί σε μια κατηγορία χωρίς να ξέρει αυτήν την ανάθεση εκ των προτέρων. Απαιτείται ότι τα σχέδια που διαφέρουν μόνο ελαφρώς το ένα από το άλλο τίθενται στην ίδια κατηγορία.

Οι περισσότεροι από τους αλγορίθμους εκμάθησης αλλάζουν τα βάρη σύνδεσης χωρίς τροποποίηση της δομής του δικτύου, δηλ. ο αριθμός μονάδων και συνδέσεων. Εάν η διαδικασία εκμάθησης μπορεί να βρει έναν κατάλληλο συνδυασμό βαρών, έτσι ώστε το δεδομένο πρόβλημα λύνεται, κατόπιν αυτή η λύση αποθηκεύεται σιωπηρά στις συνδέσεις του δικτύου. Τα νευρικά δίκτυα είναι μαύρα κιβώτια για τους χρήστες τους - δεν είναι συνήθως δυνατό να εξαχθεί η ρητή γνώση από αυτά. Τα νευρικά δίκτυα είναι σε θέση να λύσουν τα δύσκολα προβλήματα, αλλά δεν μας λένε πώς.

Τα παρόμοια προβλήματα προκύπτουν εάν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε την υπάρχουσα γνώση για τη σύνδεση μεταξύ των σχεδίων εισαγωγής και παραγωγής. Δεν είναι δυνατό να ενσωματωθεί τέτοια γνώση σε ένα δίκτυο για να απλοποιήσει ή να επιταχύνει τη διαδικασία εκμάθησης - ένα νευρικό δίκτυο μαθαίνει πάντα από την αρχή.

Τα ισχυρά σημεία των νευρικών δικτύων είναι οι ικανότητες εκμάθησής τους και η διανεμημένη δομή τους που επιτρέπει τις ιδιαίτερα παράλληλες εφαρμογές λογισμικού ή υλικού. Τα αδύνατα σημεία είναι η ανικανότητα να ενσωματωθεί η γνώση ή να εξαχθεί και ο προσδιορισμός των παραμέτρων τους. Ο αριθμός νευρώνων και συνδέσεών τους, και οι παράμετροι της διαδικασίας εκμάθησης μπορούν συνήθως μόνο να επιλεγούν από την εμπειρία, ή είναι βασισμένες στις εμπειροτεχνικές μεθόδους.

Τι είναι τα τεχνητά νευρικά δίκτυα

Τα τεχνητά νευρικά δίκτυα είναι σχετικά ακατέργαστα ηλεκτρονικά πρότυπα βασισμένα στη νευρική δομή του εγκεφάλου. Ο εγκέφαλος μαθαίνει βασικά από την εμπειρία. Είναι φυσική απόδειξη ότι μερικά προβλήματα που είναι πέρα από το πεδίο των τρεχόντων υπολογιστών είναι πράγματι διαλυτά από τις μικρές ενεργειακές αποδοτικές συσκευασίες. Αυτή η διαμόρφωση εγκεφάλου υπόσχεται επίσης έναν λιγότερο τεχνικό τρόπο να αναπτυχθούν οι λύσεις μηχανών. Αυτή η νέα προσέγγιση στον υπολογισμό παρέχει επίσης μια πιο χαριτωμένη υποβάθμιση κατά τη διάρκεια της υπερφόρτωσης συστημάτων από τα παραδοσιακότερα αντίστοιχά της.

Αυτές οι βιολογικά εμπνευσμένες μέθοδοι είναι πιθανά η επόμενη σημαντική πρόοδος στην υπολογίζοντας βιομηχανία. Ακόμη και οι απλοί ζωικοί εγκέφαλοι είναι ικανοί των λειτουργιών που είναι αυτήν την περίοδο αδύνατες για τους υπολογιστές. Οι υπολογιστές κάνουν τα rote πράγματα καλά, όπως την κράτηση των καθολικών ή την εκτέλεση του σύνθετου math. Αλλά οι υπολογιστές έχουν το πρόβλημα αναγνωρίζοντας ακόμη και τα απλά σχέδια πολύ λιγότεροι που γενικεύουν εκείνα τα σχέδια του παρελθόντος στις ενέργειες του μέλλοντος.

Τώρα, οι πρόοδοι στη βιολογική έρευνα υπόσχονται μια αρχική κατανόηση του φυσικού μηχανισμού σκέψης. Αυτή η έρευνα δείχνει ότι οι εγκέφαλοι αποθηκεύουν τις πληροφορίες ως σχέδια. Μερικά από αυτά τα σχέδια είναι πολύ περίπλοκα και μας επιτρέπουν τη δυνατότητα να αναγνωρίσουν τα μεμονωμένα πρόσωπα από πολλές διαφορετικές γωνίες. Αυτή η διαδικασία τις πληροφορίες ως σχέδια, εκείνα τα σχέδια, και έπειτα τα προβλήματα καλύπτει έναν νέο τομέα στον υπολογισμό. Αυτός ο τομέας, όπως αναφέρεται πριν, δεν χρησιμοποιεί τον παραδοσιακό προγραμματισμό αλλά περιλαμβάνει τη δημιουργία των μαζικά παράλληλων δικτύων και την κατάρτιση εκείνων των δικτύων για να λυθούν τα συγκεκριμένα προβλήματα. Αυτός ο τομέας χρησιμοποιεί επίσης τις λέξεις πολύ διαφορετικές από τον παραδοσιακό υπολογισμό, οι λέξεις όπως συμπεριφέρονται, αντιδρούν, μόνος-οργανώνουν, μαθαίνουν, γενικεύουν, και ξεχνούν.

Αναλογία στον εγκέφαλο

Τα ακριβή έργα του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι ακόμα ένα μυστήριο. Ακόμα, μερικές πτυχές αυτού του καταπληκτικού επεξεργαστή είναι γνωστές. Ειδικότερα, το πιο βασικό στοιχείο του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι ένας συγκεκριμένος τύπος κυττάρου που, αντίθετα από το υπόλοιπο του σώματος, δεν εμφανίζεται να αναπαράγει. Επειδή αυτός ο τύπος κυττάρου είναι το μόνο μέρος του σώματος που δεν αντικαθίσταται αργά, υποτίθεται ότι αυτά τα κύτταρα είναι τι παρέχει σε μας τις δυνατότητές μας να θυμηθούμε, να σκεφτούμε, και να εφαρμόσουμε την προηγούμενη εμπειρία στην κάθε δράση μας. Αυτά τα κύτταρα, και 100 δισεκατομμύρια από τους, είναι γνωστά ως νευρώνες. Κάθε ένας από αυτούς τους νευρώνες μπορεί να συνδέσει με μέχρι 200.000 άλλους νευρώνες, αν και 1.000 έως 10.000 είναι χαρακτηριστικά.

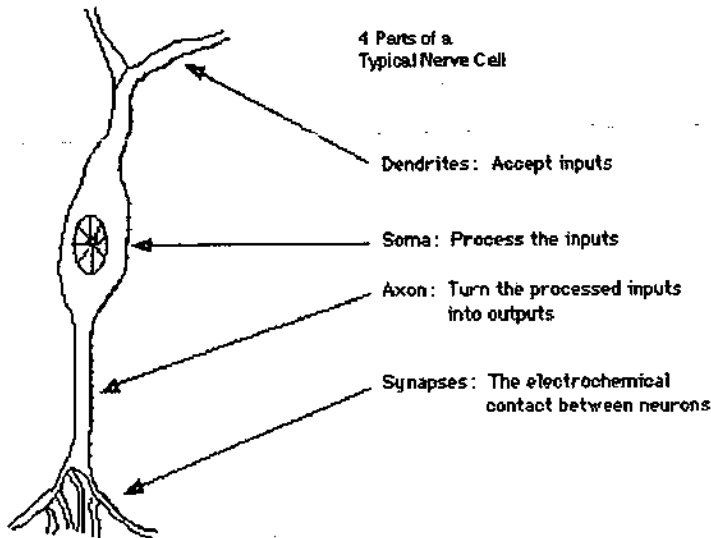
Η δύναμη του ανθρώπινου μυαλού προέρχεται από τους καθαρούς αριθμούς αυτών των βασικών συστατικών και τις πολλαπλές συνδέσεις μεταξύ τους. Προέρχεται επίσης από το γενετικό προγραμματισμό και την εκμάθηση.

Οι μεμονωμένοι νευρώνες είναι περίπλοκοι. Έχουν μια μυριάδα των μερών, των υποσυστημάτων, και των μηχανισμών ελέγχου. Μεταβιβάζουν τις πληροφορίες μέσω ενός πλήθους ηλεκτροχημικών διαβάσεων. Υπάρχουν πάνω από εκατό διαφορετικές κατηγορίες νευρώνων, ανάλογα με τη μέθοδο ταξινόμησης χρησιμοποιούμενη. Μαζί αυτοί οι νευρώνες και οι συνδέσεις τους διαμορφώνουν μια διαδικασία που δεν είναι δυαδική, μη σταθερή, και μη σύγχρονη. Εν ολίγης, δεν είναι τίποτα όπως τους διαθέσιμους σήμερα ηλεκτρονικούς υπολογιστές, ή ακόμα και τεχνητά νευρικά δίκτυα.

Αυτά τα τεχνητά νευρικά δίκτυα προσπαθούν να ξαναδιπλώσουν μόνο τα πιο βασικά στοιχεία αυτού του περίπλοκου, ευπροσάρμοστου, και ισχυρού οργανισμού. Το κάνουν με έναν πρωτόγονο τρόπο. Αλλά για το μηχανικό λογισμικό που προσπαθεί να λύσει τα προβλήματα, ο νευρικός υπολογισμός δεν ήταν ποτέ για την αντιγραφή των ανθρώπινων εγκεφάλων. Είναι για τις μηχανές και έναν νέο τρόπο να λυθούν τα προβλήματα.

Τεχνητοί νευρώνες και πώς λειτουργούν

Το θεμελιώδες στοιχείο επεξεργασίας ενός νευρικού δικτύου είναι ένας νευρώνας. Ανθρώπινης συνειδητοποίησης καλύπτει μερικές γενικές ικανότητες της μονάδα Αυτή η δομική. Βασικά, ένας βιολογικός νευρώνας λαμβάνει τις εισαγωγές από άλλες πηγές, με κάποιο τρόπο τις συνδυάζει, εκτελεί στη μη γραμμική λειτουργία αποτέλεσμα μια γενικά, και έπειτα τα αποτελέσματα το τελικό αποτέλεσμα. Τη σχέση αυτών των τεσσάρων μερών παρουσιάζει το σχήμα 2.2.1.



Σχήμα 2.2.1 ένας απλός Νευρώνας.

Μέσα στους ανθρώπους υπάρχουν πολλές παραλλαγές σε αυτόν τον βασικό τύπο νευρώνα, περαιτέρω περιπλέκοντας ανθρώπινες προσπάθειες ηλεκτρικά να ξαναδιπλώσουν τη διαδικασία. Ακόμα, όλοι οι φυσικοί νευρώνες έχουν τα ίδια τέσσερα βασικά συστατικά. Αυτά τα συστατικά είναι γνωστά από τα βιολογικά ονόματά τους - δένδριτες, σώμα, νευρίτης, και συνάψεις. Τρίχα είναι οι δένδριτες - όπως τις επεκτάσεις του σώμα που ενεργούν όπως τα κανάλια εισαγωγής. Αυτά τα κανάλια εισαγωγής λαμβάνουν την εισαγωγή τους μέσω των συνάψεων άλλων νευρώνων. Το σώμα επεξεργάζεται έπειτα αυτά τα εισερχόμενα σήματα κατά τη διάρκεια του χρόνου. Το σώμα μετατρέπει έπειτα εκείνη την επεξεργασμένη αξία σε παραγωγή που στέλνεται σε άλλους νευρώνες μέσω του νευρίτη και των συνάψεων.

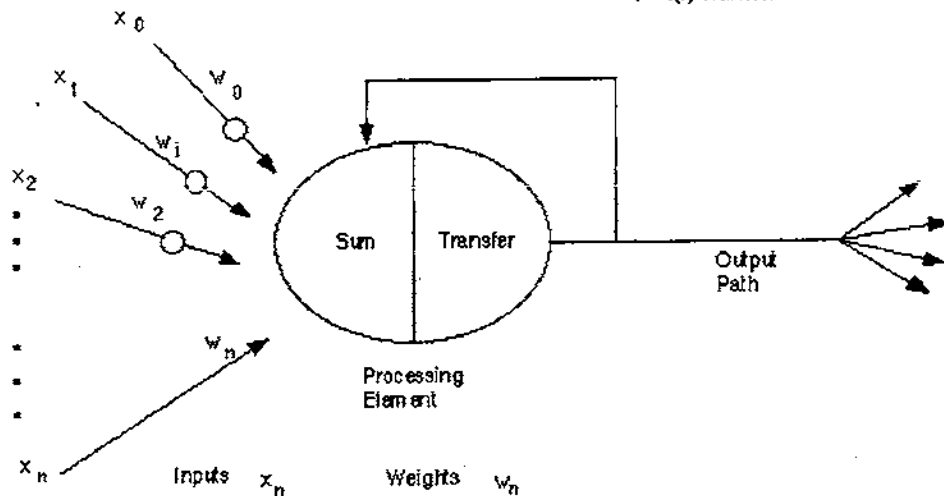
Το πρόσφατο πειραματικό στοιχείο έχει παράσχει τα περαιτέρω στοιχεία ότι οι βιολογικοί νευρώνες είναι δομικά πιο σύνθετοι από την απλοϊκή εξήγηση ανωτέρω. Είναι σημαντικά πιο σύνθετοι από τους υπάρχοντες τεχνητούς νευρώνες που χτίζονται στα σημερινά τεχνητά νευρικά δίκτυα. Δεδομένου ότι η βιολογία παρέχει μια καλύτερη κατανόηση των νευρώνων, και καθώς η τεχνολογία προωθεί, οι σχεδιαστές δικτύων μπορούν να συνεχίσουν να βελτιώνουν τα συστήματά τους με την οικοδόμηση επάνω στην ανθρώπινη κατανόηση του βιολογικού εγκεφάλου.

Αλλά αυτήν την περίοδο, ο στόχος των τεχνητών νευρικών δικτύων δεν είναι η μεγαλοπρεπής αναφυχή του εγκεφάλου. Αντίθετα, οι νευρικοί ερευνητές δικτύων επιδιώκουν μια κατανόηση των ικανοτήτων της φύσης για τις οποίες οι άνθρωποι μπορούν να κατασκευάσουν τις λύσεις στα προβλήματα που δεν έχουν λυθεί με τον παραδοσιακό υπολογισμό.

Για να κάνει αυτό, η βασική μονάδα των νευρικών δικτύων, οι τεχνητοί νευρώνες, μιμείται τις τέσσερις βασικές λειτουργίες των φυσικών νευρώνων. Το σχήμα 2.2.2 παρουσιάζει θεμελιώδη αντιπροσώπευση

$$I = \sum w_i x_i \text{ Summation}$$

$$Y = f(I) \text{ Transfer}$$



ενός τεχνητού νευρώνα.

Βασικός ένας τεχνητός νευρώνας Σχήμα 2.2.2.

Στο σχήμα 2.2.2, οι διάφορες εισαγωγές στο δίκτυο αντιπροσωπεύονται από το μαθηματικό σύμβολο, $X(v)$. Κάθε μια από αυτές τις εισαγωγές πολλαπλασιάζεται με ένα βάρος σύνδεσης. Αυτά τα βάρη αντιπροσωπεύονται από το $W(v)$. Στην απλούστερη περίπτωση, αυτά τα προϊόντα αθροίζονται απλά, ταϊσμένα μέσω μιας λειτουργίας μεταφοράς για να παραγάγουν ένα αποτέλεσμα, και έπειτα την παραγωγή.

Αυτή η διαδικασία παραχωρεί στη φυσική εφαρμογή σε μια μεγάλη μια μικρή συσκευασίας κλίμακα. Αυτή η ηλεκτρονική εφαρμογή είναι ακόμα δυνατή με άλλες δομές δικτύων που χρησιμοποιούν τις διαφορετικές λειτουργίες αθροίσματος καθώς επίσης και τις διαφορετικές λειτουργίες μεταφοράς.

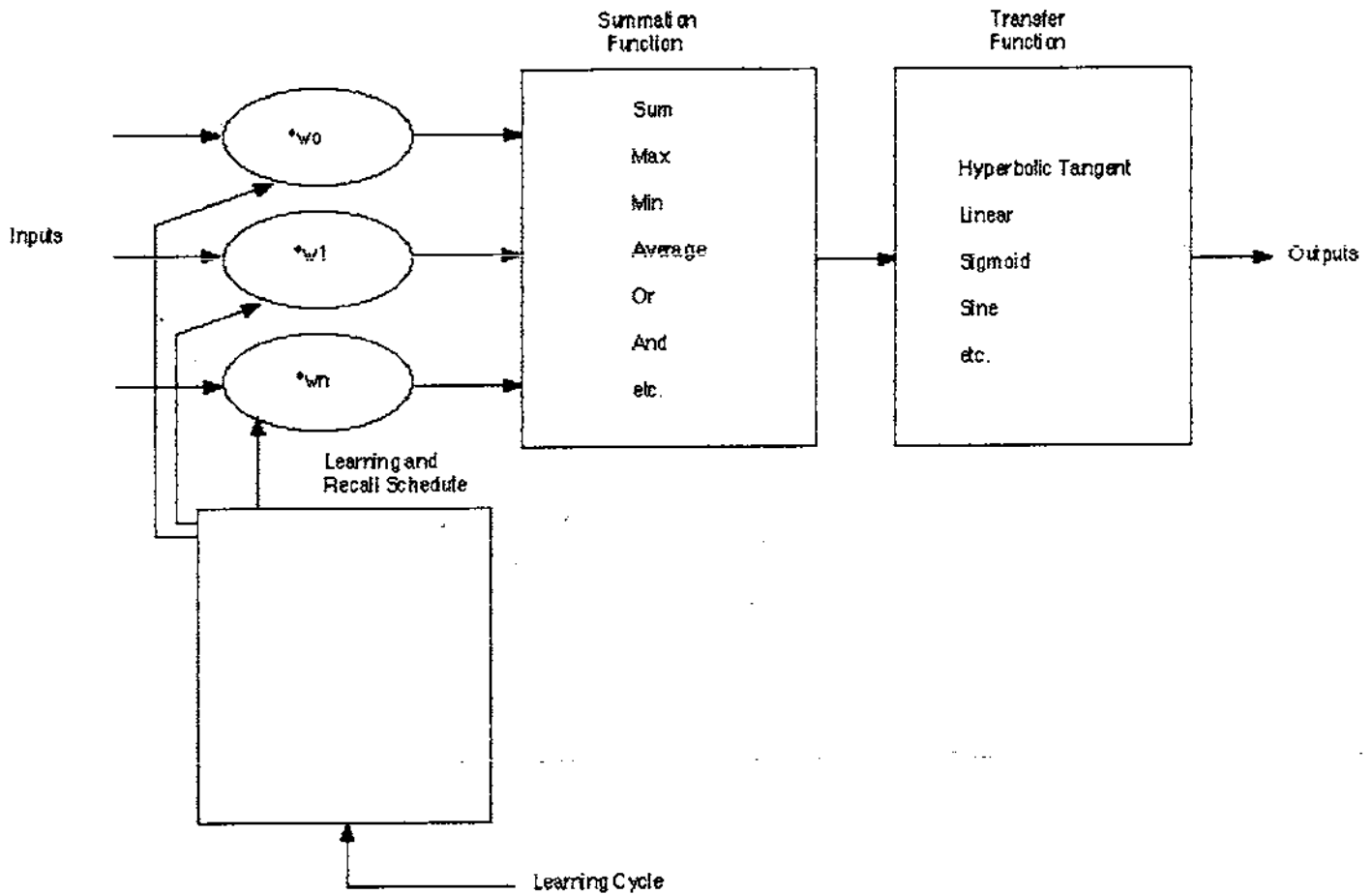
Μερικές εφαρμογές απαιτούν "μαύρες και άσπρες," ή δυαδικές, απαντήσεις. Αυτές οι εφαρμογές περιλαμβάνουν την αναγνώριση του κειμένου, τον προσδιορισμό του λόγου, και την αποκρυπτογράφηση εικόνας των σκηνών. Αυτές οι εφαρμογές απαιτούνται για να μετατρέψουν τις πραγματικές εισαγωγές σε ιδιαίτερες τιμές. Αυτές οι πιθανές τιμές περιορίζονται σε κάποιο γνωστό σύνολο, όπως τους χαρακτήρες ASCII ή τις πιο κοινές 50.000 αγγλικές λέξεις. Λόγω αυτού του περιορισμού των επιλογών παραγωγής, αυτές οι εφαρμογές όχι πάντα χρησιμοποιούν τα δίκτυα που αποτελούνται από τους νευρώνες που συνοψίζουν απλά, και με αυτόν τον τρόπο λειαινούν, εισαγωγές. Αυτά τα δίκτυα μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις δυαδικές ιδιότητες ORing και ANDing των εισαγωγών. Αυτές οι λειτουργίες, και πολλές άλλες, μπορούν να χτιστούν στις λειτουργίες αθροίσματος και μεταφοράς ενός δικτύου.

Άλλα δίκτυα λειτουργούν στα προβλήματα όπου τα ψηφίσματα είναι όχι μόνο μια από διάφορες γνωστές τιμές. Αυτά τα δίκτυα πρέπει να είναι ικανά ενός άπειρου αριθμού απαντήσεων. Οι εφαρμογές αυτού του τύπου περιλαμβάνουν τη "νοημοσύνη" πίσω από τις ρομποτικές μετακινήσεις. Αυτή η "νοημοσύνη" επεξεργάζεται τις εισαγωγές και δημιουργεί έπειτα τα αποτελέσματα που αναγκάζουν πραγματικά κάποια συσκευή για να κινηθούν. Εκείνη η μετακίνηση μπορεί να εκταθεί έναν άπειρο αριθμό πολύ ακριβών κινήσεων. Αυτά τα δίκτυα πράγματι θέλουν να λειαινούν τις εισαγωγές τους που, λόγω των περιορισμών των αισθητήρων, έρχεται στις μη συνεχόμενες εκρήξεις, για παράδειγμα τριάντα φορές το δευτερόλεπτο. Για να κάνουν το εκείνο το, να δεχτούν αυτές τις εισαγωγές, ποσό εκείνο το στοιχείο, και να παραγάγουν έπειτα μια παραγωγή με, παραδείγματος χάριν, την εφαρμογή μιας υπερβολικής εφαπτομένης ως λειτουργία μεταφοράς. Με αυτόν τον τρόπο, οι τιμές παραγωγής από το δίκτυο είναι συνεχείς και ικανοποιούν περισσότερες πραγματικές παγκόσμιες διεπαφές.

Άλλες εφαρμογές απλά να αθροίσουν και να συγκρίνουν με ένα κατώτατο όριο, με αυτόν τον τρόπο παράγοντας το ένα από δύο πιθανά αποτελέσματα, ένα μηδέν ή αυτό. Άλλη κλίμακα λειτουργιών τα αποτελέσματα για να ταιριάζει με την εφαρμογή, όπως οι τιμές μείον το ένα και μια. Μερικές λειτουργίες ενσωματώνουν ακόμη και τα δεδομένα εισόδου κατά τη διάρκεια του χρόνου, που δημιουργεί τα χρονικά εξαρτημένα δίκτυα.

Ηλεκτρονική εφαρμογή των τεχνητών νευρώνων

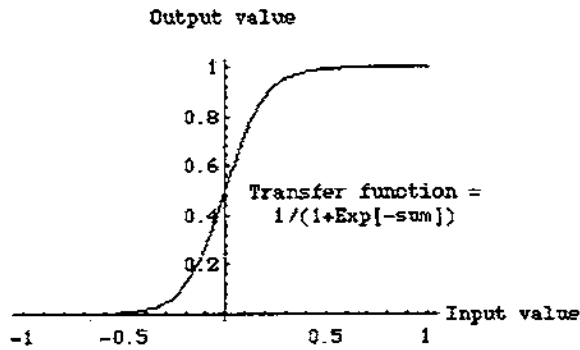
Στα διαθέσιμα σήμερα πακέτα λογισμικού αυτοί οι τεχνητοί νευρώνες καλούνται "επεξεργασμένος τα στοιχεία" και έχουν περισσότερες ικανότητες από τον απλό τεχνητό νευρώνα που περιγράφεται ανωτέρω. Το σχήμα 2.2.3 είναι μια πιο λεπτομερής σχηματική αναπαράσταση αυτού του ακόμα απλοϊκού τεχνητού νευρώνα.



Σχήμα 2.2.3 ένα πρότυπο ενός "στοιχείου επεξεργασίας".

Στο σχήμα 2.2.3, οι εισαγωγές εισάγονται στο στοιχείο επεξεργασίας από τον ανώτερο που αφήνεται. Το πρώτο βήμα είναι για κάθε μια από αυτές τις εισαγωγές που πολλαπλασιάζονται με τον αντίστοιχο παράγοντα στάθμισής τους ($w(n)$). Κατόπιν αυτές οι τροποποιημένες εισαγωγές τροφοδοτούνται τη λειτουργία αθροίσματος, η οποία συνήθως ακριβώς αθροίζει αυτά τα προϊόντα. Ακόμα, πολλοί διαφορετικοί τύποι διαδικασιών μπορούν να επιλεγούν. Αυτές οι διαδικασίες θα μπορούσαν να παράγουν διάφορες διαφορετικές τιμές που διαδίδονται έπειτα προς τα εμπρός τιμές όπως ο μέσος όρος, μεγαλύτερος, ο μικρότερος, οι τιμές ORed, οι ANDed τιμές, κ.λπ.... Επιπλέον, τα περισσότερα εμπορικά προϊόντα ανάπτυξης επιτρέπουν στους μηχανικούς λογισμικού να δημιουργήσουν τις λειτουργίες αθροίσματος τους μέσω των ρουτινών που κωδικοποιούνται σε μια γλώσσα πιο υψηλού επιπέδου (το γ υποστηρίζεται συνήθως). Μερικές φορές η λειτουργία αθροίσματος περιπλέκεται περαιτέρω από την προσθήκη μιας λειτουργίας ενεργοποίησης που επιτρέπει στη λειτουργία αθροίσματος να λειτουργήσει με έναν χρονικό ευαίσθητο τρόπο. Καθένας τρόπος, η παραγωγή της λειτουργίας αθροίσματος στέλνεται έπειτα σε μια λειτουργία μεταφοράς. Αυτή η λειτουργία μετατρέπει έπειτα αυτόν τον αριθμό σε πραγματική παραγωγή μέσω κάποιου αλγορίθμου. Είναι αυτός ο αλγόριθμος που παίρνει την εισαγωγή και μετατρέπει την σε μηδέν ή ένα ένα, το α μείον το ένα ή έναν έναν, ή κάποιο άλλο αριθμό. Οι λειτουργίες μεταφοράς που υποστηρίζονται συνήθως είναι καμπύλης c , ημίτονο, υπερβολική εφαπτομένη, κ.λπ Αυτή η λειτουργία μεταφοράς μπορεί επίσης να ξελεπιάσει ορίων κατώτατων της μέσης αξίας την ή να ελέγξει την παραγωγή. Το αποτέλεσμα είναι συνήθως η άμεση παραγωγή του στοιχείου επεξεργασίας. Ένα παράδειγμα για το πώς μια εργασία λειτουργίας σχήμα στο μεταφοράς παρουσιάζεται 2.2.4.

Αυτή η σιγμοειδής λειτουργία μεταφοράς παίρνει την αξία από τη λειτουργία αθροίσματος, που καλείται το ποσό στο σχήμα 2.2.4, και στροφές αυτό σε μια αξία μεταξύ μηδενός και μια.



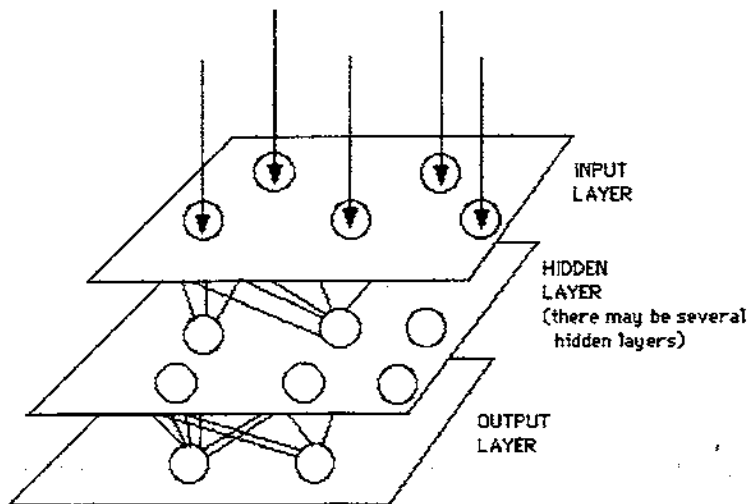
Λειτουργία μεταφοράς σχήματος 2.2.4. Τέλος, το στοιχείο επεξεργασίας είναι έτοιμο στην παραγωγή το αποτέλεσμα της λειτουργίας μεταφοράς του. Αυτή η παραγωγή εισάγεται έπειτα σε άλλα στοιχεία επεξεργασίας, ή σε μια εξωτερική σύνδεση, όπως υπαγορεύεται από τη δομή του δικτύου.

Όλα τα τεχνητά νευρικά δίκτυα κατασκευάζονται από αυτήν την βασική δομική μονάδα - το στοιχείο επεξεργασίας ή ο τεχνητός νευρώνας. Είναι ποικιλία και οι θεμελιώδεις διαφορές σε αυτές τις δομικές μονάδες που αναγκάζουν μερικώς την εφαρμογή των νευρικών δικτύων για να είναι μια "τέχνη."

Τεχνητές διαδικασίες δικτύων

Το άλλο μέρος της "τέχνης" της χρησιμοποίησης των νευρικών δικτύων περιστρέφεται περίπου τη μυριάδα των τρόπων που αυτοί οι μεμονωμένοι νευρώνες μπορούν να συγκεντρωθούν από κοινού. Αυτή η συγκέντρωση εμφανίζεται στο ανθρώπινο μυαλό κατά τέτοιο τρόπο ώστε οι πληροφορίες μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία με έναν δυναμικό, διαλογικό, και οργανωτικό τρόπο. Βιολογικά, τα νευρικά δίκτυα κατασκευάζονται σε έναν τρισδιάστατο κόσμο από τα μικροσκοπικά συστατικά. Αυτοί οι νευρώνες φαίνονται ικανοί σχεδόν των απεριόριστων διασυνδέσεων. Αυτός δεν ισχύει για προτεινόμενος καθόλου, ή υπάρχων, προκαλούμενο από τον άνθρωπο δίκτυο. Τα ολοκληρωμένα κυκλώματα, που χρησιμοποιούν την τρέχουσα τεχνολογία, είναι δισδιάστατες συσκευές με έναν περιορισμένο αριθμό στρωμάτων για τη διασύνδεση. Αυτή η φυσική πραγματικότητα σταματά τους τύπους, και το πεδίο, των τεχνητών νευρικών δικτύων που μπορούν να εφαρμοστούν στο πυρίτιο.

Αυτήν την περίοδο, τα νευρικά δίκτυα είναι η απλή συγκέντρωση των πρωτόγονων τεχνητών νευρώνων. Αυτή η συγκέντρωση εμφανίζεται με τη δημιουργία των στρωμάτων που συνδέονται έπειτα με το ένα άλλο. Πώς αυτά τα στρώματα συνδέουν είναι το άλλο μέρος της "τέχνης" των δικτύων εφαρμοσμένης μηχανικής για να επιλύσουν τα πραγματικά παγκόσμια προβλήματα.



Σχήμα 2.4.1 ένα απλό νευρικό διάγραμμα δικτύων. Βασικά, όλα τα τεχνητά νευρικά δίκτυα έχουν μια παρόμοια δομή ή μια τοπολογία όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4.1. Σε εκείνη την δομή μερικοί από τους νευρώνες διασυνδεθούν στον πραγματικό κόσμο για να λάβουν τις εισαγωγές του. Άλλοι νευρώνες παρέχουν στον πραγματικό κόσμο τα αποτελέσματα του δικτύου. Αυτή η παραγωγή να είναι ο ιδιαίτερος χαρακτήρας ότι το δίκτυο σκέφτεται ότι έχει ανιχνεύσει ή η ιδιαίτερη εικόνα αυτό σκέφτεται ότι αντιμετωπίζεται. Όλο το υπόλοιπο των νευρώνων είναι κρυμμένο από την άποψη. Αλλά ένα νευρικό δίκτυο είναι περισσότερο από μια δέσμη των νευρώνων. Μερικοί πρώτοι ερευνητές προσπάθησαν να συνδέσουν απλά τους νευρώνες κατά τρόπο τυχαίο, χωρίς πολλή επιτυχία. Τώρα, είναι γνωστό ότι ακόμη και οι εγκέφαλοι των σαλγκαριών είναι δομημένες συσκευές. Ένας από τους ευκολότερους τρόπους να σχεδιαστεί μια δομή είναι να δημιουργηθούν τα στρώματα των στοιχείων. Είναι η ομαδοποίηση αυτών των

νευρώνων στα στρώματα, των συνδέσεων μεταξύ αυτών των στρωμάτων, και των λειτουργιών αθροίσματος και μεταφοράς που περιλαμβάνουν ένα λειτουργούν νευρικό δίκτυο. Οι γενικοί όροι που χρησιμοποιούνται για να περιγράψουν αυτά τα χαρακτηριστικά είναι κοινοί για όλα τα δίκτυα.

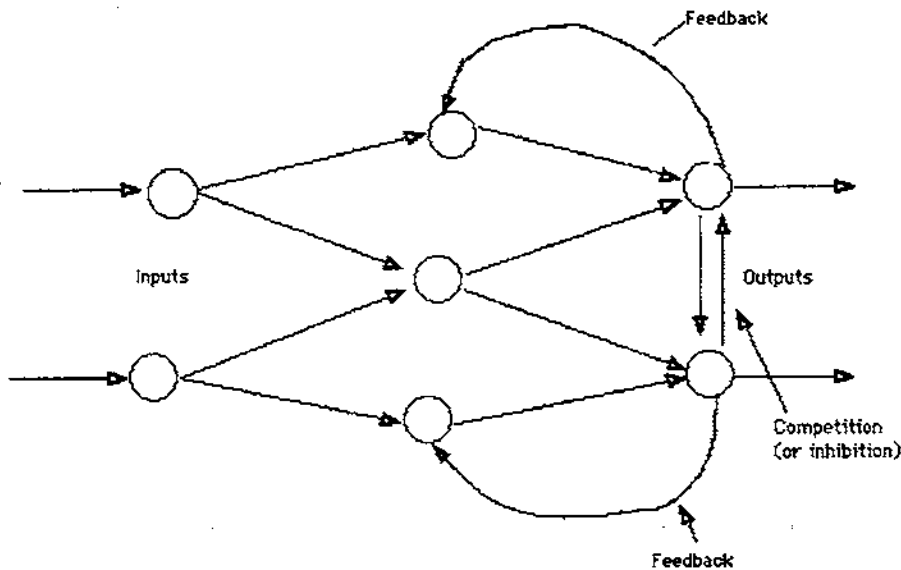
Αν και υπάρχουν χρήσιμα δίκτυα που περιλαμβάνουν μόνο ένα στρώμα, ή ακόμα και ένα στοιχείο, οι περισσότερες εφαρμογές απαιτούν τα δίκτυα που περιέχουν τουλάχιστον τους τρεις κανονικούς τύπους στρωμάτων - που εισάγονται, που κρύβονται, και παραγωγών. Το στρώμα των νευρώνων εισαγωγής λαμβάνει τα στοιχεία είτε από τα αρχεία εισαγωγής είτε άμεσα από τους ηλεκτρονικούς αισθητήρες στις σε πραγματικό χρόνο εφαρμογές. Το στρώμα παραγωγής στέλνει τις πληροφορίες άμεσα στον εξωτερικό κόσμο, σε μια δευτεροβάθμια διαδικασία υπολογιστών, ή σε άλλες συσκευές όπως ένα μηχανικό σύστημα ελέγχου. Μεταξύ αυτών των δύο στρωμάτων μπορεί να είναι πολλά κρυμμένα στρώματα. Αυτά τα εσωτερικά στρώματα περιέχουν πολλούς από τους νευρώνες στις διάφορες διασυνδεδεμένες δομές. Οι εισαγωγές και τα αποτελέσματα κάθε ένας από αυτούς τους κρυμμένους νευρώνες πηγαίνουν απλά σε άλλους νευρώνες.

Στα περισσότερα δίκτυα κάθε νευρώνας σε ένα κρυμμένο στρώμα λαμβάνει τα σήματα από όλους τους νευρώνες σε ένα στρώμα επάνω από το, χαρακτηριστικά ένα στρώμα εισαγωγής. Αφότου εκτελεί ένας νευρώνας τη λειτουργία του περνά την από, feedforward πορεία μια που παρέχει στην παραγωγή στρώμα κάτω στο τους νευρώνες παραγωγή του σε όλους.

Αυτές οι γραμμές επικοινωνίας από έναν νευρώνα σε άλλο είναι σημαντικές πτυχές των νευρικών δικτύων. Είναι η κόλλα στο σύστημα. Είναι οι συνδέσεις που παρέχουν μια μεταβλητή δύναμη σε μια εισαγωγή. Υπάρχουν δύο τύποι αυτών των συνδέσεων. Κάποιος αναγκάζει το μηχανισμό αθροίσματος του επόμενου νευρώνα για να προσθέσει ενώ οι άλλες αιτίες αυτό για να αφαιρέσει. Σε περισσότερους ανθρώπινους όρους το ένα διεγείρει ενώ άλλο εμποδίζει.

Μερικά δίκτυα θέλουν έναν νευρώνα για να εμποδίσουν τους άλλους νευρώνες στο ίδιο στρώμα. Αυτό καλείται πλευρική παρεμπόδιση. Η πιο κοινή χρήση αυτού είναι στο στρώμα παραγωγής. Παραδείγματος χάριν στην αναγνώριση κειμένων εάν η πιθανότητα ενός χαρακτήρα που είναι ένα "π" είναι 85 και η πιθανότητα του χαρακτήρα που είναι ένα "φ" είναι 65, το δίκτυο θέλει να επιλέξει την υψηλότερη πιθανότητα και να εμποδίσει όλων άλλων. Μπορεί να κάνει αυτού με την πλευρική παρεμπόδιση. Αυτή η έννοια καλείται επίσης ανταγωνισμό.

Ένας άλλος τύπος σύνδεσης είναι ανατροφοδότηση. Αυτό είναι όπου η παραγωγή των διαδρομών ενός στρώματος πίσω σε ένα προηγούμενο στρώμα. Ένα παράδειγμα αυτού παρουσιάζεται στο σχήμα 2.4.2.



Απλό δίκτυο σχήματος 2.4.2 με την ανατροφοδότηση και τον ανταγωνισμό. Ο τρόπος ότι οι νευρώνες συνδέονται ο ένας με τον άλλον έχει ένα σημαντικό impacton η λειτουργία του δικτύου. Στο μεγαλύτερο, επαγγελματικότερο softwaredevelopment

επιτρέπεται για να προσθέσει, να διαγράψει, και τα theseconnections ελέγχου. Από τις "tweaking" παραμέτρους που αυτές οι συνδέσεις μπορούν να γίνουν together διεγείρετε ή εμποδίστε.

Κατάρτιση ενός τεχνητού νευρικού δικτύου

Μόλις κτιστεί ένα δίκτυο για μια ιδιαίτερη εφαρμογή, εκείνο το δίκτυο είναι έτοιμο να εκπαιδευθεί. Για να αρχίσουν αυτήν την διαδικασία τα αρχικά βάρη επιλέγονται τυχαία. Κατόπιν, η κατάρτιση, ή η εκμάθηση, αρχίζει.

Υπάρχουν δύο προσεγγίσεις στην κατάρτιση - που εποπτεύεται και ανεπίβλεπτη. Η εποπτευόμενη

κατάρτιση περιλαμβάνει έναν μηχανισμό στο δίκτυο την επιθυμητή παραγωγή είτε με το χέρι "να βαθμολογήσει" την απόδοση του δικτύου είτε με την παροχή των επιθυμητών αποτελεσμάτων τις εισαγωγές. Η ανεπίβλεπτη κατάρτιση είναι όπου το δίκτυο πρέπει να κάνει να αισθανθεί των εισαγωγών χωρίς βοήθεια εξωτερικού.

Ο απέραντος όγκος των δικτύων χρησιμοποιεί την εποπτευόμενη κατάρτιση. Η ανεπίβλεπτη κατάρτιση χρησιμοποιείται για να εκτελέσει κάποιο αρχικό χαρακτηρισμό στις εισαγωγές. Εντούτοις, υπό την πλήρη έννοια της ύπαρξης αληθινά μόνη εκμάθηση, είναι ακόμα ακριβώς μια να λάμψει υπόσχεση που δεν γίνεται κατανοητή πλήρως, δεν εργάζεται εντελώς, και έτσι στέλνεται στο εργαστήριο

Εποπτευόμενη κατάρτιση.

Στην εποπτευόμενη κατάρτιση, και οι εισαγωγές και τα αποτελέσματα παρέχονται. Το δίκτυο επεξεργάζεται έπειτα τις εισαγωγές και συγκρίνει τα προκύπτοντα αποτελέσματά του ενάντια στα επιθυμητά αποτελέσματα. Τα λάθη διαδίδονται έπειτα πίσω μέσω του συστήματος, αναγκάζοντας το σύστημα για να ρυθμίσουν τα βάρη που ελέγχουν το δίκτυο. Αυτή η διαδικασία εμφανίζεται επανειλημμένως όπως τα βάρη είναι συνεχώς. Το σύνολο στοιχείου που επιτρέπει την κατάρτιση καλείται "σύνολο κατάρτισης." Κατά τη διάρκεια της κατάρτισης ενός δικτύου το ίδιο σύνολο στοιχείων υποβάλλεται σε επεξεργασία πολλοί χρόνοι όπως τα βάρη σύνδεσης καθαρίζονται πάντα.

Οι τρέχουσες εμπορικές συσκευασίες ανάπτυξης δικτύων παρέχουν ότι εργαλεία που ελέγχουν πόσο καλά ένα τεχνητό νευρικό δίκτυο συγκλίνει στη δυνατότητα να προβλεφθεί η σωστή απάντηση. Αυτά τα εργαλεία επιτρέπουν στη διαδικασία κατάρτισης για να συνεχιστούν για τις ημέρες, που σταματούν μόνο όταν φθάνει το σύστημα σε κάποιο στατιστικά επιθυμητό σημείο, ή την ακρίβεια. Εντούτοις, μερικά δίκτυα δεν μαθαίνουν ποτέ. Αυτό θα μπορούσε να είναι επειδή το δεδομένο εισόδου δεν περιέχει τις συγκεκριμένες πληροφορίες από τις οποίες η επιθυμητή παραγωγή προέρχεται. Τα δίκτυα επίσης δεν συγκλίνουν εάν δεν υπάρχει αρκετό στοιχείο για να επιτρέψει την πλήρη εκμάθηση. Ιδανικά, πρέπει να υπάρχουν αρκετά στοιχεία έτσι ώστε μέρος των στοιχείων μπορεί να συγκροτηθεί ως δοκιμή. Πολλά βαλμένα σε στρώσεις δίκτυα με τους πολλαπλάσιους κόμβους είναι σε θέση τα στοιχεία. Για να ελέγξει το δίκτυο για να καθορίσει εάν το σύστημα απομνημονεύει απλά τα στοιχεία του με κάποιο ασήμαντο τρόπο, επόπτευσε τις ανάγκες της εκπαίδευσης να συγκροτηθεί ένα σύνολο στοιχείων που χρησιμοποιούνται για να εξετάσει το σύστημα αφότου έχει υποβληθεί στην κατάρτισή του. (Σημείωση: η αποστήθιση αποφεύγεται από την κατοχή πάρα πολλών στοιχείων επεξεργασίας.)

Εάν ένα δίκτυο δεν μπορεί απλά να λύσει το πρόβλημα, ο σχεδιαστής πρέπει έπειτα να αναθεωρήσει την εισαγωγή και τα αποτελέσματα, τον αριθμό στρωμάτων, τον αριθμό στοιχείων ανά στρώμα, τις συνδέσεις μεταξύ των στρωμάτων, το άθροισμα, τη μεταφορά, και τις λειτουργίες κατάρτισης, και ακόμη και τα αρχικά βάρη οι ίδιοι. Εκείνες οι αλλαγές που απαιτούνται για να δημιουργήσουν ένα επιτυχές δίκτυο αποτελούν μια διαδικασία όπου η "τέχνη" της νευρικής δικτύωσης εμφανίζεται.

Ένα άλλο μέρος της δημιουργικότητας του σχεδιαστή ρυθμίζει τους κανόνες. Υπάρχουν πολλοί νόμοι (αλγόριθμοι) που χρησιμοποιούνται για να εφαρμόσουν την προσαρμοστική ανατροφοδότηση που απαιτείται για να ρυθμίσει τα βάρη κατά τη διάρκεια της κατάρτισης. Η πιο κοινή τεχνική είναι διάδοση προς τα πίσω-λάθους, συχνότερα γνωστή ως back-propagation. Αυτές οι διάφορες τεχνικές εκμάθησης εξερευνούνται σε μεγαλύτερο βάθος αργότερα σε αυτήν την έκθεση.

Ακόμα, η κατάρτιση είναι όχι μόνο μια τεχνική. Περιλαμβάνει μια "αίσθηση," και η συνειδητή ανάλυση, για να ασφαλίσει ότι το δίκτυο δεν είναι. Αρχικά, ένα τεχνητό νευρικό δίκτυο διαμορφώνεται με τις γενικές στατιστικές τάσεις των στοιχείων. Αργότερα, συνεχίζει "να μαθαίνει" για άλλες πτυχές των στοιχείων που μπορούν να είναι πλαστά από μια γενική άποψη.

Όταν τελικά το σύστημα εκπαιδευθεί σωστά, και καμιά περαιτέρω εκμάθηση δεν απαιτείται, τα βάρη μπορούν, εάν επιδιώκονται, "να παγώσουν." Σε μερικά συστήματα αυτό το οριστικοποιημένο δίκτυο μετατρέπεται έπειτα σε υλικό έτσι ώστε μπορεί να είναι γρήγορο. Άλλα συστήματα δεν κλειδώνονται αλλά συνεχίζουν να μαθαίνουν ενώ σε χρήση παραγωγής.

Ανεπίβλεπτη, ή προσαρμοστική κατάρτιση.

Ο άλλος τύπος κατάρτισης καλείται ανεπίβλεπτη κατάρτιση. Στην ανεπίβλεπτη κατάρτιση, στο δίκτυο παρέχονται τις εισαγωγές αλλά όχι τα επιθυμητά αποτελέσματα. Το ίδιο το σύστημα πρέπει έπειτα να αποφασίσει ποια χαρακτηριστικά γνωρίσματα θα χρησιμοποιήσει για να ομαδοποιήσει τα δεδομένα εισόδου. Αυτό αναφέρεται συχνά ως μόνος-οργάνωση ή προσαρμογή.

Αυτή την περίοδο, η ανεπίβλεπτη εκμάθηση δεν γίνεται κατανοητή καλά. Αυτή η προσαρμογή στο περιβάλλον είναι η υπόσχεση που θα επέτρεπε στους τύπους επιστημονικής φαντασίας ρομπότ για να μάθει συνεχώς από μόνο τους δεδομένου ότι αντιμετωπίζουν τις νέες καταστάσεις και τα νέα περιβάλλοντα. Τη ζωή γεμίζουν με τις καταστάσεις όπου τα ακριβή σύνολα κατάρτισης δεν υπάρχουν. Μερικές από αυτές τις καταστάσεις περιλαμβάνουν τη στρατιωτική δράση όπου οι νέες τεχνικές αγώνα και τα νέα όπλα να αντιμετωπιστούν. Λόγω αυτής της απροσδόκητης πτυχής στη ζωή και την ανθρώπινη επιθυμία που

προετοιμάζεται, συνεχίζει να είναι έρευνα, και ελπίδα για, σε αυτόν τον τομέα. Ακόμα, αυτή την περίοδο, ο απέραντος όγκος της νευρικής εργασίας δικτύων είναι στα συστήματα με την εποπτευόμενη εκμάθηση. Η εποπτευόμενη εκμάθηση επιτυγχάνει τα αποτελέσματα.

Ένας από τους κορυφαίους ερευνητές στην ανεπίβλεπτη εκμάθηση είναι Tuevo Kohonen, ένας ηλεκτρολόγος μηχανικός στο πανεπιστήμιο του Ελσίνκι της τεχνολογίας. Έχει αναπτύξει ένα self-organizing δίκτυο, αποκαλούμενο μερικές φορές αυτόματος-associator, το οποίο μαθαίνει χωρίς το όφελος τη σωστή απάντηση. Είναι ένα ασυνήθιστο δίκτυο κοιτάγματος δεδομένου ότι περιέχει ένα ενιαίο στρώμα με πολλές συνδέσεις. Τα βάρη για εκείνες τις συνδέσεις πρέπει να μονογραφηθούν και οι εισαγωγές πρέπει να ομαλοποιηθούν. Οι νευρώνες ιδρύονται για να ανταγωνιστούν σε μια winner-take-all μόδα.

Το Kohonen συνεχίζει την έρευνά του στα δίκτυα που είναι δομημένα διαφορετικά από τυποποιημένα, feedforward, back-propagation προσεγγίσεις. Η εργασία του Kohonen εξετάζει την ομαδοποίηση των νευρώνων στους τομείς. Οι νευρώνες μέσα σε έναν τομέα "topologically διατάσσονται." Η τοπολογία είναι ένας κλάδος των μαθηματικών που μελετά πώς να χαρτογραφήσει από ένα διάστημα σε άλλο χωρίς αλλαγή της γεωμετρικής διαμόρφωσης. Οι τρισδιάστατοι σχηματισμοί ομάδας που βρίσκονται συχνά στους μαστοφόρους εγκεφάλους είναι ένα παράδειγμα της τυπολογικής διαταγής.

Το Kohonen έχει επισημάνει ότι η έλλειψη τοπολογίας στα νευρικά πρότυπα δικτύων κάνει τα σημερινά νευρικά δίκτυα ακριβώς τις απλές αφαιρέσεις των πραγματικών νευρικών δικτύων μέσα στον εγκέφαλο. Δεδομένου ότι αυτή η έρευνα συνεχίζεται, τα ισχυρότερα μόνα δίκτυα εκμάθησης μπορούν να είναι δυνατό. Αλλά αυτήν την περίοδο, αυτός ο τομέας παραμένει ένας που είναι ακόμα στο εργαστήριο.

Πώς τα νευρικά δίκτυα διαφέρουν από τον παραδοσιακό υπολογισμό και τα έμπειρα συστήματα
Τα νευρικά δίκτυα προσφέρουν έναν διαφορετικό τρόπο να αναλυθούν τα στοιχεία, και να αναγνωριστούν τα σχέδια μέσα σε εκείνο το στοιχείο, από τις παραδοσιακές μεθόδους υπολογισμού. Εντούτοις, δεν είναι μια λύση για όλα τα προβλήματα υπολογισμού. Οι παραδοσιακές μέθοδοι υπολογισμού λειτουργούν καλά για τα προβλήματα που μπορούν να χαρακτηριστούν καλά. Τα ισορροπώντας καρνέ επιταγών, κρατώντας τα καθολικά, και κρατώντας τις ετικέτες του καταλόγου καθορίζονται καλά και δεν απαιτούν τα ειδικά χαρακτηριστικά των νευρικών δικτύων. Ο πίνακας 2.6.1 προσδιορίζει τις βασικές διαφορές μεταξύ των δύο προσεγγίσεων υπολογισμού.

Οι παραδοσιακοί υπολογιστές είναι ιδανικοί για πολλές εφαρμογές. Μπορούν να επεξεργαστούν τα στοιχεία, κατάλογοι διαδρομής, αποτελέσματα δικτύων, και να προστατεύσουν τον εξοπλισμό. Αυτές οι εφαρμογές δεν χρειάζονται τα ειδικά χαρακτηριστικά των νευρικών δικτύων.

Τα έμπειρα συστήματα είναι μια επέκταση του παραδοσιακού υπολογισμού και καλούνται μερικές φορές πέμπτη γενεά του υπολογισμού. (Πρώτη γενεά που υπολογίζει τους χρησιμοποιημένους διακόπτες και τα καλώδια. Η δεύτερη γενεά εμφανίστηκε λόγω της ανάπτυξης της κρυσταλλολογίας. Η τρίτη γενεά περιέλαβε τη στερεάς κατάστασης τεχνολογία, η χρήση των ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, και των γλωσσών πιο υψηλού επιπέδου όπως COBOL, το FORTRAN, και "το γ". Τα εργαλεία τελικών χρηστών, "γεννήτριες κώδικα," είναι γνωστά ως τέταρτη γενεά.) Η πέμπτη γενεά περιλαμβάνει την τεχνητή νοημοσύνη.

ΙΚΑ	Σ	ΥΠΟΛΟ	ΝΕ
		μένων των έμπειρων συ	
επέ		(αφημένος εννοιών	τός
ε		κανόνες	(α (So αι αγ
	ονίες		νων

Σύγκριση πινάκων 2.6.1 του υπολογισμού των προσεγγίσεων.

Χαρακτηριστικά, ένα έμπειρο σύστημα αποτελείται από δύο μέρη, μια μηχανή συμπεράσματος και γνώση που η μηχανή συμπεράσματος είναι γενική βάση. Η μηχανή συμπεράσματος είναι γενική. Χειρίζεται το

ενδιάμεσο με τον χρήστη, τα εξωτερικά αρχεία, την πρόσβαση προγράμματος, και το σχεδιασμό. Η βάση γνώσεων περιέχει τις πληροφορίες που είναι συγκεκριμένες για ένα ιδιαίτερο πρόβλημα. Αυτή η βάση γνώσεων επιτρέπει σε έναν εμπειρογνώμονα για να καθορίσει τους κανόνες που κυβερνούν μια διαδικασία. Αυτός ο εμπειρογνώμονας δεν είναι απαραίτητο να καταλάβει τον παραδοσιακό προγραμματισμό. Εκείνο το πρόσωπο πρέπει απλά να καταλάβει τα και τα δύο τι θέλει έναν υπολογιστή για να κάνει και πώς ο μηχανισμός του κογχυλιού εμπειρών συστημάτων λειτουργεί. Είναι αυτό το κογγύλι, μέρος της μηχανής συμπεράσματος, η οποία λέει πραγματικά τον υπολογιστή πώς να εφαρμόσει τις επιθυμίες των εμπειρογνομόνων. Αυτή η εφαρμογή εμφανίζεται από το έμπειρο σύστημα που παράγει του υπολογιστή προγραμματισμένο, κάνει αυτού μέσω "του προγραμματισμού" της δικοί. Αυτός ο προγραμματισμός απαιτείται για να θεσπίσει τους κανόνες για μια ιδιαίτερη εφαρμογή. Αυτή η μέθοδος τους κανόνες είναι επίσης σύνθετη και απαιτεί ένα προσανατολισμένο προς τη λεπτομέρεια πρόσωπο.

Προσπάθειες να κατασταθούν τα έμπειρα συστήματα γενικά να έχουν τρέξει σε διάφορα προβλήματα. Δεδομένου ότι η πολυπλοκότητα του συστήματος αυξάνεται, το σύστημα απαιτεί απλά τους πόρους πάρα πολύ υπολογισμού και γίνεται πάρα πολύ αργό. Τα έμπειρα συστήματα έχουν βρεθεί για να είναι εφικτά μόνο όταν περιορίζονται λεπτομερώς.

Τα τεχνητά νευρικά δίκτυα προσφέρουν μια απολύτως διαφορετική προσέγγιση στην επίλυση προβλήματος και καλούνται μερικές φορές έκτη γενεά του υπολογισμού. Προσπαθούν να παρέχουν ένα εργαλείο που τα ίδια και τα δύο προγράμματα και μαθαίνουν από μόνα του. Τα νευρικά δίκτυα είναι δομημένα για να παρέχουν την ικανότητα να λυθούν τα προβλήματα χωρίς τα οφέλη ενός εμπειρογνώμονα και χωρίς την ανάγκη. Μπορούν να επιδιώξουν τα σχέδια στα στοιχεία που κανένας ξέρει είναι εκεί.

Μια σύγκριση των νευρικών δικτύων της τεχνητής νοημοσύνης των εμπειρών συστημάτων και περιλαμβάνεται στον πίνακα 2.6.2.

	mann	Α	
	ς για τα έμπειρα σ		
	εξεργαστές)		τεχ
εργασ			τη
εργασ	σε	δι	
	μματος		
	ποιημένες	αλγόριθμος	
ων	τές		ρώνες
ο	κανόνα που	ατισμός	
		πρέπει	
		λα	
ναι γ	λους επεξεργαστέ		πολ
			επί παραγγ

Συγκρίσεις πινάκων 2.6.2 των έμπειρων συστημάτων και των νευρικών δικτύων.

Τα έμπειρα συστήματα έχουν απολαύσει τις σημαντικές επιτυχίες. Εντούτοις, η τεχνητή νοημοσύνη έχει αντιμετωπίσει τα προβλήματα στις περιοχές όπως το όραμα, η συνεχής λεκτική αναγνώριση και η σύνθεση, και η εκμάθηση μηχανών. Η τεχνητή νοημοσύνη είναι επίσης όμηρος στην ταχύτητα του επεξεργαστή που τρέχει επάνω. Τελικά, είναι περιορισμένο στο θεωρητικό όριο ενός ενιαίου επεξεργαστή. Η τεχνητή νοημοσύνη φορτώνεται επίσης από το γεγονός ότι οι εμπειρογνώμονες όχι πάντα μιλούν στους κανόνες.

Ακόμα, παρά τα πλεονεκτήματα των νευρικών δικτύων και πέρα από τα έμπειρα συστήματα και πέρα από τον παραδοσιακότερο υπολογισμό σε αυτές τις συγκεκριμένες περιοχές, τα νευρικά δίκτυα δεν είναι πλήρεις λύσεις. Προσφέρουν μια ικανότητα που δεν είναι ironclad, όπως ένα διορθωμένο σύστημα λογιστικής. Μαθαίνουν, και υπό αυτήν τη μορφή, συνεχίζουν να κάνουν "τα λάθη." Επιπλέον, ακόμα και όταν έχει αναπτυχθεί ένα δίκτυο, δεν υπάρχει κανένας τρόπος να εξασφαλιστεί ότι το δίκτυο είναι το βέλτιστο δίκτυο.

Τα νευρικά συστήματα εξαναγκάζουν τις απαιτήσεις τους. Απαιτούν τον εφαρμοστή τους για να ικανοποιήσουν διάφορους όρους. Αυτοί οι όροι περιλαμβάνουν:

ένα σύνολο στοιχείων που περιλαμβάνει τις πληροφορίες που μπορούν να χαρακτηρίσουν το πρόβλημα.

ένα επαρκώς μεγέθους στοιχείο θέτει για και να εκπαιδεύσει και να εξετάσει το δίκτυο.

μια κατανόηση της βασικής φύσης του προβλήματος που λύνεται έτσι ώστε η βασική απόφαση πρώτος-περικοπών σχετικά με τη δημιουργία του δικτύου μπορεί να ληφθεί. Αυτές οι αποφάσεις περιλαμβάνουν το activation και μεταφέρουν τις λειτουργίες, και τις μεθόδους εκμάθησης.

μια κατανόηση των εργαλείων ανάπτυξης.

επαρκής δύναμη επεξεργασίας (μερικές εφαρμογές απαιτούν τη σε πραγματικό χρόνο επεξεργασία που υπερβαίνει αυτό που είναι διαθέσιμο στο τυποποιημένο, διαδοχικό υλικό επεξεργασίας. Η ανάπτυξη του υλικού είναι το κλειδί στο μέλλον των νευρικών δικτύων).

Μόλις ικανοποιηθούν αυτοί οι όροι, τα νευρικά δίκτυα προσφέρουν την ευκαιρία τα προβλήματα σε έναν χώρο όπου οι παραδοσιακοί επεξεργαστές στερούνται και τη δύναμη επεξεργασίας και μια βαθμιαία μεθοδολογία. Διάφορα πολύ περίπλοκα προβλήματα δεν μπορούν να λυθούν στα παραδοσιακά υπολογιστικά περιβάλλοντα. Παραδείγματος χάριν, η ομιλία είναι κάτι που όλοι οι άνθρωποι μπορούν εύκολα να αναλύσουν και να καταλάβουν. Ένα πρόσωπο μπορεί να καταλάβει μια νότια προφορά, μια έμφαση Bronx, και οι λέξεις ενός μωρού. Χωρίς τη δύναμη μαζικά παραλληλισμένης επεξεργασίας ενός νευρικού δικτύου, αυτή η διαδικασία είναι ουσιαστικά αδύνατη για έναν υπολογιστή. Η αναγνώριση εικόνας είναι ένας άλλος στόχος που ένας άνθρωπος μπορεί εύκολα να κάνει αλλά που stymies ακόμα και ο μεγαλύτερος των υπολογιστών. Ένα πρόσωπο μπορεί να αναγνωρίσει ένα αεροπλάνο καθώς γυρίζει, πετά από πάνω, και εξαφανίζεται σε ένα σημείο. Ένας παραδοσιακός υπολογιστής να προσπαθήσει να συγκρίνει τις μεταβαλλόμενες εικόνες με διάφορα πολύ διαφορετικά αποθηκευμένα σχέδια.

Αυτός ο νέος τρόπος απαιτεί τις δεξιότητες πέρα από τον παραδοσιακό υπολογισμό. Είναι μια φυσική εξέλιξη. Αρχικά, ο υπολογισμός ήταν μόνο υλικό και οι μηχανικοί το έκαναν την εργασία. Κατόπιν, υπήρξαν ειδικοί λογισμικού - προγραμματιστές, μηχανικοί συστημάτων, ειδικοί βάσεων δεδομένων, και σχεδιαστές. Τώρα, υπάρχουν επίσης νευρικοί αρχιτέκτονες. Αυτό νέος επαγγελματικός πρέπει να είναι ειδικευμένο διαφορετικό από τους προκατόχους του του παρελθόντος. Παραδείγματος χάριν, θα πρέπει να ξέρει τις στατιστικές προκειμένου να επιλεγούν και να αξιολογηθούν οι εκπαιδευτικές και εξεταστικές καταστάσεις. Αυτή η ικανότητα της παραγωγής της νευρικής εργασίας δικτύων είναι μια που θα τονίσει τη λογική σκέψη τους τρέχοντες μηχανικούς λογισμικού.

Εν περιλήψει, τα νευρικά δίκτυα προσφέρουν έναν μοναδικό τρόπο να λυθούν μερικά προβλήματα προβάλλοντας τις απαιτήσεις τους. Η μεγαλύτερη απαίτηση είναι ότι η διαδικασία δεν είναι απλά λογική. Περιλαμβάνει μια εμπειρική ικανότητα, μια διαισθητική αίσθηση ως προς τον τρόπο με τον οποίο ένα δίκτυο να δημιουργηθεί.

Εφαρμογές για τα νευρικά δίκτυα

Τα νευρικά δίκτυα ισχύουν σε ουσιαστικά κάθε κατάσταση στην οποία μια σχέση μεταξύ των μεταβλητών προαγγέλων (ανεξάρτητοι, εισαγωγές) και προβλεφθείς μεταβλητές (υποτελείς, αποτελέσματα) υπάρχει, ακόμα και όταν εκείνη η σχέση είναι πολύ σύνθετη και μη εύκολο να αρθρωθεί στους συνηθισμένους όρους "των συσχετισμών" ή "τις διαφορές μεταξύ των ομάδων." Μερικά αντιπροσωπευτικά παραδείγματα των προβλημάτων στα οποία η νευρική ανάλυση δικτύων έχει εφαρμοστεί επιτυχώς είναι:

Ανίχνευση των ιατρικών φαινομένων. Ποικίλοι σχετικοί με την υγεία δείκτες (π.χ., ένας συνδυασμός ποσοστού καρδιών, επίπεδα διάφορων ουσιών στο αίμα, ποσοστό αναπνοής) μπορούν να ελεγχθούν. Η αρχή μιας ιδιαίτερης φυσικής κατάστασης θα μπορούσε να συνδεθεί με έναν πολύ σύνθετο (π.χ., μη γραμμικός και διαλογικός) συνδυασμό αλλαγών σε ένα υποσύνολο του ελέγχου των μεταβλητών. Τα νευρικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί για να αναγνωρίσουν αυτό το προφητικό σχέδιο έτσι ώστε η

κατάλληλη επεξεργασία μπορεί να οριστεί.

Πρόβλεψη χρηματιστηρίου. Οι διακυμάνσεις των τιμών αποθεμάτων και των δεικτών αποθεμάτων είναι ένα άλλο παράδειγμα ενός σύνθετου, πολυδιάστατου, αλλά σε κάποιο μερικώς-αιτιοκρατικό φαινόμενο περιστάσεων τουλάχιστον. Τα νευρικά δίκτυα χρησιμοποιούνται από πολλούς τεχνικούς αναλυτές για να κάνουν τις προβλέψεις για τις τιμές αποθεμάτων που βασίζονται σε έναν μεγάλο αριθμό παραγόντων όπως η προηγούμενη απόδοση άλλων αποθεμάτων και διάφορων οικονομικών δεικτών.

Πιστωτική ανάθεση. Ποικίλα κομμάτια των πληροφοριών είναι συνήθως γνωστά για έναν υποψήφιο για ένα δάνειο. Παραδείγματος χάριν, η ηλικία του υποψηφίου, η εκπαίδευση, το επάγγελμα, και πολλά άλλα γεγονότα μπορούν να είναι διαθέσιμες. Μετά από να εκπαιδεύσει ένα νευρικό δίκτυο στα ιστορικά στοιχεία, η νευρική ανάλυση δικτύων μπορεί να προσδιορίσει τα πιο σχετικά χαρακτηριστικά και να χρησιμοποιήσει εκείνους για να ταξινομήσει τους υποψηφίους ως καλούς ή κακούς πιστωτικούς κινδύνους.

Έλεγχος του όρου των μηχανημάτων. Τα νευρικά δίκτυα μπορούν να συμβάλουν στην κοπή των δαπανών με να φέρουν την πρόσθετη πείρα στο σχεδιασμό της προληπτικής συντήρησης των μηχανών. Ένα νευρικό δίκτυο μπορεί να εκπαιδευθεί για να διακρίνει μεταξύ των ήχων που μια μηχανή κάνει όταν τρέχει κανονικά ("ψεύτικοι συναγερμοί") εναντίον όταν είναι στα πρόθυρα ενός προβλήματος. Μετά από αυτήν την περίοδο κατάρτισης, η πείρα του δικτύου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προειδοποιήσει έναν τεχνικό για μια επερχόμενη διακοπή, προτού να εμφανιστεί και να προκαλέσει το δαπανηρό απρόβλεπτο "χρόνο διακοπής."

Διαχείριση μηχανών. Τα νευρικά δίκτυα έχουν χρησιμοποιηθεί για να αναλύσουν την εισαγωγή των αισθητήρων από μια μηχανή. Το νευρικό δίκτυο ελέγχει τις διάφορες παραμέτρους μέσα στις οποίες η μηχανή λειτουργεί, προκειμένου να επιτευχθεί ένας ιδιαίτερος στόχος, όπως η ελαχιστοποίηση της κατανάλωσης καυσίμων.

Νέες τεχνολογίες

Εάν ο 21ος αιώνας πρόκειται να είσαι η ηλικία των ευφυών μηχανών, κατόπιν τα τεχνητά νευρικά δίκτυα θα γίνουν ένα αναπόσπαστο τμήμα της ζωής.

Για οι μηχανικοί λογισμικού μπορούν να μας οδηγήσουν σε αυτήν την "υποσχόμενη ζωή" πρέπει να αρχίσουν με τη χρησιμοποίηση της νέας τεχνολογίας των νευρικών δικτύων. Για να κάνει ότι πρέπει να βελτιστοποιήσουν το χρόνο τους με τη χρησιμοποίηση του ήδη εφαρμοσμένου υλικού και των εμπορικών πακέτων λογισμικού προσδοκώντας αυτό που είναι ακόμα να έρθει. Για να ολοκληρώσει αυτήν την κατανόηση, αυτό το τμήμα είναι σπασμένο σε δύο κομμάτια - τι υπάρχει αυτήν την περίοδο και τα ποια εφαρμοστές σκέφτονται ότι οι επόμενες εξελίξεις θα είναι

Τι υπάρχει αυτήν την περίοδο

Αυτήν την περίοδο, διάφοροι προμηθευτές υπάρχουν μέσα στην αγορά. Αυτοί οι προμηθευτές κάθε ένας επιδιώκουν ένα μερίδιο της νευρικής επιχείρησης δικτύων. Μερικοί από τους να κάνει αυτόν με το βαγόνι εμπορευμάτων τους σε άλλες συσκευασίες μέσα στη βιομηχανία. Τα νευρικά προϊόντα δικτύων υπάρχουν που είναι προσθέτουν -προσθέτω απλά στις δημοφιλείς βάσεις δεδομένων και τους υπολογισμούς με λογιστικό φύλλο (spreadsheet). άλλα προϊόντα συνδέονται για τα ιδιαίτερα λειτουργικά συστήματα στις ιδιαίτερες μηχανές. Υπάρχουν προμηθευτές των νευρικών εργαλείων ανάπτυξης δικτύων για τις περισσότερες μηχανές. Τα δημοφιλέστερα εργαλεία λειτουργούν είτε APPLE MACINTOSH είτε τα πρότυπα PC της IBM.

Μερικές από αυτές τις συσκευασίες συνδέονται προς τις ιδιαίτερες εφαρμογές όπως η επεξεργασία εικόνας, άλλες είναι γενικές αλλά ικανότητες δρομολόγησης στοιχείων έλλειψης καλές. Κάθε μια από αυτές τις επιχειρήσεις προσδιορίζει τις αδυναμίες τους και εργάζεται σε τις. Είναι ένας συναρπαστικός χρόνος για τους, και με τις ανταμοιβές και με τους κινδύνους υψηλούς.

Στην επιλογή ενός εργαλείου ανάπτυξης ένας μηχανικός λογισμικού χρειάζεται στο beware αυτού του αναδυόμενου τομέα. Τα περισσότερα προϊόντα δεν εξελίσσονται στις φιλικές προς το χρήστη ρουτίνες που σύρουν γανες. Αυτό είναι ένας νέος τομέας. Η ίδια η αστάθειά της έχει δημιουργήσει ένα συγγέοντα σύνολο προσφορών, και τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα μέσα στις προσφορές, οι οποίες θα σταλούν τελικά στα απορρίμματα.

Συστήματα ανάπτυξης

Τα καλά συστήματα ανάπτυξης επιτρέπουν σε έναν χρήστη στο πρωτότυπο που ένα δίκτυο, εκπαιδεύει την, το τσίμπημα αυτό, και το χρησιμοποιεί. Αυτά τα συστήματα τρέχουν στην τυποποιημένη σειρά των υπολογιστών. Αυτά τα πακέτα συνήθως δεν τρέχουν στο εξειδικευμένο υλικό, αν και μερικοί προμηθευτές έχουν συσκευάσει τους γρήγορους επεξεργαστές RISC στους ειδικούς νευρικούς πίνακες επεξεργασίας. Συνήθως, αυτές οι συσκευασίες είναι απλά εργαλεία που δημιουργούν τα δίκτυα που αποδεικνύουν τις έννοιες αλλά μπορούν να είναι τρόπος πάρα πολύ αργός να τρέξει. Ένας από τους πληρέστερους

καταλόγους αυτών των προμηθευτών δημοσιεύεται στο ζήτημα Νοεμβρίου 1991 των προσωπικών ειδήσεων εφαρμοσμένης μηχανικής & ενοργάνωσης.

Επιταχυντές υλικού.

Το κλειδί για τη συνεχή εξέλιξη της νευρικής δικτύωσης βρίσκεται στο υλικό. Το παραδοσιακό υλικό δεν επιτρέπει τον ογκώδη παραλληλισμό που απαιτείται από τα νευρικά δίκτυα. Υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις που εργάζονται. Κάποιος είναι να αναπτυχθεί ένας επεξεργαστής που προσαρμόζεται συγκεκριμένα στην εκτέλεση των στόχων των μεμονωμένων τεχνητών νευρώνων. Μια άλλη προσέγγιση είναι να συσκευαστούν οι γρήγοροι επεξεργαστές, πρώτιστα RISCs, επάνω σε έναν επιταχυντή υλικού. Αυτοί οι επεξεργαστές μπορούν να συσκευαστούν πολλών σε έναν πίνακα για να διευκολύνουν την παράλληλη φύση των νευρικών δικτύων. Άλλοι πίνακες επιταχυντών παρέχουν απλά περισσότερη υποδύναμη για τη διαδοχική επεξεργασία.

Τα προϊόντα πινάκων επιταχυντών αναπτύσσονται και ανεξάρτητα και από τους κατασκευαστές των νευρικών συστημάτων ανάπτυξης δικτύων. Κάθε ένας έχει τα συγκεκριμένα χαρακτηριστικά που παραχωρούν στα ιδιαίτερα ψηφίσματα.

Αφιερωμένοι νευρικοί επεξεργαστές.

Οι αφιερωμένοι νευρικοί επεξεργαστές είναι επεξεργαστές με τις συγκεκριμένες ικανότητες που επιτρέπουν τη χρήση τους στα νευρικά δίκτυα. Αρκετοί από τους μεγάλους κατασκευαστές τσιπ έχουν αναπτύξει τους νευρικούς επεξεργαστές. Μερικοί από αυτούς τους επεξεργαστές δημιουργήθηκαν συγκεκριμένα για τους προμηθευτές συστημάτων ανάπτυξης. Μερικά από αυτά τα τσιπ συσκευάζουν διάφορους απλοϊκούς νευρώνες επάνω σε ένα τσιπ. Άλλοι ενσωματώνουν τις ιδιότητες έννοιες, όπως η δημιουργία ενός συγκεκριμένου τύπου συγκεκριμένου νευρώνα. Αυτά τα τσιπ έρχονται σε πολλές ευρείες τεχνολογίες - αναλογικές, ψηφιακές, υβριδικές, και οπτικές. Δεν υπάρχει κανένας σαφής νικητής μέχρι σήμερα.

Τι οι επόμενες εξελίξεις θα είναι;

Οι προμηθευτές μέσα στη βιομηχανία προβλέπουν ότι η μετανάστευση από τα εργαλεία στις εφαρμογές θα συνεχιστεί. Ειδικότερα, η τάση είναι να κινηθεί προς τα υβριδικά συστήματα. Αυτά τα συστήματα θα καλύψουν άλλους τύπους διαδικασιών, όπως η συγκεκριμένη λογική, τα έμπειρα συστήματα, και οι κινητικοί αλγόριθμοι. Πράγματι, διάφορες κατασκευές λειτουργούν στους "συγκεκριμένους νευρώνες."

Το μέγιστο ενδιαφέρον είναι στη συγχωνεύοντας συγκεκριμένη λογική με τα νευρικά δίκτυα. Η συγκεκριμένη λογική ενσωματώνει το inexactness της ζωής στα μαθηματικά. Στη ζωή τα περισσότερα κομμάτια των στοιχείων δεν αρμόζουν ακριβώς σε ορισμένες κατηγορίες. Παραδείγματος χάριν, ένα πρόσωπο είναι όχι μόνο κοντό ή ψηλό. Μπορεί να είναι kinda απότομα, αρκετά ψηλό, λίγο επάνω από το μέσο όρο, ή πολύ ψηλός. Η συγκεκριμένη λογική λαμβάνει αυτές τις πραγματικές παραλλαγές υπόψη. Στην πιθανή εφαρμογή των νευρικών δικτύων, στα συστήματα που λύνουν τα πραγματικά προβλήματα, αυτή η ασάφεια είναι ένα μεγάλο μέρος του προβλήματος. Στην αυτοματοποίηση ενός αυτοκινήτου, για να σταματήσει δεν είναι να χτυπήσει στα φρένα, να επιταχυνθεί δεν πρόκειται "να κάψει το λάστιχο." Για να βοηθήσουν τα νευρικά δίκτυα να προσαρμόσουν αυτήν την ασάφεια της ζωής, μερικοί ερευνητές αναπτύσσουν τους συγκεκριμένους νευρώνες. Αυτοί οι νευρώνες δεν δίνουν απλά τις ναι/όχι απαντήσεις.

Δίνουν μια πιο συγκεκριμένη απάντηση.

Τα συστήματα που χτίζονται με τους συγκεκριμένους νευρώνες μπορούν να μονογραφηθούν σε αυτό που ένας εμπειρογνώμονας σκέφτεται ότι είναι οι κανόνες και τα βάρη για μια δεδομένη εφαρμογή. Αυτή η συγχώνευση των έμπειρων συστημάτων και της συγκεκριμένης λογικής με τα νευρικά δίκτυα χρησιμοποιεί τη δύναμη και των τριών πειθαρχιών για να παρέχει ένα καλύτερο σύστημα από καθένα μπορεί να παρασχεθεί. Τα έμπειρα συστήματα έχουν το πρόβλημα ότι οι περισσότεροι εμπειρογνώμονες δεν καταλαβαίνουν ακριβώς όλες τις αποχρώσεις μιας εφαρμογής και, επομένως, είναι ανίκανοι να δηλώσουν σαφώς τους κανόνες που καθορίζουν το ολόκληρο πρόβλημα σε κάποιο άλλο. Αλλά το νευρικό δίκτυο δεν φροντίζει ότι οι κανόνες δεν είναι ακριβείς, για τα νευρικά δίκτυα μπορεί έπειτα να μάθει, και να διορθώσει έπειτα, οι κανόνες των εμπειρογνομώνων. Μπορεί να προσθέσει τους κόμβους για τις έννοιες που ο εμπειρογνώμονας να μην καταλάβει. Μπορεί να προσαρμόσει τη συγκεκριμένη λογική που καθορίζει τα κράτη όπως ψηλός, κοντός, γρήγορος, ή αργός. Μπορεί το ίδιο τσίμπημα έως ότου μπορεί να συναντήσει την προσδιορισμένη χρήσιμη κατάσταση της ύπαρξης ένα εφαρμόσιμο εργαλείο. Εν ολίγης, τα υβριδικά συστήματα είναι το μέλλον.

Επιλογή δικτύων

Επειδή όλα τα τεχνητά νευρικά δίκτυα είναι βασισμένα στην έννοια των νευρώνων, των συνδέσεων και των λειτουργιών μεταφοράς, υπάρχει μια ομοιότητα μεταξύ των διαφορετικών δομών ή των αρχιτεκτονικών ή των νευρικών δικτύων. Η πλειοψηφία των παραλλαγών προέρχεται από τους διάφορους

κανόνες εκμάθησης και πώς εκείνοι οι κανόνες τροποποιούν τη χαρακτηριστική τοπολογία ενός δικτύου. Τα εξής τμήματα περιγράφουν μερικά από τα πιο κοινά τεχνητά νευρικά δίκτυα. Οργανώνονται στις πολύ τραχιές κατηγορίες εφαρμογής που αυτές οι κατηγορίες δεν προορίζονται να είναι αποκλειστικές, τους σημαίνουν μόνο στο separate έξω μερικές από τη σύγχυση πέρα από τις δικτυακές αρχιτεκτονικές και τις καλύτερες αντιστοιχίες τους στις συγκεκριμένες εφαρμογές.

Βασικά, οι περισσότερες εφαρμογές στις δικτύων εμπίπτουν με πέντε κατηγορίες των νευρικών:

1. πρόβλεψη
2. ταξινόμηση
3. ένωση στοιχείων
4. σύλληψη στοιχείων
5. φιλτράρισμα στοιχείων

		υο
	η φραγμών έλτα δέλτα αρχαία αναζήτηση κά δίκτυα διαταγής back-propagation	χρήσης για να προβλέψετε τα καλύτερα αποθέματα τον καιρό, προσδιορίστε τους κινδύνους εμφάνισης
	αυτοποίηση ση Probabalistic	χρήσης για να καθορίσει η εισαγωγή που το είδος αεροπλάνου είναι
v	υ in ομική μνήμη αναγνώριση σχεδίων	μηση αλλά αναγνωρίζει τα λάθη (π.χ. χαρακτήρες που ανιχνεύθηκαν δεν λειτουργεί κατ
v	δίκτυο αντίληψης άνωσης	αγωγές έτσι ώστε οι ομάδες να προκύψουν (π.χ. απόσπασμα των ονόματα εκείνου σε ένα ιδιαίτερο προϊόν)
χειών		α εισαγωγής (π.χ. πάρτε το σήμα)

το Πίνακας επιλογών δικτύων πινάκων 5,01 πίνακας 5.0.1 παρουσιάζει τις διαφορές μεταξύ αυτών των κατηγοριών δικτύων και παρουσιάζει όποιοι των πιο κοινών τοπολογιών δικτύων ανήκουν σε ποια αρχική κατηγορία αυτό το διάγραμμα προορίζεται ως οδηγός και δεν προορίζεται να είναι όλο συμπεριλαμβάνουν. Ενώ υπάρχουν πολλές άλλες παραγωγές δικτύων, αυτό το διάγραμμα περιλαμβάνει μόνο τις αρχιτεκτονικές που εξηγούνται μέσα σε αυτό το τμήμα αυτής της έκθεσης. Μερικά από αυτά τα δίκτυα, που έχουν ομαδοποιηθεί από την εφαρμογή, έχουν χρησιμοποιηθεί για να λύσουν περισσότερους από έναν τύπους προβλήματος. Feedforward back-propagation ειδικότερα έχει χρησιμοποιηθεί για να λύσει σχεδόν όλους τους τύπους προβλημάτων και είναι πράγματι το δημοφιλέστερο για τις πρώτες τέσσερις κατηγορίες.

ΤΑ ΣΗΜΑΝΤΙΚΟΤΕΡΑ ΝΕΥΡΙΚΑ ΠΡΟΤΥΠΑ-ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑΤΑ

Η πρόθεση αυτού του κεφαλαίου είναι να παρασχεθεί μια περιεκτική εισαγωγή σε τέσσερα σημαντικά νευρικά πρότυπα δικτύων που απαιτούνται ως υπόβαθρο για τα κεφάλαια σχετικά με τα νευρο-συγκεχυμένα συστήματα.

Θα αρχίσουμε τη συζήτηση νευρικών δικτύων μας στην παράγραφο 4.1 με το σημαντικότερο πρότυπο που χρησιμοποιείται σε πάνω από 90% όλων των νευρικών εφαρμογών δικτύων: η αντίληψη που εκπαιδεύεται πολυστρωματική από τον αλγόριθμο εκμάθησης backpropagation. Αυτό το πρότυπο υποκίνησε το

ενδιαφέρον για τα νευρικά δίκτυα στα μέσα της δεκαετίας του '80. Μπορεί να αποδειχθεί ότι είναι καθολικό *approximator*, που σημαίνει ότι μπορεί να προσεγγίσει οποιαδήποτε συνεχή *real-valued* λειτουργία σε οποιοδήποτε δεδομένο βαθμό ακρίβειας [Funahashi, το 1989, *χεθχτ-νηλσεν*, το 1989, *χεθχτ-νηλσεν*, το 1990, Hornik et Al, το 1989, Hornik et Al, 1990, λευκό, το 1990].

Πολυστρωματικά *perceptrons* και *backpropagation* χρησιμοποιούνται για την εποπτευόμενη εκμάθηση. Ένα άλλο σημαντικό νευρικό πρότυπο δικτύων για αυτό το είδος μαθησιακού προβλήματος είναι το ακτινωτό δίκτυο λειτουργίας βάσης (RBF). Τα δίκτυα RBF είναι επίσης πολυστρωματικά *feedforward* νευρικά δίκτυα, αλλά χρησιμοποιούν τις διαφορετικές λειτουργίες ενεργοποίησης από πολυστρωματικά *perceptrons*. Τα δίκτυα RBF συζητούνται στην παράγραφο 4.2.

Εκτός από την εποπτευόμενη εκμάθηση υπάρχει ανεπιβλεπτή εκμάθηση. Οι *self-organizing* χάρτες χαρακτηριστικών γνωρισμάτων του Kohonen είναι το σημαντικότερο νευρικό πρότυπο δικτύων για αυτό το είδος μαθησιακού προβλήματος. Εξετάζονται στην παράγραφο 4.3.

Μετά από αυτό συζητάμε ένα ειδικό είδος εποπτευμένης εκμάθησης. Φανταστείτε ένα νευρικό δίκτυο που πρέπει να λύσει ένα πρόβλημα, αλλά δεν λέγεται τι η σωστή παραγωγή πρέπει να είναι. Οι μόνες πληροφορίες που παίρνουν είναι εάν η παραγωγή είναι "καλή" ή "κακή". Αυτός ο αλγόριθμος εκμάθησης καλείται ενίσχυση μαθαίνοντας: το δίκτυο "ανταμείβεται" εάν η παραγωγή είναι σωστή, και "τιμωρείται" εάν η παραγωγή δεν είναι σωστή. Η παράγραφος 4.4 θα εξετάσει το νευρικό δίκτυο χρησιμοποιώντας αυτό το είδος εκμάθησης της διαδικασίας.

Ολοκληρώνουμε αυτό το κεφάλαιο σχετικά με τα νευρικά δίκτυα με μια συζήτηση σχετικά με την προεπεξεργασία των δεδομένων εισόδου στην παράγραφο 4.5. Η προσέγγιση που παρουσιάζεται μπορεί να βοηθήσει να απλοποιήσει τη δομή ενός νευρικού δικτύου.

4.1 Πολυστρωματικά *perceptrons* και *backpropagation*

Πολυστρωματικό *perceptron* είναι μια επέκταση απλό *perceptron* που εισάγεται από τη φάρσα Rosenblatt το 1958 [Rosenblatt, 1958]. Στο σχήμα 9 μια πρόωρη ερμηνεία απλό *perceptron* παρουσιάζεται. Υπάρχει ένας τεχνητός αμφιβληστροειδής με τους δέκτες που συνδέονται μέσω των συναπτικών βαρών με έναν ενιαίο νευρώνα κατώτατων ορίων. Αυτό χρησιμοποιήθηκε για να προσδιορίσει τα σχέδια ορατά στον αμφιβληστροειδή με την κατάταξη τους στη μια από δύο κατηγορίες ανάλογα με την ενεργοποίηση του νευρώνα. Εντούτοις, η απόδοση απλό *perceptron* είναι ουσιαστικά περιορισμένη επειδή δεν μπορεί να λύσει γραμμικά τα μη-ευδιαχώριστα προβλήματα. Αυτό το μειονέκτημα έγινε εμφανές αμέσως μόλις απλό *perceptron* εισήχθη, και επίσης ήταν γνωστό ότι με την εισαγωγή των κρυμμένων μονάδων αυτός ο περιορισμός θα μπορούσε να υπερνικηθεί. Εντούτοις, δεν υπήρξε κανένας αλγόριθμος εκμάθησης διαθέσιμος που ήταν σε θέση να εκπαιδεύσει τις συνδέσεις στις κρυμμένες μονάδες για να βρει μια κρυμμένη αντιπροσώπευση του μαθησιακού προβλήματος. Αλλά μόνο αυτό το είδος εσωτερικής λειτουργίας, που αφορά τα σχέδια εισαγωγής ένα σχέδιο δραστηριότητας των κρυμμένων στρωμάτων, επιτρέπει σε ένα διασυνδεδημένο πρότυπο για να μάθει γραμμικά τα μη-ευδιαχώριστα προβλήματα

Perceptron είναι ένα *feedforward* δίκτυο, το οποίο έχει μόνο τις από κάτω προς τα επάνω συνδέσεις (από την εισαγωγή στην παραγωγή). Μπορεί να αντιμετωπισθεί ως νευρικό δίκτυο με δύο στρώματα: ένα στρώμα των νευρώνων εισαγωγής, και ένα στρώμα με έναν ενιαίο νευρώνα παραγωγής. Η μονάδα παραγωγής αντιπροσωπεύει *hyperplane* στο διάστημα των σχεδίων εισαγωγής, και η αξία ενεργοποίησης δείχνει σε ποια πλευρά *hyperplane* ένα σχέδιο κατοικεί. Κατά συνέπεια τα σχέδια διανέμονται σε δύο κατηγορίες. Ένα *n*-διαστατικό πρόβλημα ταξινόμησης που μπορεί να λυθεί αυτόν τον τρόπο

(β) Το δίκτυο ορίζει ένα δίκτυο λειτουργίας εισαγωγής δικτύων (διάδοση) " $\mathbf{R} \times \mathbf{R}^{U_1} \rightarrow \mathbf{R}$ " σε κάθε μονάδα παραγωγής β $u_0 \in V$ για να υπολογίσει το δίκτυο εισήγαγε καθαρό", με

$$net_{\beta} = \sum_{u \in U_1} W(u, \beta) \cdot a_u + \theta_{\beta}$$

καλείται το κατώτατο όριο ή προκατειλημμένη αξία της μονάδας V .
($u \in U_1$. ' u_i) $ex : U_1 \rightarrow \mathbf{R}$ ορίζει μια εξωτερική εισαγωγή πρώην $u =$ πρώην (u) σε κάθε μονάδα εισαγωγής

Ένα γραμμικό νευρικό δίκτυο χρησιμοποιεί μόνο τις γραμμικές λειτουργίες για να υπολογίσει την εισαγωγή, την ενεργοποίηση και την παραγωγή δικτύων. Δεν έχει κανένα νόημα, για να εισαγάγει τα πολυστρωματικά γραμμικά δίκτυα. Κάθε ζευγάρι των διαδοχικών στρωμάτων θα μπορούσε να αντικατασταθεί απλά από ένα ενιαίο στρώμα, με τον πολλαπλασιασμό των αντίστοιχων μιτρών βάρους. Ο καθορισμός 4,2 ένα ADALINE (ADaptive γραμμικό NEuron) είναι ένα γραμμικό νευρικό δίκτυο με

$$(i) a_v = \begin{cases} 1 & \text{if } a_v > 0 \\ -1 & \text{if } a_v \leq 0 \end{cases} \text{ for all } v \in U_0,$$

$$(ii) ex : U_I \rightarrow \{-1, 1\}.$$

Το Widrow και Hoff εισήγαγαν μια διαδικασία εκμάθησης για το πρότυπο ADALINE τους, το οποίο μειώνει τη διαφορά μεταξύ της ενεργοποίησης και της παραγωγής στόχων.

Ο καθορισμός 4,3 (του δέλτα κανόνας, κανόνας —εκμάθησης Widrow Hoff) άφησε LN να είναι ένα γραμμικά νευρικά δίκτυο και ένα γ , ένα σταθερό μαθησιακό πρόβλημα. Η τροποποίηση A.P. W βάρους (u, β) για το $u \in U_I$ και $u_0 \in \beta \in$ και την αλλαγή στο προκατειλημμένο A.P. θ_v που προκαλείται από τη διάδοση του σχεδίου i^{th} εισαγωγής, καθορίζεται ως εξής:

$$\Delta_p W(u, v) = \sigma \cdot (t_v^{(p)} - a_v^{(p)}) \cdot a_u^{(p)},$$

$$\Delta_p \theta_v = \sigma \cdot (t_v^{(p)} - a_v^{(p)}).$$

Το σ είναι η ενεργοποίηση στόχων της μονάδας παραγωγής β . " είναι η πραγματική ενεργοποίησή του, και a_j είναι η ενεργοποίηση της μονάδας εισαγωγής u , η οποία είναι ίδια με τα input αποκαλούμενα

ποσοστό εκμάθησης. $\sigma \in \mathbb{R}^+$

Οι υπολογισμένες τιμές αθροίζονται, και το W και θ τροποποιούνται αφότου έχει ολοκληρωθεί μια εποχή:

$$\Delta W(u, v) = \sum_{p \in \mathcal{I}} \Delta_p W(u, v) \text{ and}$$

$$\Delta \theta_v = \sum_{p \in \mathcal{I}} \Delta_p \theta_v$$

Ο στόχος του του δέλτα κανόνα είναι να ελαχιστοποιηθεί το μέτρο λάθους

$$E = \frac{1}{2} \sum_{v \in U_0} \sum_{p \in \mathcal{I}} (t_v^{(p)} - a_v^{(p)})^2$$

με την εκτέλεση μιας καθόδου κλίσης στο E. Η ακρίβεια της καθόδου κλίσης καθορίζεται από το ποσοστό α εκμάθησης. Εάν η αξία που επιλέγεται είναι πάρα πολύ μεγάλη, η διαδικασία εκμάθησης δεν θα πετύχει εάν είναι πάρα πολύ μικρό, η κατάρτιση μπορεί να πάρει περισσότερο χρόνο από απαραίτητο. Με το ξαναγράψιμο του μέτρου λάθους όπως

$$E = \frac{1}{2} \sum_{v \in U_0} \sum_{p \in \mathcal{I}} \left(t_v^{(p)} - \left(\sum_{u \in U_I} W(u, v) a_u^{(p)} + \theta_v \right) \right)^2$$

μπορούμε να δούμε ότι είναι μια τετραγωνική λειτουργία πέρα από τα βάρη και τις προκατειλημμένες τιμές. Αντιπροσωπεύει πολυδιάστατο έναν παραβολοειδή που έχει μόνο ένα ελάχιστο. Εντούτοις, αυτό το ελάχιστο δεν υπονοεί απαραίτητως $\varepsilon = 0$, Εάν το μαθησιακό πρόβλημα είναι γραμμικά μη-ευδιαχώριστο, να μάθει συγκλίνει τελικά, αλλά το λάθος παραμένει μεγαλύτερο από μηδέν.

Για να λύσουμε τα μαθησιακά προβλήματα που δεν είναι γραμμικά ευδιαχώριστα, χρειαζόμαστε τα δίκτυα με τις μη γραμμικές κρυμμένες μονάδες. Εντούτοις, ο του δέλτα κανόνας δεν παρέχει κανένα μέσο να καθοριστούν οι αλλαγές βάρους για τις κρυμμένες μονάδες, επειδή το μέτρο λάθους καθορίζεται μόνο για τις μονάδες παραγωγής.

Το 1986 Rumelhart, Hinton και Ουίλιαμς εισαγμένος τι κάλεσαν γενικευμένο του δέλτα κανόνα, ένας κανόνας εκμάθησης για τα πολυστρωματικά νευρικά δίκτυα [Rumelhart και McClelland, 1986]. Αυτή η διαδικασία εκμάθησης, τώρα συνήθως γνωστή όπως backpropagation (λάθους), ή "backprop" για απότομα, είναι σε θέση να εκπαιδεύσει τους κρυμμένους νευρώνες συνδέσεων. Τώρα υπήρξε ένας κανόνας εκμάθησης που ήταν σε θέση να λύσει γραμμικά τα μη-ευδιαχώριστα προβλήματα, και το ενδιαφέρον για τα νευρικά δίκτυα άρχισε να αυξάνεται πάλι. Στον ακόλουθο ενδιαφερόμαστε για αποκαλούμενα πολυστρωματικά perceptrons. Στη δομή τους αυτά τα πολυστρωματικά νευρικά δίκτυα μοιάζουν με απλό perceptron με το ένα ή τα πολλαπλάσια κρυμμένα στρώματα.

4.1.1 Το επίσημο JVTocfef για πολυστρωματικά perceptrons

Πολυστρωματικό perceptron είναι ένα feedforward νευρικό δίκτυο που αποτελείται από ένα στρώμα εισαγωγής, ένα ένα ή πολλαπλάσια κρυμμένα στρώματα και ένα στρώμα παραγωγής. Οι μονάδες του στρώματος εισαγωγής δεν εκτελούν οποιοδήποτε υπολογισμό, δίνουν ακριβώς τις τιμές εισαγωγής τους. Σε

αντίθεση με απλό perceptron περισσότερες από μια μονάδες επιτρέπονται στο στρώμα παραγωγής. Ο λόγος είναι ότι σε αυτήν την περίπτωση ένα δίκτυο με τις πολλαπλάσιες μονάδες παραγωγής δεν μπορεί να κατασκευαστεί με απλά να συνδέσει τα ίδια συστήματα παράλληλα. Αυτό θα οδηγούσε στα πρόσθετα κρυμμένα στρώματα με τις διαφορετικές κρυμμένες αντιπροσωπεύσεις. Εντούτοις, δεν είναι ούτε απαραίτητο ούτε επιθυμητό να χρησιμοποιηθούν τα χωριστά κρυμμένα στρώματα για κάθε μονάδα παραγωγής.

Ο καθορισμός 4.4 πολυστρωματικό perceptron A είναι ένα νευρικό δίκτυο αυτός έχει τις ακόλουθες ιδιότητες:

(i) $U = U_1 \cup \dots \cup U_n$ είναι ένα σύνολο νprocessing μονάδων (νευρώνες) όπου $n > 3$ είναι υποτιθέμενος. Επιπλέον, $U_i \neq \emptyset \forall i < n$ όλα $i \in \{1, \dots, n\}$ and $U_i \cap U_j = \emptyset$

για $i \neq j$. U_i καλείται το στρώμα εισαγωγής και τα H.E στρώμα παραγωγής.

Το U_i με $1 < i < n$ καλούνται κρυμμένα στρώματα, (II) η δομή δικτύων δίνονται από τη λειτουργία $W: U \times U \rightarrow \mathbb{R}$ εκεί

υπάρζετε μόνο συνδέσεις μεταξύ των διαδοχικών στρωμάτων.

Κατά συνέπεια, $(u \in U_i \vee W(u, v) \neq 0) \implies v \in U_{i+1}$ για όλους $i \in \{1, \dots, n-1\}$.

(Hi) Το A ορίζει μια λειτουργία ενεργοποίησης. $A_u: \mathbb{R} \rightarrow [0, 1]$ σε κάθε μονάδα u $\in U$ για να υπολογίσει την αστρονομική μονάδα ενεργοποίησης με

$$a_u = A_u(\text{ex}(u)) = \text{ex}(u)$$

για όλους $u \in U_i$ και

$$\text{για } \text{όλο } \text{tt } \in U_i \text{ (* 6.2 } \dots, n),$$

χρησιμοποιείται. Η λογιστική λειτουργία προσεγγίζει μια λειτουργία κατώτατων ορίων (σχήμα 4) και οι προσεγγίσεις ασυμπτωτικά οι τιμές 0 για το $X \rightarrow -\infty$ και 1 για το $X \rightarrow +\infty$. Η παράμετρος π καθορίζει το steepness αυτής της sigmoid (s-shaped) λειτουργίας. Άλλες πιθανές sigmoid λειτουργίες ενεργοποίησης είναι παραδείγματος χάριν

$$f(x) = \tanh(\beta x) = \frac{e^{\beta x} - e^{-\beta x}}{e^{\beta x} + e^{-\beta x}} \quad (\text{ασυμπτωτικά πλησιάζει } -1 \text{ και } 1),$$

$$f(x) = \frac{1}{\pi} \left(\frac{\pi}{2} + \arctan(\beta x) \right) \quad (\text{ασυμπτωτικά πλησιάζει } 0 \text{ και } 1). \text{ Σε όλες τις περιπτώσεις το steepness καθορίζεται από την παράμετρο } / 3.$$

4.1.2 Backpropagation - ο γενικευμένος του δέλτα κανόνας

Backpropagation όρου δείχνει την οπίσθια διάδοση ενός σήματος λάθους μέσω του δικτύου. Μετά από να διαδώσει ένα σχέδιο μέσω του δικτύου, το σχέδιο παραγωγής συγκρίνεται με ένα δεδομένο σχέδιο στόχων και το λάθος κάθε μονάδας παραγωγής υπολογίζεται. Αυτό το λάθος διαδίδεται προς τα πίσω - δηλ. στην κατεύθυνση στο στρώμα εισαγωγής - μέσω του δικτύου. Με βάση το σήμα λάθους οι κρυμμένες μονάδες είναι σε θέση να καθορίσουν το λάθος τους. Τέλος, τα λάθη των μονάδων χρησιμοποιούνται για να τροποποιήσουν τα βάρη. Ο προσδιορισμός των τιμών λάθους για τις κρυμμένες μονάδες είναι το ουσιαστικό επίτευγμα αυτής της διαδικασίας εκμάθησης. Δεδομένου ότι επεκτείνει την ιδέα του του δέλτα κανόνα που εισάγεται από Widrow και Hoff [Widrow και Hoff, 1960] στα πολυστρωματικά νευρικά δίκτυα καλείται επίσης γενικευμένο του δέλτα κανόνα.

Δεδομένου ότι το u παραγωγής ο του u νευρώνων πολυστρωματικό perceptron αντιστοιχεί στην αστρονομική μονάδα ενεργοποίησης, σε αυτό που ακολουθεί θα εξετάσουμε μόνο την ενεργοποίηση.

Ο καθορισμός 4.5 άφησε MLP να είναι πολυστρωματικός perceptron ο

για μια sigmoid λειτουργία ενεργοποίησης $A_u(\text{net}_u) = f(\text{net}_u)$ για όλο το $u \in U = U_1 \cup \dots \cup U_n$, U_i $\forall i \in \{1, \dots, n\}$ και άφησε το γ

να ειστέ ένα σταθερό μαθησιακό πρόβλημα. Ο εποπτευμένος αλγόριθμος εκμάθησης που καθορίζει τις τροποποιήσεις για τη δομή W δικτύων MLP μετά από τη διάδοση ενός σχεδίου εισαγωγής $\delta_i^{(p)}, p \in \{1, \dots, P\}$ δίνεται κοντά

$$\Delta_p W(u, v) = \eta \delta_v^{(p)} a_u^{(p)}$$

με το $u \in U_i, v \in U_j, 2 < i < j < n$ και $\eta > 0$, όπου

$$\delta_v^{(p)} = \begin{cases} f'(\text{net}_v^{(p)}) (t_v^{(p)} - a_v^{(p)}) & \text{if } v \in U_n \\ f'(\text{net}_v^{(p)}) \sum_{\hat{v} \in U_{j+1}} \delta_{\hat{v}}^{(p)} W(v, \hat{v}) & \text{if } v \in U_j, 2 \leq j \leq n-1, \end{cases}$$

και καλείται ο γενικευμένος του δέλτα αλγόριθμος κανόνα ή backpropagation. " είναι η ενεργοποίηση της μονάδας u μετά από τη διάδοση σχεδίου εισαγωγής i^{\wedge} και T); είναι η παραγωγή στόχων (ενεργοποίηση) της μονάδας παραγωγής β . Η $E \in$ που δίνεται από το σχέδιο στόχων t^{\wedge} .

Στον ακόλουθο επιδεικνύουμε πώς να παραγάγουμε το γενικευμένο του δέλτα κανόνα, όπου περιοριζόμαστε στα βαλμένα σε στρώσεις feedforward δίκτυα. Εντούτοις, ο κανόνας εκμάθησης μπορεί

επίσης εφαρμόζεται στην ανατροφοδότηση ή τα δίκτυα. Η χρήση μιας μη γραμμικής, μονοτονικής αύξησης, differentiable λειτουργία ενεργοποίησης είναι μια προϋπόθεση εν πάση περιπτώσει.

Το ποσό των τακτοποιημένων διαφορών της πραγματικής παραγωγής και της παραγωγής στόχων που δίνονται μεταξύ από το σταθερό μαθησιακό πρόβλημα ξ χρησιμοποιείται ως μέτρο λάθους:

(4.1)

Η ενεργοποίηση

(4.2)

από μια μονάδα $v \in U_i, 2 \leq i \leq n$, για ένα σχέδιο $p \in \bar{L}$, δίνεται από τη sigmoid λειτουργία/ πέρα από την εισαγωγή δικτύων

K - (4.3)

Ο backpropagation αλγόριθμος εφαρμόζει μια διαδικασία καθόδου κλίσης. Ο στόχος της διαδικασίας εκμάθησης είναι να ελαχιστοποιηθεί το λάθος ϵ με τη ρύθμιση των βαρών του δικτύου. Για τις αλλαγές βάρους υποθέτουμε

(4.4)

Χρησιμοποιώντας τον κανόνα αλυσίδων, το παράγωγο που χρησιμοποιείται (4.4) μπορεί να γραφτεί ως προϊόν. Ο πρώτος παράγοντας απεικονίζει την αλλαγή στο λάθος ανάλογα με την αλλαγή του δικτύου που εισάγεται για μια μονάδα. Ο δεύτερος παράγοντας αντιπροσωπεύει την επίδραση στην εισαγωγή δικτύων που προκαλείται με την αλλαγή ενός ορισμένου βάρους. Λαμβάνουμε

(4.5)

Από (4.3) λαμβάνουμε για το δεύτερο παράγοντα (4.5)

$$\frac{\partial \text{net}_v^{(p)}}{\partial W(u, v)} = \frac{\partial}{\partial W(u, v)} \sum_{\hat{u} \in U_{i-1}} W(u, \hat{u}) a_{\hat{u}}^{(p)} + \theta_v = a_{\hat{u}}^{(p)}.$$

Το σήμα λάθους $\delta_v^{(p)}$ για μια μονάδα $v \in U_i$ καθορίζεται κοντά

$$-\frac{\partial E^{(p)}}{\partial W(u, v)} = \delta_v^{(p)} a_{\hat{u}}^{(p)}.$$

(4.6) Ακολουθεί ότι (4.5) είναι ισοδύναμο

με

Προκειμένου να εφαρμοστεί μια κάθοδος κλίσης στο ϵ , για την αλλαγή σε βάρη η ισότητα

$$\Delta_p W(u, v) = \eta \delta_v^{(p)} a_{\hat{u}}^{(p)}, \quad (4.7)$$

πρέπει να κρατήσετε, που $\eta > 0$ είναι μια πραγματική σταθερά.

Τώρα \square πρέπει να καθοριστεί για κάθε μονάδα β του δικτύου. Βγάζει ότι υπάρχει μια απλή επαναλαμβανόμενη μέθοδος υπολογισμού για τις τιμές S^{\wedge} . Μπορεί να εφαρμοστεί με να διαδώσει τα σήματα λάθους προς τα πίσω μέσω του δικτύου.

Να υπολογίσει από (4.6) το μερικό παράγωγο γράφεται ως προϊόν χρησιμοποιώντας τον κανόνα αλυσίδων. Ο πρώτος παράγοντας απεικονίζει την αλλαγή στο λάθος ανάλογα με την παραγωγή της μονάδας, ενώ ο δεύτερος παράγοντας αντιπροσωπεύει την αλλαγή στην παραγωγή ανάλογα με την αλλαγή της εισαγωγής:

$$\delta_v^{(p)} = -\frac{\partial E^{(p)}}{\partial \text{net}_v^{(p)}} = -\frac{\partial E^{(p)}}{\partial a_v^{(p)}} \frac{\partial a_v^{(p)}}{\partial \text{net}_v^{(p)}}. \quad (4.8)$$

Για το δεύτερο παράγοντα λαμβάνουμε, από (4.2),

$$\frac{\partial a_v^{(p)}}{\partial \text{net}_v^{(p)}} \equiv f'(\text{net}_v^{(p)})$$

Για να καθορίσουν τον πρώτο παράγοντα (4,8), δύο περιπτώσεις διακρίνονται, (i) στην πρώτη περίπτωση που θεωρούμε μια μονάδα παραγωγής β το u γ. Από τον καθορισμό για E^{\wedge} ακολουθεί αυτό

$$\frac{\partial E^{(p)}}{\partial a_v^{(p)}} = - (t_v^{(p)} - a_v^{(p)}).$$

Εάν οι δύο παράγοντες (4.8) αντικαθίστανται, κατόπιν λαμβάνουμε για κάθε μονάδα παραγωγής $v \in U_n$, (4.9)

Στη δεύτερη περίπτωση αφήστε v , να μην είναι μια μονάδα παραγωγής.

Με την εφαρμογή του κανόνα αλυσίδων στον πρώτο παράγοντα (4,8), παράγουμε ένα ποσό πέρα από τις μονάδες $\beta \in U_i$, όπου οι συνδέσεις από το β φθάνουν:

(ii) Στη δεύτερη περίπτωση αφήστε $v \in U_i$, $2 \leq i \leq n-1$, να μην είστε μια μονάδα παραγωγής.

Με την εφαρμογή του κανόνα αλυσίδων στον πρώτο παράγοντα (4,8), παράγουμε ένα ποσό πέρα από τις μονάδες $\beta \in U_i$, όπου οι συνδέσεις από το β φθάνουν:

Εάν και οι δύο παράγοντες (4.8) του τσεκουριού αντικατέστησαν, οι του δέλτα τιμές για όλες τις μονάδες $v \in U_i$, $2 \leq i \leq n-1$, που δεν είναι μονάδες παραγωγής καθορίζονται κοντά

$$\delta_v^{(p)} = f'(\text{net}_v^{(p)}) \sum_{v \in U_{i+1}} \delta_v^{(p)} W(v, v). \quad (4.10)$$

Οι εξισώσεις (4.9) και (4.10) παρέχουν μια επαναλαμβανόμενη διαδικασία για να υπολογίσουν τις του δέλτα τιμές για το ολόκληρο δίκτυο. Αυτές οι τιμές χρησιμοποιούνται κατόπιν για να καθορίσουν τις αλλαγές βάρους σύμφωνα με (4,7). Αυτή η διαδικασία αποτελεί το γενικευμένο του δέλτα κανόνα (backpropagation διαδικασία) για feedforward τα δίκτυα με τις μη γραμμικές μονάδες.

Ο γενικευμένος του δέλτα κανόνας μπορεί επίσης να εφαρμοστεί στις προκατειλημμένες τιμές, οι οποίες μπορούν να ερμηνευθούν ως ειδικά βάρη. Το δίκτυο εισήγαγε το καθαρό u του u νευρώνων αποτελείται από το ποσό των σταθμισμένων ενεργοποιήσεων των προηγούμενων νευρώνων και της προκατάληψης $9 u$. Δεδομένου ότι είναι μέρος του ποσού, η προκατάληψη $6 u$ μπορεί να αντιμετωπισθεί δεδομένου ότι ένα ειδικό βάρος μιας σύνδεσης που φθάνει στο u από έναν πρόσθετο νευρώνα $uz -$ είναι δυνατό να πολλαπλασιαστεί η προκατάληψη με τον παράγοντα 1,0, και να ερμηνευθεί αυτός ο παράγοντας ως ενεργοποίηση του $uz -$ αυτό σημαίνει ότι πολυστρωματικό perceptron με τις προκατειλημμένες τιμές είναι ισοδύναμο με πολυστρωματικό perceptron χωρίς προκαταλήψεις αλλά με έναν πρόσθετο νευρώνα Uz με σταθερή ενεργοποίηση 1,0. Ο νευρώνας uz συνδέεται με όλο το άλλο u νευρώνων με τα βάρη $8 u$, όπου το u 8 αντιπροσωπεύει την προκατειλημμένη αξία του u κοινό πολυστρωματικό perceptron χωρίς τον πρόσθετο νευρώνα. Το σχήμα 12 απεικονίζει πολυστρωματικό perceptron χωρίς προκαταλήψεις αλλά με έναν πρόσθετο νευρώνα.

Δεδομένου ότι ο πρόσθετος νευρώνας έχει τις συνδέσεις στα πολλαπλάσια στρώματα, η αρχιτεκτονική πολυστρωματικό perceptron υπό μια ακριβή έννοια χάνεται. Εντούτοις, ούτε για τη διάδοση ούτε για το γενικευμένο του δέλτα κανόνα δεν είναι αυτό το γεγονός οποιασδήποτε σπουδαιότητας. Η ουσιαστική ιδιοκτησία πολυστρωματικό perceptron είναι η έλλειψη κύκλων, αλλά όχι η δομή των στρωμάτων.

Έτσι η backpropagation διαδικασία (ο καθορισμός 4.5) μπορεί να εφαρμοστεί στις προκατειλημμένες τιμές επίσης. Ο πρόσθετος νευρώνας uz πρέπει να επιλεχτεί ως μονάδα u . Για να εκπαιδεύσει την προκατειλημμένη αξία του β το σήμα λάθους δv της κατάρτισης βάρους χρησιμοποιείται, ενώ για τους άλλους όρους στον καθορισμό 4,5 οι ακόλουθες αντικαταστάσεις είναι απαραίτητες:

$$W(u, v) = W(uz, v) = \theta_v$$

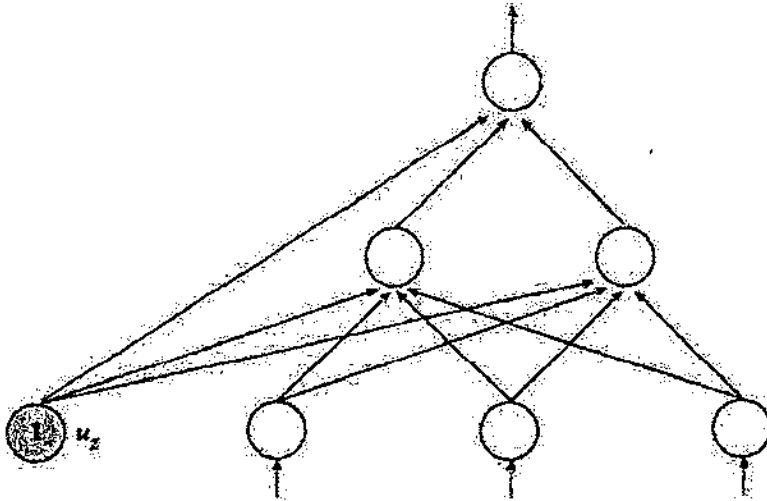
$$\Delta_p W(u, v) = \Delta_p W(uz, v) = \Delta_p \theta_v$$

$$a_u^{(p)} = a_{uz}^{(p)} = 1.$$

4.1.3 Εφαρμογή του backpropagation αλγορίθμου

Η εφαρμογή του backpropagation αλγορίθμου οργανώνεται σε δύο φάσεις:

(i) Στην πρώτη φάση μια εισαγωγή παρουσιάζεται στο δίκτυο. Διαδίδεται διαβιβάστε μέσω του δικτύου για να καθορίσετε την παραγωγή κάθε μονάδας, (ii) το πρώτο βήμα της δεύτερης φάσης είναι να καθορίσει τα σήματα λάθους για τις μονάδες παραγωγής με τη σύγκριση της πραγματικής παραγωγής με την παραγωγή στόχων. Οι αλλαγές βάρους των συνδέσεων που οδηγούν στο στρώμα παραγωγής καθορίζονται, και έπειτα η διαδικασία του οπίσθιου λάθους



Σχήμα 12 πολυστρωματική αντίληψη A με έναν συνεχώς ενεργό πρόσθετο νευρώνα για να εφαρμόσει τις προκατειλημμένες τιμές ως βάρη σύνδεσης

ενάρξεις διάδοσης. Οι τιμές λάθους του στρώματος παραγωγής που σταθμίζεται με τα αντίστοιχα βάρη σύνδεσης είναι στις μονάδες του προηγούμενου κρυμμένου στρώματος. Αυτός ο τρόπος τα σήματα λάθους τους και οι αλλαγές βάρους των συνδέσεων που οδηγούν σε αυτό το στρώμα υπολογίζεται. Η διάδοση λάθους συνεχίζεται έως ότου δεν υπάρχει κανένα κρυμμένο στρώμα που αφήνεται.

Εντούτοις, ο προσδιορισμός των αλλαγών βάρους συνήθως δεν ακολουθεί ακριβώς τη διαδικασία που περιγράφεται στην παραγωγή της διαδικασίας εκμάθησης. Αντ' αυτού, είναι ποικίλος ελαφρώς. Εάν η τελευταία αλλαγή βάρους προκλήθηκε από τη διάδοση του σχεδίου q η νέα αλλαγή δ το π W βάρους (u , β) που προκαλούνται από το επόμενο σχέδιο π καθορίζονται από

$$\Delta_p W(u, v) = \eta \delta_v^{(p)} a_u^{(p)} + \beta \Delta_q W(u, v). \quad (4.11)$$

Η αξία $\eta > 0$ καλείται

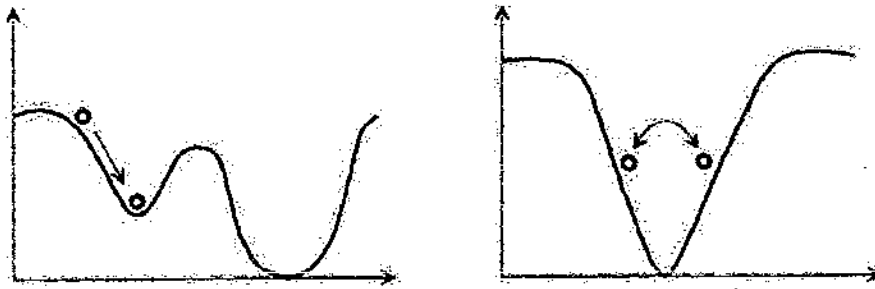
ποσοστό

εκμάθησης και η αξία $\beta > 0$ καλείται ορμή.

Ο πρώτος όρος αντιστοιχεί στην αλλαγή σε βάρη παραγόμενα ανωτέρω. Εντούτοις, μερικές φορές βγάζει ότι ο αλγόριθμος δεν μπορεί να λύσει ένα μαθησιακό πρόβλημα, ή μπορεί να κάνει έτσι μόνο μετά από έναν πολύ μακροχρόνιο χρόνο, εάν τα βάρη αλλάζουν μόνο βάσει αυτού του πρώτου όρου. Η backpropagation μέθοδος προσπαθεί να προσεγγίσει μια κλίση στην πολυδιάστατη επιφάνεια λάθους. Η αξία ρ δείχνει το πλάτος βημάτων που χρησιμοποιείται για την ακολουθία της κλίσης. Έναντι των γραμμικών νευρικών δικτύων που εκπαιδεύονται με τον του δέλτα κανόνα, η επιφάνεια λάθους είναι πύ σύνθετη σε αυτήν την περίπτωση και το ελάχιστο είναι πολύ πύ δύσκολο να βρεί.

Η πολυδιάστατη επιφάνεια λάθους μπορεί να περιέχει πολλές τοπικά ελάχιστα και ξαφνικές ισχυρές αλλαγές στην κατεύθυνση που πρέπει να ακολουθηθούν προκειμένου να επιτευχθεί ένα ελάχιστο. Εάν η αξία που επιλέγεται για το τ είναι πάρα πολύ μεγάλη, το λάθος του δικτύου μπορεί ξαφνικά να αυξηθεί πάλι.

Ο λόγος να είναι παραδείγματος χάριν ότι κατεβαίνοντας σε ένα στενό χάσμα των "βουνών λάθους" πηδάμε συνεχώς πέρα δώθε μεταξύ των τοίχων του χάσματος (αριθμός 13).



Το σχήμα 13 η backpropagation διαδικασία μπορεί να παγιδευτεί στα τοπικά ελάχιστα (αριστερά), ή να ταλαντευτεί επειδή το ποσοστό εκμάθησης είναι πάρα πολύ μεγάλο (δεξιά)

Rumelhart και λοιποί. [Rumelhart et Al, 198γ] προσπαθημένος να φιλτραρίσει έξω τους υψηλής συχνότητας κυματισμούς της επιφάνειας λάθους με να εισαγάγει το δεύτερο όρο μέσα (4,11), ο όρος ορμής. Μέσω της προσθήκης ενός μέρους της τελευταίας αλλαγής βάρους, η διαδικασία εκμάθησης αποκτά την κάποια αδράνεια και τείνει να διατηρήσει την κατεύθυνσή της. Εάν ο αλγόριθμος εκτελεί δύο βήματα στην ίδια κατεύθυνση οι αποτελεσματικές αυξήσεις πλάτους βημάτων, και το λάθος μειώνεται γρηγορότερα. Αφ' ετέρου, εάν η τρέχουσα αλλαγή βάρους ακολουθεί την αντίθετη κατεύθυνση, αυτή η επίδραση αποδυναμώνεται με την προσθήκη ενός μέρους της τελευταίας αλλαγής βάρους, αποφεύγοντας κατά συνέπεια τις ταλαντώσεις. Και τελικά, εάν ο αλγόριθμος πρέπει να διασχίσει μια μεγάλη επίπεδη περιοχή με μη κλίση, η ορμή μπορεί να είναι αρκετές να το πάρει σε ένα μέρος της επιφάνειας λάθους όπου οι πληροφορίες κλίσης μπορούν πάλι να χρησιμοποιηθούν για να μειώσουν το λάθος. Το ποσοστό εκμάθησης μπορεί να είναι επιλεγμένο πολύ μικρό προκειμένου να αποφύγει τα χάσματα, ή στο oscillate μεταξύ των τοίχων του. Αυτός ο τρόπος ο αλγόριθμος γίνεται πιο γερός, και επιτυγχάνει συνήθως το στόχο του γρηγορότερα.

Μια περαιτέρω βελτίωση στην εκμάθηση της ταχύτητας επιτυγχάνεται συνήθως εάν τα βάρη δεν αλλάζουν μετά από κάθε διάδοση σχεδίων, αλλά έως ότου ολοκληρώνεται η ολόκληρη εποχή εκμάθησης. Οι αλλαγές βάρους συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια της εποχής. Αυτό αποφεύγει την κατάσταση όπου οι αλλαγές που προκαλούνται από ένα ορισμένο σχέδιο αντιστρέφονται συνεχώς από άλλα σχέδια. Κατά συνέπεια, η αλλαγή στις συνδέσεις απεικονίζει την επρροή όλων των σχεδίων και: :responds σε μια ακριβέστερη προσέγγιση της καθόδου κλίσης.

Ο προσδιορισμός των παραμέτρων 77 εκμάθησης και (3 εξαρτώνται βαριά από τους παράγοντες όπως το πραγματικό μαθησιακό πρόβλημα και τα αρχικά βάρη. Συνήθως οι τιμές επιλέγονται

: 0 και 1 όπου 77 είναι πολύ μικρότερο από/3 (e.g. $\eta = 0.05$, $\beta = 0.9$). Η επιλογή

: εκτιμεί πάρα πολύ μεγάλος ή πάρα πολύ μικρός μπορεί αρκετά να καθυστερήσει ή ακόμα και να αποτρέψει έναν επιτυχή
- arning έκβαση.

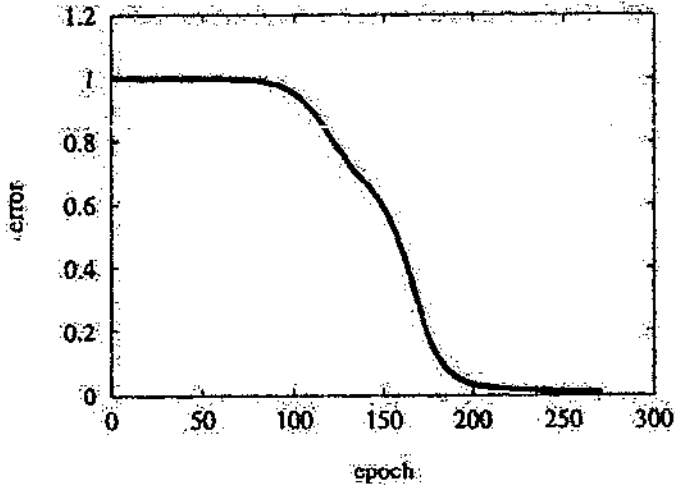
Στη λογοτεχνία η backpropagation έκδοση που δίνεται στον καθορισμό 4,5 καλείται συνήθως για in backpropagation, ή backpropagation "vanilla". Η έκδοση παποκαλούμενο backpropagation με την ορμή, ή η συζευγμένη μέθοδος κλίσης. Υπάρχουν διάφορες άλλες βελτιώσεις σαφές backpropagation. Quickpropagation, παραδείγματος χάριν, υποθέτει την επιφάνεια λάθους για να είναι τετραγωνική στη μορφή. Είναι έπειτα δυνατό να υπολογιστεί το "ακριβές" ελάχιστο από την τρέχουσα θέση και τις πληροφορίες κλίσης, και πηδά άμεσα σε αυτό το σημείο. Φυσικά, η επιφάνεια λάθους δεν είναι usally τετραγωνική, και επομένως αυτή η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί. Για μερικά προβλήματα το quickpropagation είναι γρηγορότερο από backpropagation. Για να προσαρμόσει τη διαδικασία εκμάθησης στην αλλαγή στο λάθος, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί για κάθε βάρος ένα προσαρμοστικό ποσοστό εκμάθησης που αυξάνεται όταν μειώνεται το λάθος, και αντίστροφα (κανόνας SuperSAB ή κανόνας δεπτα-φραγμός-δέλτα). Με το συνδυασμό των ιδεών των προσαρμοστικών ποσοδτών και του quickpropagation εκμάθησης, το ένα λαμβάνει την resiliient διάδοση (Rprop). Αυτό είναι συνήθως η γρηγορότερη διαδικασία εκμάθησης βασισμένη backpropagation για πολλά μαθησιακά προβλήματα.

Για όλες backpropagation τις παραλλαγές υπάρχει το πρόβλημα τις παραμέτρους εκμάθησης. Ακόμη και με μια κατάλληλη επιλογή η επιτυχής εκμάθηση δεν είναι εγγυημένη. Δεδομένου ότι η επιφάνεια λάθους μπορεί να περιέχει πολλά τοπικά ελάχιστα, είναι δυνατό για τον αλγόριθμο να προσελκυστεί από ένα τέτοιο ελάχιστο και να επιτευχθεί ποτέ το σφαιρικό ελάχιστο. Backpropagation ή κλίσης οι μέθοδοι γενικά είναι ευρετικές διαδικασίες που μπορούν να περιγραφούν ως εξής:προσπαθούν να βρουν τη βαθύτερη κοιλάδα σε μια σειρά βουνών με αποκλειστικά να περπατήσουν προς τα κάτω από την αφετηρία τους. Όταν φθάνουν στο κατώτατο σημείο μιας κοιλάδας η διαδικασία αποβάλλει. Δεν φροντίζουν εάν υπάρχει μια βαθύτερη κοιλάδα κάπου στα βουνά (αριθμός 13). Έτσι, ανάλογα με την έναρξη του W, ο backpropagation αλγόριθμος μπορεί μερικές φορές να πετύχει και να αποτύχει μερικές φορές στο ίδιο

			U_2		U_3
		bias	u_{21}	u_{22}	u_{31}
U_1	u_{11}		-0.50	-0.44	
	u_{12}		-0.22	-0.09	
U_2	u_{21}	0.00			0.05
	u_{22}	0.00			0.16
U_3	u_{31}	0.00			

input	goal	output	
		before	after
(0,0)	0	0.53	0.04
(0,1)	1	0.52	0.95
(1,0)	1	0.52	0.95
(1,1)	0	0.52	0.06

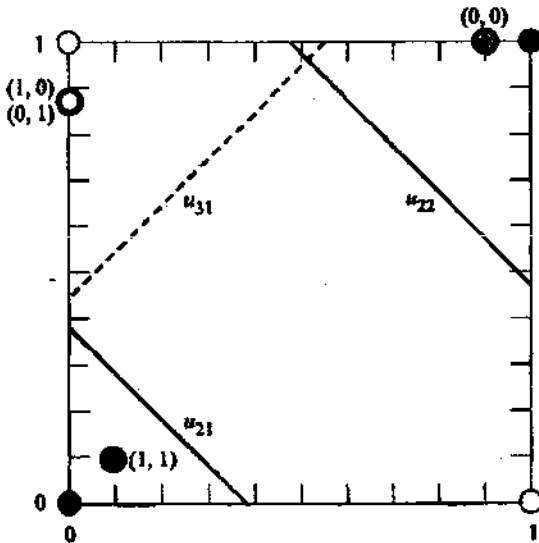
Πίνακας 2 παραγωγή για το πρόβλημα XOR



Σχήμα 14 ανάπτυξη του λάθους μαθαίνοντας το πρόβλημα XOR

Όπως μπορεί να φανεί στο παράδειγμα 4.6 τα αποτελέσματα στόχων 0 και 1 δεν επιτυγχάνονται ακριβώς. Εξετάζοντας τη λειτουργία ενεργοποίησης που επιλέγεται είναι προφανές ότι μια μονάδα μπορεί να υποθέσει τις τιμές 0 ή 1 μόνο για τις αρνητικές ή θετικές άπειρες εισαγωγές δικτύων, αντίστοιχα. Αυτό σημαίνει ότι οι απόλυτες τιμές των βαρών θα έπρεπε να αυξηθούν στο άπειρο. Είναι επομένως χρήσιμο να επιτραπεί μια οριακή απόκλιση από τα αποτελέσματα στόχων για να μην απαιτηθεί να συνεχιστεί η διαδικασία εκμάθησης αιώνια. Ένας άλλος τρόπος να αποφευχθεί αυτό το πρόβλημα είναι να κωδικοποιηθούν εκ νέου τα σχέδια και να χρησιμοποιηθούν οι τιμές από παραδείγματος χάριν [0.2, 0.8] για τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα στόχων. Είναι επίσης δυνατό να χρησιμοποιηθούν οι sigmoid λειτουργίες ενεργοποίησης που πλησιάζουν ασυμπτωτικά —το a και το a , αντίστοιχα, με $a > 1$, και το fromto τιμών χρήσης $[-1, 1]$ αντιπροσωπεύει χαρακτηριστικά γνωρίσματα στόχων.

Σχήμα 15 η πολυστρωματική αντίληψη μετά από να λύσει το πρόβλημα XOR



Σχήμα 16 γραφική απεικόνιση της λύσης του προβλήματος XOR

Προκειμένου να εξεταστεί πώς πολυστρωματικό perceptron λύνει το πρόβλημα XOR εξετάζουμε hyperplanes που αντιπροσωπεύονται από τις κρυμμένες μονάδες και τις μονάδες παραγωγής. Επειδή το μαθησιακό πρόβλημα είναι δισδιάστατο, λαμβάνουμε μια γραμμή στο πραγματικό αεροπλάνο για κάθε μονάδα (σχήμα 16). Η γραμμική μονάδα "μ παραδείγματος χάριν δίνεται από την εξίσωση (σχήμα 15)

$$u_{21} : z = \frac{6.04}{6.07}x - \frac{2.35}{6.07}$$

Οι δύο στερεές γραμμές στο σχήμα 16 ορίζονται στις δύο κρυμμένες μονάδες U21 και U22 και η ορμούμενη γραμμή ανήκει στη μονάδα παραγωγής U31. Αναγνωρίζουμε ότι τα σημεία (0,0) και (1,1) χωρίζονται από τα σημεία (0,1) και (1,0) από τις γραμμές U21 και U22-εξέτασης των ενεργοποιήσεων των κρυμμένων μονάδων για κάθε σχέδιο εισαγωγής, λαμβάνουμε τα σημεία που χαρακτηρίζονται στην τολμηρή περίληψη. Τα σημεία (0,1) και (1,0) είναι και τα δύο που χαρτογραφούνται στο σημείο (0.02,0.87). Με τη χαρτογράφηση των σχεδίων εισαγωγής στα σχέδια ενεργοποίησης του κρυμμένου στρώματος, η μονάδα παραγωγής u31 είναι σε θέση να χωρίσει και τις δύο κατηγορίες από τη γραμμή που ορίζεται σε σε Πολυστρωματικό perceptron με τις μονάδες εισαγωγής ν και ένα κρυμμένο στρώμα με τις μονάδες μ μετασχηματίζει ένα γραμμικά μη-ευδιαχώριστο πρόβλημα σε ένα γραμμικά ευδιαχώριστο πρόβλημα από μια χαρτογράφηση από το ρ στο ρ μ. Αυτό το πρόβλημα μπορεί έπειτα να λυθεί επιτυχώς από τη μονάδα παραγωγής με τη βοήθεια μ-διαστατικό hyperplane που ορίζεται σε το. Εάν το δίκτυο περιέχει τις πολλαπλάσιες μονάδες παραγωγής, η χαρτογράφηση στο κρυμμένο στρώμα πρέπει να εξασφαλίσει ότι τα σχέδια ενεργοποίησης καθορίζουν ένα γραμμικά ευδιαχώριστο πρόβλημα για κάθε μονάδα παραγωγής.

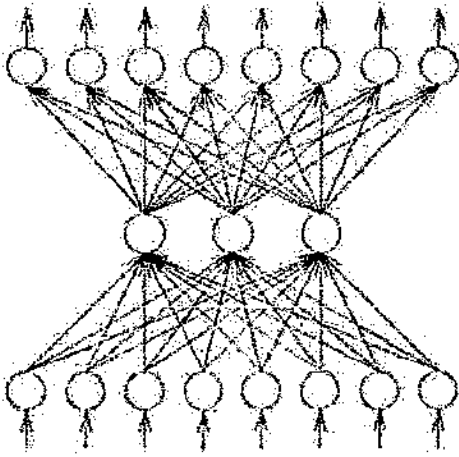
Το παράδειγμα 4.7 ένα άλλο μαθησιακό πρόβλημα που χρησιμοποιείται συχνά για να εξετάσει μια εφαρμογή πολυστρωματικό perceptron είναι ο κωδικοποιητής 8-3-8. Με αυτό το πρόβλημα το δίκτυο πρέπει να παραγάγει μια κρυμμένη αντιπροσώπευση 1-of-8 code. Σαν παραγωγή πρέπει ακριβώς να αναπαραγάγει

το σχέδιο εισαγωγής. Τα σχέδια εισαγωγής είναι δυαδικά διανύσματα που περιέχουν ένα ενιαίο 1. Με τις μονάδες εισαγωγής και παραγωγής ν το δίκτυο περιέχει ένα κρυμμένο στρώμα με το κούτσουρο 2 μονάδες ν (σχήμα 17). Αυτός ο τρόπος το δίκτυο πρέπει να μάθει να κωδικοποιεί ένα σχέδιο ν-κομματιών με το α (κούτσουρο σχέδιο 2 Ν)-κομματιών και για να το αποκωδικοποιήσει κατόπιν.

Πίνακας 3 κρυμμένη αντιπροσώπευση για το πρόβλημα κωδικοποιητών 8-3-8

input pattern		hidden layer				output pattern
10000000	→	0.0	1.0	0.6	→	10000000
01000000	→	1.0	1.0	1.0	→	01000000
00100000	→	0.2	0.6	0.0	→	00100000
00010000	→	1.0	1.0	0.2	→	00010000
00001000	→	1.0	0.0	0.1	→	00001000
00000100	→	0.0	0.0	0.3	→	00000100
00000010	→	1.0	0.0	1.0	→	00000010
00000001	→	0.0	0.3	1.0	→	00000001

Έχουμε εκπαιδεύσει πολυστρωματικό perceptron με το πρόβλημα κωδικοποιητών 8-3-8. Μια λύση είναι να κωδικοποιηθεί ένα οκτάμπιτο σχέδιο εισαγωγής από 3 μπιτ και να αποκωδικοποιηθεί στον αρχικό

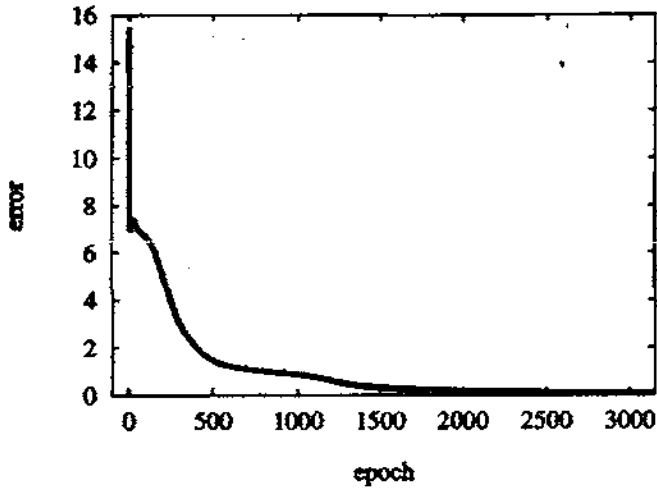


Σχήμα 17 πολυστρωματικό perceptron A για να λύσει το πρόβλημα κωδικοποιητών 8-3-8

Σχέδιο s-kommatijw'n. Ο πίνακας 3 περιέχει τις αναθέσεις που εκτελούνται από το δίκτυο. Το λάθος απεικονίζεται στο σχήμα 18. Το δίκτυο εκπαιδεύθηκε για 3150 εποχές με ένα ποσοστό εκμάθησης $R) = 0.05$: του IND που μια ορμή of After $\beta = 0.9$ που εκπαιδεύει αυτό έφθασε σε ένα σφαιρικό λάθος Στην παραγωγή το δίκτυο παρήγαγε τις τιμές μικρότερες από 0,1 και μεγαλύτερες από 0,9 για τις απαραίτητες τιμές 0 και 1, αντίστοιχα. Στον πίνακα 3 τα αποτελέσματα στρογγυλεύονται σε 0 και 1. Η ενεργοποίηση των κρυμμένων μονάδων είναι υποδειγμένη σε μια δεκαδική θέση. Ο Όπως το παράδειγμα 4.7 επισημαίνει, το δίκτυο εκμεταλλεύεται την ευκαιρία να χρησιμοποιηθούν οι τιμές μεταξύ 0 και 1 ως ενεργοποιήσεις. Αυτό σημαίνει ότι πολυστρωματικό perceptron δεν παράγει τον καθαρό δυαδικό κώδικα αν και ο backpropagation αλγόριθμος βρίσκει επίσης τις λύσεις που έχουν μόνο τις ενεργοποιήσεις (περίπου) 0 και 1 στο κρυμμένο στρώμα. Εντούτοις, σε πολλές άλλες λύσεις οι ενδιάμεσες τιμές εμφανίζονται.

Ένα άλλο ενδιαφέρον πείραμα προκύπτει από την ερώτηση πώς πολυστρωματικό perceptron αντιδρά σε ένα αντιφατικό μαθησιακό πρόβλημα. Οι αντιφάσεις στα σχέδια εμφανίζονται όπου υπάρχουν δύο ή περισσότερα σχέδια με τα ίδια σχέδια εισαγωγής αλλά διαφορετικά σχέδια παραγωγής. Δεδομένου ότι ένα παράδειγμα εξετάζει την ταξινόμηση των συμπτωμάτων ασθένειας των ασθενών. Λαμβάνοντας υπόψη ένα σύνολο παρατηρηθέντων συμπτωμάτων, θα μπορούσε να είναι δυνατό ότι επτά από τους EN ασθενείς πάσχουν από την ασθένεια A ενώ οι υπόλοιποι τρεις ασθενείς έχουν την ασθένεια B. Εάν αντιπροσωπεύουμε τα παρατηρηθέντα συμπτώματα ως σχέδια εισαγωγής, και ρωτάμε ένα εκπαιδευμένο δίκτυο για μια διάγνωση, θα αναμέναμε κάτι σαν μια ενεργοποίηση 0,7 για τη μονάδα παραγωγής που αντιπροσωπεύει την ασθένεια A, και μια ενεργοποίηση 0,3 για τη μονάδα παραγωγής που αντιπροσωπεύει την ασθένεια B.

Τώρα η ερώτηση προκύπτει εάν πολυστρωματικό perceptron είναι σε θέση να αντιδράσει κατάλληλα στα αντιφατικά μαθησιακά προβλήματα, ή εάν είναι απαραίτητο να αφαιρεθούν οι αντιφάσεις από τα στοιχεία κατάρτισης.



Σχήμα 18 το λάθος μαθαίνοντας το πρόβλημα κωδικοποιητών 8-3-8

Παράδειγμα 4.8 εξετάζουμε πολυστρωματικό perceptron με δέκα μονάδες εισαγωγής, δέκα κρυμμένες μονάδες και επτά μονάδες παραγωγής. Επιλέγουμε τυχαία τέσσερα δυαδικά διανύσματα ως σχέδια εισαγωγής. Για κάθε σχέδιο εισαγωγής δημιουργούμε διάφορα διαφορετικά δυαδικά σχέδια παραγωγής, έτσι ώστε λαμβάνουμε τα αντιφατικά εποπτευμένα μαθησιακά προβλήματα με 52 σχέδια συνολικά. Πρώτα τα τρία από τα τυχαία επιλεγμένα σχέδια εισαγωγής μας συνδέονται με τα σχέδια παραγωγής, όπου κάθε ένα περιέχει ένα ενιαίο μόνο. Το τέταρτο σχέδιο συνδέεται με τα διανύσματα παραγωγής, κάθε ένα που περιέχει διάφορους αυτούς. Ο πίνακας 4 παρουσιάζει τα τέσσερα διαφορετικά σχέδια εισαγωγής, τη συχνότητά τους στο μαθησιακό πρόβλημα, και συνολικό αριθμό αυτών ανά μονάδα παραγωγής που εμφανίζεται στα σχέδια παραγωγής.

Πίνακας 4 συχνότητα των αυτών στο αντιφατικό μαθησιακό πρόβλημα

no.	input pattern	frequency	number of ones per output unit
1	(1010011010)	16	1, 2, 3, 4, 3, 2, 1
2	(1101011101)	17	2, 4, 2, 1, 2, 4, 2
3	(0010100101)	14	2, 5, 3, 2, 1, 1, 0
4	(0101010101)	5	2, 5, 3, 2, 1, 1, 0

Δεδομένου ότι τα αποτελέσματα πολυστρωματικό perceptron είναι από $[0, 1]$, μπορεί να λύσει τις αντιφάσεις του μαθησιακού προβλήματος με την απεικόνιση της διανομής συχνότητας των αυτών στα σχέδια παραγωγής. Επομένως αναμένουμε τα τέσσερα διανύσματα παραγωγής που απεικονίζονται στον πίνακα 5. Λόγω των αντιφατικών σχεδίων το λάθος δεν μπορεί να μειωθεί σε μηδέν από

no.	expected output	actual output
1	0.06, 0.13, 0.19, 0.25, 0.19, 0.13, 0.06	0.06, 0.12, 0.19, 0.25, 0.19, 0.13, 0.06
2	0.12, 0.24, 0.12, 0.06, 0.12, 0.24, 0.12	0.12, 0.24, 0.12, 0.06, 0.12, 0.24, 0.12
3	0.14, 0.36, 0.21, 0.14, 0.07, 0.07, 0.00	0.14, 0.36, 0.21, 0.14, 0.07, 0.07, 0.01
4	0.40, 1.00, 0.60, 0.40, 0.20, 0.20, 0.00	0.40, 0.99, 0.60, 0.40, 0.20, 0.20, 0.01

διαδικασία εκμάθησης. Εάν εξετάζουμε τα αναμενόμενα διανύσματα παραγωγής και καθορίζουμε το λάθος των σχεδίων παραγωγής όσον αφορά αυτά τα διανύσματα παραγωγής, το ελάχιστο πιθανό λάθος είναι 43.42479.

Πίνακας 5 αναμενόμενα και πραγματικά αποτελέσματα για το αντιφατικό μαθησιακό πρόβλημα

Η εκμάθηση εκτελέστηκε με ένα ποσοστό εκμάθησης $\eta = -0,01$ και μια ορμή $3 = 0,9$. Μετά από 609 εποχές ένα λάθος 43.42854 επιτεύχθηκε και η διαδικασία εκμάθησης αποβλήθηκε. Εάν εξετάζουμε τα πραγματικά αποτελέσματα που απεικονίζονται στον πίνακα 5 αναγνωρίζουμε

αυτών πολυστρωματικό perceptron διαχειρίστηκε το αντιφατικό μαθησιακό πρόβλημα. Τα αποτελέσματα διαφέρουν μόνο ελαφρώς από τις σχετικές συχνότητες της αξίας 1 στην παραγωγή στόχων σχέδια.

4.1.5 Πολυστρωματικά perceptrons ως καθολικό Approximators

Έναντι συνηθισμένα perceptrons, πολυστρωματικά perceptrons έχουν το πλεονέκτημα γραμμικά τα μη-ευδιαχώριστα μαθησιακά προβλήματα όπως το πρόβλημα XOR επίσης. Εντούτοις, δεν υπάρχει κανένα θεώρημα για πολυστρωματικά perceptrons που είναι ανάλογο με το θεώρημα σύγκλισης ihe για perceptrons [Rosenblatt, 1962]. Ο backpropagation αλγόριθμος μπορεί να παγιδευτεί στα τοπικά ελάχιστα, και επομένως μια διαδικασία εκμάθησης μπορεί να αποτύχει να λύσει το μαθησιακό πρόβλημα, ακόμα κι αν είναι διαλυτός από πολυστρωματικό perceptron σε γενικές γραμμές.

Που είναι εκεί περισσότερες λειτουργίες που μπορούν να πραγματοποιηθούν από πολυστρωματικά perceptrons απ'ό,τι από συνηθισμένα perceptrons παρουσιάζονται ήδη από το πρόβλημα XOR. Το ακόλουθο θεώρημα - ποσοστά που, σε γενικές γραμμές, με τις πολυστρωματικές perceptron αυθαίρετες συνεχείς λειτουργίες προσεγγίζεται.

Το θεώρημα 4,9 άφησε $\psi : [0, 1]^n \rightarrow [0, 1]$ να είναι μια συνεχής λειτουργία. Κατόπιν υπάρχει το α πολυστρωματικό perceptron με τους νευρώνες εισαγωγής n και έναν νευρώνα παραγωγής που προσεγγίζει την $IP \cdot \epsilon$ τη αυθαίρετη ακρίβεια, δηλ. για το κάθε $\epsilon > 0$ υπάρχει πολυστρωματικό perceptron που

$$\int_{[0,1]^n} |\psi(x) - \varphi_\epsilon(x)| dx < \epsilon.$$

πραγματοποιεί τη λειτουργία $tr\epsilon$ με

Οι νευρώνες εισαγωγής και ο νευρώνας παραγωγής μπορούν να έχουν τις γραμμικές λειτουργίες ενεργοποίησης.

Απόδειξη: Πρώτα εξετάζουμε ότι μόνο η υπόθεση $n = 1$. άφησε $\epsilon > 0$ να δοθεί. Δεδομένου ότι η IP είναι α

οπίσιους λειτουργία, υπάρχει ένας φυσικός αριθμός μ έτσι ώστε μπορούμε να επιλέξουμε $\mu + 1$

$$0 = x_0 < x_1 < \dots < x_m = 1 :$$

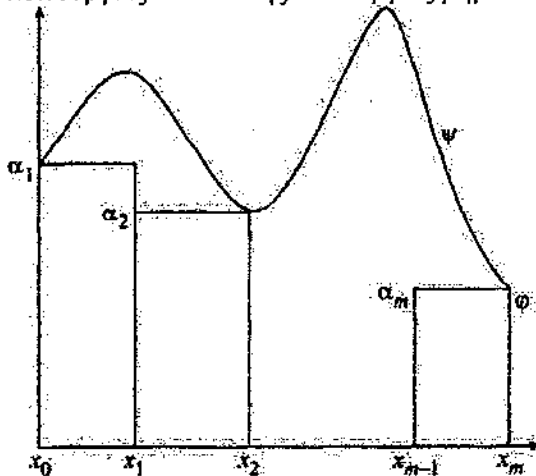
πραγματικοί αριθμοί

κατά τέτοιο τρόπο ώστε για τη λειτουργία

$$\varphi(x) = \inf\{\psi(x') \mid x_i \leq x' \leq x_{i+1}\}, \quad \text{for } x_i < x \leq x_{i+1},$$

$$\int_0^1 |\psi(x) - \varphi(x)| dx = \int_0^1 \psi(x) dx - \int_0^1 \varphi(x) dx < \frac{\epsilon}{2} \quad (4.12) \quad \varphi : [0, 1] \rightarrow [0, 1],$$

κρατά. Για τεχνικούς λόγους πρέπει να προσθέσουμε τον καθορισμό $\varphi(0) = 0$. Ο ακέραιος/το $\int_0^1 \psi(x) dx$ αντιστοιχεί στο ποσό Riemann του ψ . Το σχήμα 19 διευκρινίζει τη σχέση μεταξύ της συνεχούς λειτουργίας IP και της λειτουργίας βημάτων φ του σελ.



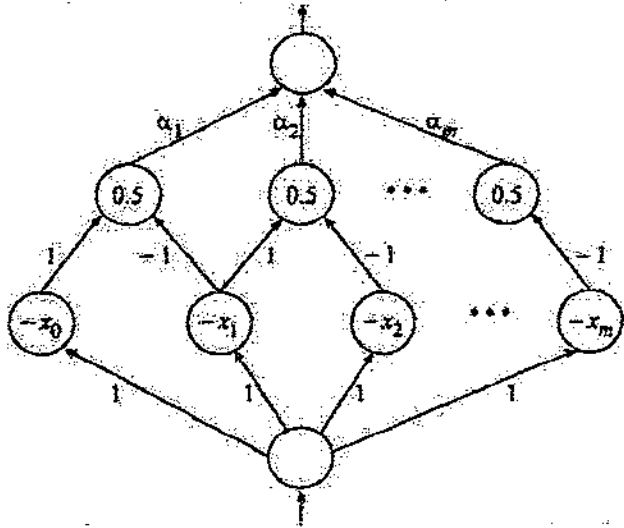
Σχήμα 19 η συνεχής λειτουργία IP και η λειτουργία βημάτων φ το π

Τώρα μπορούμε να διευκρινίσουμε τροποποιημένο πολυστρωματικό perceptron που εφαρμόζει τη λειτουργία tr . Η τροποποίηση βρίσκεται στη χρήση μιας γραμμικής λειτουργίας κατώτατων ορίων με το κατώτατο όριο 0 ως λειτουργία ενεργοποίησης για τους κρυμμένους νευρώνες. Μια γραμμική λειτουργία ενεργοποίησης ορίζεται στο νευρώνα εισαγωγής και παραγωγής. Το σχήμα 20 απεικονίζει τροποποιημένο πολυστρωματικό perceptron. Έχει δύο κρυμμένα στρώματα με $\mu +$ νευρώνες l και μ αντίστοιχα. Οι τιμές μέσα σε κάθε νευρώνα δείχνουν την προκατάληψη του νευρώνα. Το βάρος $\alpha_i = \varphi(x_{i-1})$ ($i = 1, \dots, m$) αντιπροσωπεύει την αξία της λειτουργίας βημάτων tr στο διάστημα $(x_{i-1}, x_i]$.

Για την εισαγωγή $x \in (x_i, x_{i+1})$ το κράτος l ενεργοποίησης οδηγεί για τους νευρώνες του πρώτου το κρυμμένο στρώμα με την προκατάληψη εκτιμεί $-x_0, \dots, -x_i$. τους υπόλοιπους νευρώνες αυτού του στρώματος

πάρτε την ενεργοποίηση 0. Τόσο μόνο εκείνος ο νευρώνας του δεύτερου κρυμμένου στρώματος που

συνδέεται με το νευρώνα παραγωγής μέσω του βάρους α_{i+1} έχει μια ενεργοποίηση 1. Κατά συνέπεια, έχουμε δείξει ότι τροποποιημένο πολυστρωματικό perceptron εφαρμόζει τη λειτουργία tr . Η ιδέα αυτού του νευρικού δικτύου είναι η ακόλουθη. Ο νευρώνας με την προκατάληψη $-XI$ του πρώτου κρυμμένου στρώματος αποφασίζει εάν η αξία X εισαγωγής είναι μεγαλύτερη από XI . Στο δεύτερο κρυμμένο στρώμα ακριβώς ότι ο νευρώνας ενεργοποιείται που συνδέεται με τους δύο νευρώνες του προηγούμενου στρώματος με τις προκατειλημμένες τιμές $x_i < x$ και $x_{i+1} \geq x$. κατ' αυτό τον τρόπο η αξία α_{i+1} δίνεται



Σχήμα 20 η τροποποιημένη αρχιτεκτονική πολυστρωματικό perceptron

Η γραμμική λειτουργία κατώτατων ορίων αντικαθίσταται τώρα από μια sigmoid λειτουργία ενεργοποίησης

$$\text{της μορφής} \quad f(x) = \frac{1}{1 + e^{-\beta x}}. \quad (4.13)$$

Για $\beta \rightarrow \infty$ αυτή η sigmoid ενεργοποίηση λειτουργία συγκλίνει σχεδόν παντού ενάντια στη γραμμική λειτουργία κατώτατων ορίων με το κατώτατο όριο 0,

Αφήστε $\langle pW \rangle$ να είναι η λειτουργία που εφαρμόζεται από πολυστρωματικό perceptron από το σχήμα 20. Αλλά σε αυτήν την περίπτωση (4.13) χρησιμοποιείται ως λειτουργία ενεργοποίησης για τους κρυμμένους νευρώνες. Λόγω των συνεχών υπολογισμών που χρησιμοποιούνται για τη διάδοση μέσα πολυστρωματικά perceptron $\langle pW \rangle$ συγκλίνει για $\beta \rightarrow \infty$ σχεδόν παντού tr . Από $\langle p \rangle$

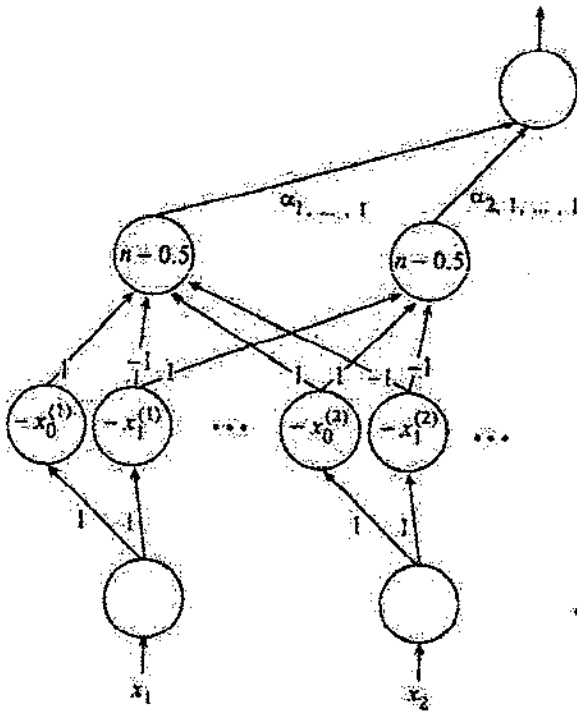
είναι λευσεγμε-ηντεγραψλε, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το θεώρημα Lebesgue για να λάβουμε

$$\lim_{\beta \rightarrow \infty} \int_0^1 \varphi^{(\beta)}(x) dx = \int_0^1 \varphi(x) dx.$$

Κατά συνέπεια, υπάρχουν $\theta \in \epsilon$ έτσι ώστε

$$\int_0^1 |\varphi^{(\beta\epsilon)}(x) - \varphi(x)| dx < \frac{\epsilon}{2}.$$

Χρησιμοποιώντας (4.12) λαμβάνουμε



Σχήμα 21 τροποποιημένο A πολυστρωματικό perceptron για ένα πολυδιάστατο βήμα λειτουργία $< \epsilon$.

Έτσι το θεώρημα αποδεικνύεται για $v = 1$. Για $v > 1$ η απόδειξη προχωρά ανάλογα. Αντί του χωρισμού του διαστήματος μονάδων, για $v > 1$ η μονάδα hypercube $[0, 1]^v$ πρέπει να διαιρεθεί κοντά

$$\begin{matrix} 0 = x_0^{(1)} < x_1^{(1)} < \dots < x_m^{(1)} = 1 \\ \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 = x_0^{(n)} < x_1^{(n)} < \dots < x_m^{(n)} = 1 \end{matrix}$$

στο μ hyperboxes . . . της μορφής

$$Q_{i_1, \dots, i_\mu} = \{x \in [0, 1]^n \mid \forall j \in \{1, \dots, n\} : x_{i_j-1}^{(j)} \leq x_j \leq x_{i_j}^{(j)}\}.$$

Η λειτουργία βημάτων $< \epsilon$ αναλαμβάνουν το ελάχιστο της λειτουργίας IP στην αντιστοιχία hyperbox. Τροποποιημένο πολυστρωματικό perceptron που εφαρμόζει αυτήν την λειτουργία είναι διευκρινισμένο στο σχήμα 21. Είναι βασισμένο στην ίδια ιδέα με το νευρικό δίκτυο στο σχήμα 20

για τη μονοδιάστατη λειτουργία βημάτων, και έχουμε

$$\alpha_{i_1, \dots, i_\mu} = \inf\{\psi(x) \mid x \in Q_{i_1, \dots, i_\mu}\}.$$

$n = 1.$

Το υπόλοιπο της απόδειξης είναι το ίδιο όπως για την περίπτωση ; Πολυστρωματικά perceptrons είναι στην πραγματικότητα καθολικά approximators υπό την έννοια ότι μπορούν να προσεγγίσουν τις συνεχείς λειτουργίες στη μονάδα hypercube με την αυθαίρετη ακρίβεια. Κατά συνέπεια, η κατηγορία λειτουργιών που μπορεί να εφαρμοστεί από πολυστρωματικά perceptrons είναι σημαντικά μεγαλύτερη έναντι συνηθισμένα perceptrons. Εντούτοις, δεν υπάρχει κανένα τέτοιο πράγμα όπως ένα ελεύθερο μεσημεριανό γεύμα και η τιμή που καταβάλλεται βρίσκεται στις αδυναμίες του backpropagation αλγόριθμου. Ακόμα κι αν χρησιμοποιούμε αρκετά μεγάλο πολυστρωματικό perceptron για να εφαρμόσουμε τη συνεχή λειτουργία IP το λάθος του νευρικού δικτύου μετά από τη διαδικασία κατάρτισης να είναι μεγάλο, επειδή backpropagation μπορεί να παγιδευτεί σε ένα τοπικό ελάχιστο της λειτουργίας λάθους.

Ένα άλλο πρόβλημα είναι να επλεχτεί ο αριθμός κρυμμένων στρωμάτων και να αποφασιστεί πόσους νευρώνες πρέπει να περιέχουν. Για την απόδειξη του θεωρήματος 4,9 δύο κρυμμένα στρώματα απαιτούνται. Εντούτοις, μπορεί επίσης να αποδειχθεί ότι μόνο ένα κρυμμένο στρώμα είναι επαρκές για να προσεγγίσει τις αυθαίρετες συνεχείς λειτουργίες με πολυστρωματικό perceptron. Οι συζητήσεις αυτού μπορούν να βρεθούν μέσα [Funahashi, 1989, χεθχι-νηελσεν, 1989, χεθχι-νηελσεν, 1990, Hornik et Al,

1989, Hornik et Al, 1990, λευκό, 1990].

Γενικά είναι αδύνατο με τα πρακτικά προβλήματα να καθορισθεί ο αριθμός νευρώνων στα κρυμμένα στρώματα βάσει των αποδείξεων όπως στο θεώρημα 4.9. Ειδικά από τη λειτουργία η IP που πρόκειται να προσεγγιστεί συνήθως είναι μόνο γνωστή σε μερικά σημεία υποστήριξης. Ο αριθμός κρυμμένων νευρώνων επομένως καθορίζεται συχνά με την κατάρτιση διάφορων πολυστρωματικών perceptrons με έναν διαφορετικό αριθμό κρυμμένων νευρώνων. Ένας μεγάλος αριθμός τέτοιων νευρώνων εγγυάται ότι οι σύνθετες λειτουργίες μπορούν επίσης να εφαρμοστούν. Εντούτοις, η διαδικασία εκμάθησης παρατείνεται αρκετά και μερικές φορές δεν ολοκληρώνει καθόλου. Επιπλέον, όπως επισημαίνεται ήδη, η γενίκευση μέσα τα δίκτυα είναι συνήθως αρκετά κακή δεδομένου ότι μαθαίνουν μόνο τα δεδομένα σχέδια ή τα σημεία υποστήριξης, παρέχοντας τα απροσδόκητα αποτελέσματα για τις τιμές ενδιάμεσα. Αυτό είναι παρόμοιο με τα πολυώνυμα παρεμβολής υψηλός-βαθμού που τείνουν στις ταλαντώσεις.

4.2 Ακτινωτές λειτουργίες βάσης

Στο προηγούμενο τμήμα πολυστρωματικά perceptrons είδαμε πώς ένα νευρικό δίκτυο χειρίζεται την ταξινόμηση των στοιχείων. Διαιρεί το διάστημα εισαγωγής με τη χρησιμοποίηση hyperplanes. Η κατηγορία σημείων στοιχείων εξαρτάται από τις θέσεις τους σχετικά με hyperplanes. Αυτό το είδος διαδικασίας αντιστοιχεί σε μια σφαιρική άποψη: όλα τα σημεία στην ίδια πλευρά hyperplane ανήκουν στην ίδια κατηγορία όσον αφορά αυτό το ειδικό hyperplane. Αυτή η σφαιρική ταξινόμηση μπορεί να προκαλέσει τα προβλήματα, εντούτοις. Παραδείγματος χάριν, είναι δυνατό ότι τα σημεία μετρούνται ως μέλη μιας κατηγορίας ακόμα κι αν είναι, παραδείγματος χάριν, έξω από την εξεταζόμενη περιοχή. Το σχήμα 22 (α) εξηγεί αυτήν την κατάσταση.

Οι δύο κατηγορίες από τη σφαιρική ταξινόμηση επίσης. Η λάθος ταξινόμηση αποδεικνύεται ένα πρόβλημα εάν το στοιχείο για την κατάρτιση copies μόνο από τη χαρακτηρισμένη περιοχή, αλλά μια έγκυρη ταξινόμηση για το ολόκληρο x - y αεροπλάνο αναμένεται. Το λάθος βρίσκεται στα μη-αντιπροσωπευτικά στοιχεία κατάρτισης.

Αυτή η κατάσταση μπορεί να αντιμετωπιστεί καλύτερα από μια τοπική ταξινόμηση (σχήμα 22 (β)). Δύο κυκλικές περιοχές καθορίζονται. Ένας από τους περικυκλώνει τη θετική κατηγορία. Άλλο το ένα περιλαμβάνει την αρνητική κατηγορία. Τα σημεία έξω από αυτούς τους κύκλους μπορούν να απορριφθούν όπως "άγνωστα" και να αντιμετωπιστούν χωριστά. Κατ' αυτό τον τρόπο οι λάθος ταξινομήσεις που περιγράφονται ανωτέρω αποφεύγονται. Είναι συνήθως προτιμητέο να ληφθεί η παραγωγή "άγνωστη" αντί μιας λανθασμένης ταξινόμησης, ακόμα κι αν μια μοναδική ανάθεση ήταν δυνατή.

Οι περιοχές που χρησιμοποιούνται για την ταξινόμηση δεν είναι γενικά αυθαίρετης μορφής αλλά ακτινωτού συμμετρικού. Στο διδιάστατο διάστημα το αποτέλεσμα είναι ένας κύκλος, όπως φαίνεται στο παράδειγμά μας. Στη n -διαστατική περίπτωση εξετάζουμε hyperspheres. Οι ακτινωτές συμμετρικές (ακτινωτές) λειτουργίες χρησιμοποιούνται για να αντιπροσωπεύσουν τις συστάδες. Μια τέτοια λειτουργία έχει ένα κέντρο όπου υποθέτει την υψηλότερη απόλυτη αξία του. Μακριά από αυτό το κέντρο η απόλυτη αξία της λειτουργίας μειώνεται συνεχώς σε όλες τις κατευθύνσεις και πλησιάζει μηδέν. Γι' αυτό αυτές οι λειτουργίες καλούνται επίσης κεντρικές λειτουργίες.

Το παράδειγμα 4.10 οι ακόλουθες λειτουργίες στο $\rho = 1$ είναι ακτινωτό συμμετρικό γύρω από το $\gamma, \delta, c(\gamma > 0)$:

$$(i) h_c(x) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2}(x-c)^2\right),$$

$$(ii) h_c(x) = \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{x-c}{\sigma}\right)^2 + d^2}}$$

Εάν τα σχέδια μπορούν να έχουν τους αυθαίρετους βαθμούς ιδιότητας μέλους κατηγορίας, η ταξινόμηση είναι γενικευμένη για να λειτουργήσει προσέγγιση. Για (πολυστρωματικό) perceptron αυτό σημαίνει -χατ όχι μόνο που μια δύο-εκτιμημένη απόφαση σχετικά με τη θέση ενός σημείου σχετικά με hyperplane γίνεται. Επιπλέον, η απόσταση από ένα σημείο hyperplane είναι -. Η ίδια γενίκευση μπορεί να εκτελεσθεί με την τοπική ταξινόμηση με η απόσταση ενός σημείου στο κέντρο μιας συστάδας.

Στην πραγματικότητα, η ιδέα της εξέτασης των ακτινωτών λειτουργιών προέρχεται από τη μαθηματική θεωρία προσέγγισης. Ο στόχος είναι να παρεμβληθεί μια λειτουργία των πολλαπλάσιων μεταβλητών κοντά - specifying διάφορες λειτουργίες βάσης που είναι superposed. Η παραγωγή λειτουργιών βάσης Radial ; είναι ιδιαίτερα κατάλληλη για αυτήν την προσέγγιση.

Το σχήμα 23 επιδεικνύει πώς επιτυγχάνεται. Η λειτουργία/(που σύρεται με μια τολμηρή γραμμή) είναι -nerated από το superposition τεσσάρων RBFs (που σύρονται με τις διαστιγμένες γραμμές), με

$$f(x) = \sum_{i=1}^4 w_i \cdot e^{-(x-c_i)^2}$$

Τα κέντρα Γκίε των λειτουργιών βάσης είναι $c_1 = 1, c_2 = 2, c_3 = 4, c_4 = 5$, και το βάρος τους είναι ποιά κέντρα δίνονται από τα δείγματα. Τα ακόμα ακαθόριστα WI παραγόντων βρίσκονται με την επίλυση ενός συστήματος των γραμμικών εξισώσεων:

$$\mathbf{H} \cdot \mathbf{w} = \mathbf{d} \iff \begin{bmatrix} h_{11} & \dots & h_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ h_{n1} & \dots & h_{nn} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} d_1 \\ \vdots \\ d_n \end{bmatrix},$$

με $h_{ij} = h_{x_i}(z_j)$, εάν όλα τα ενισχυτικά σημεία v είναι διαφορετικά το ένα από το άλλο, η μήτρα \mathbf{H} είναι θετικό καθορισμένο, και το σύστημα των εξισώσεων έχει τη μοναδική λύση $\mathbf{W} = \chi^{-1} \Delta$.

4.2.2 Το επίσημο πρότυπο για τα ακτινωτά δίκτυα λειτουργίας βάσης

Η διαδικασία για τις αυθαίρετες συνεχείς differentiable λειτουργίες που περιγράφονται ανωτέρω μπορεί να ενσωματωθεί εύκολα στην αρχιτεκτονική ενός τρεις-βαλμένου σε στρώσεις νευρικού δικτύου. Κάθε ακτινωτή λειτουργία βάσης εφαρμόζεται ως λειτουργία ενεργοποίησης μιας κρυμμένης μονάδας. Ο γραμμικός συνδυασμός αυτοί εκτελείται από το ένα ή τις πολλαπλές γραμμικές μονάδες παραγωγής. Οι μονάδες εισαγωγής δεν έχουν κανέναν στόχο επεξεργασίας, όπως συνηθισμένο.

Ο καθορισμός 4.11 απλό ακτινωτό δίκτυο λειτουργίας βάσης A (δίκτυο sRBF) είναι ένα νευρικό δίκτυο (U, W, A, O, NET, ex) με την τοπολογία δικτύων perceptron τρεις-στρώματος και οι ακόλουθες προδιαγραφές:

• με το στρώμα εισαγωγής $U_I = \{u_1, \dots, u_s\}$, που κρύβεται στρώμα $U_H = \{v_1, \dots, v_n\}$ και στρώμα παραγωγής $U_O = \{z_1, \dots, z_r\}$.

ο αριθμός n κρυμμένων μονάδων είναι ίσος με τον αριθμό σχεδίων κατάρτισης ενός σταθερού μαθησιακού προβλήματος που δίνεται για το δίκτυο sRBF:

με $i^{(j)} = (i_1^{(j)}, \dots, i_s^{(j)}) \in \mathbf{R}^s$, και

(II) Τα βάρη $W(u, \beta)$, με το $u \in U_j$ και το $\beta \in U_h$, δίνονται από τα σχέδια $k \in \{1, \dots, s\}, j \in \{1, \dots, n\}$. εισαγωγής v του μαθησιακού προβλήματος $\gamma: W(U_k, V_j) \rightarrow i^k$, με u_i το A ορίζει μια λειτουργία ενεργοποίησης σε κάθε μονάδα $u \in U^*$. Για όλες τις μονάδες εισαγωγής $u \in U_j$ η αστρονομική μονάδα λειτουργίας ενεργοποίησης χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την

αστρονομική μονάδα ενεργοποίησης: $a_u = A_u(ex_u) = ex_u$.

Για όλες τις κρυμμένες μονάδες $\beta \in U_h$ η λειτουργία A β ενεργοποίησης για να υπολογίσει την ενεργοποίηση ένα β είναι

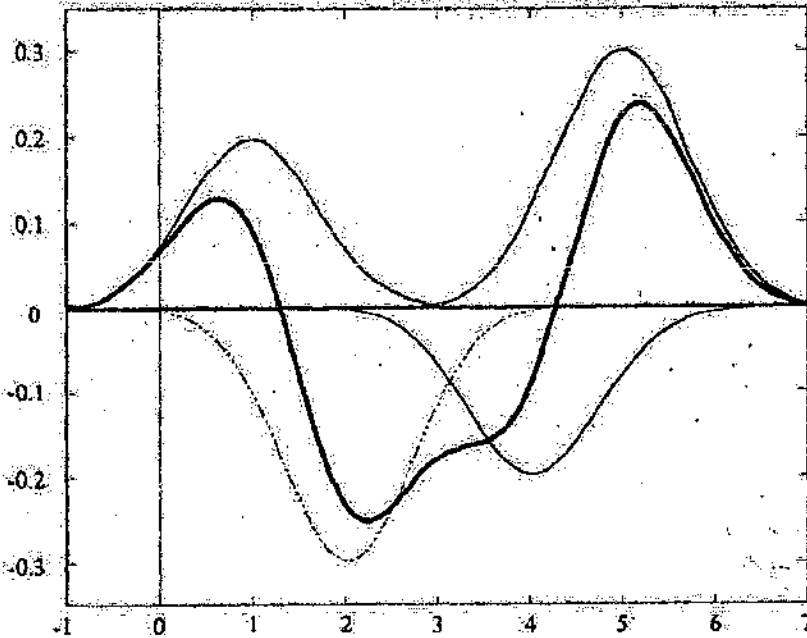
$$a_v = A_v(net_v) = h(net_v),$$

όπου το χ είναι μια ακτινωτή λειτουργία βάσης στο ρ με θ ως κέντρο του.

Για όλες τις μονάδες παραγωγής $w \in U_O$ μια γραμμική λειτουργία A ενεργοποίησης W είναι υιοθετημένος για να καθορίσει την ενεργοποίηση ένα W :

$$a_w = A_w(net_w) = net_w.$$

γεν
βάσ
σημ
από
κωδ
Εντ
αντι
πρα
Προ
ότι
μήτ
δεν
κατέ
που
περι
ικαν
εξισι
προς



Σχήμα 23 Superposition τεσσάρων ακτινωτών λειτουργιών βάσης

Αυτέ

Δίκτυ
Ο κα

Εάν μια αυθαίρετη λειτουργία $f : \mathbf{R}^s \rightarrow \mathbf{R}$ πρόκειται να παρεμβληθεί, τα δείγματα είναι το s -διαστατικά πραγματικά διανύσματα. Εάν τα δείγματα v δίνονται, μια παρεμβολή με τις λειτουργίες

$$f(\mathbf{x}) = \sum_{i=1}^n w_i \cdot h_{x_i}(\mathbf{x}),$$

βάσης v γίνεται ως εξής:

με το v η αυθαίρετη βάση λειτουργεί $h_{x_i} : \mathbf{R}^s \rightarrow \mathbf{R}$, $i = 1, \dots, n$ -τα κέντρα της βάσης οι λειτουργίες είναι τα δείγματα X . Συχνά μια λειτουργία όπως

$$h_{x_i}(\mathbf{x}) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \|\mathbf{x} - \mathbf{x}_i\|^2\right)$$

χρησιμοποιείται, πού $\|\cdot\|$ είναι ένας αυθαίρετος διανυσματικός κανόνας, π.χ. ο euclidean κανόνας

$$\|\mathbf{x}\| = \sqrt{\sum_{j=1}^s x_j^2}, \text{ with } \mathbf{x} = (x_1, \dots, x_s).$$

Η λύση ενός προβλήματος παρεμβολής όπως αυτό είναι να διευκρινιστεί μια λειτουργία/που υποθέτει το δεδομένο D_i τιμών στα δείγματα X_j v . Για αυτήν την βάση v οι λειτουργίες επιλέγονται,

(iv) Το o ορίζει το u λειτουργίας παραγωγής o σε κάθε μονάδα u του U για να υπολογίσει

το u παραγωγής o , με $o_u = O_u(a_u) = a_u$. (β) το δίκτυο ορίζει σε κάθε μονάδα $\beta \in U_h$ και κάθε μονάδα $w \in W$ ένα δίκτυο β λειτουργίας εισαγωγής δικτύων (λειτουργία διάδοσης) και δίκτυο W , αντίστοιχα, για να υπολογίσει το w εισαγωγής δικτύων, και καθαρός ". Για τις κρυμμένες μονάδες $\beta \in U_h$ που η

εισαγωγή δικτύων είναι:

$$net_w = \|\mathbf{o} - \mathbf{w}_w\|$$

πού $\mathbf{o} = (o_{u_1}, \dots, o_{u_s})$ είναι το διάνυσμα παραγωγής του στρώματος εισαγωγής και

είναι το διάνυσμα βάρους της κρυμμένης μονάδας v . Για όλες τις μονάδες παραγωγής W o η εισαγωγή δικτύων είναι:

$$net_w = \sum_{v \in U_h} o_v \cdot W(v, w).$$

$$ex : U_l \rightarrow \{0, 1\}.$$

(vij) $ex_u = ex(u)$ ορίζει σε κάθε μονάδα εισαγωγής $u \in U_l$ την εξωτερική εισαγωγή του

Ένα δίκτυο sRBF είναι τίποτα άλλο από ένα πρόβλημα παρεμβολής που παρουσιάζεται υπό μορφή νευρικού δικτύου. Για κάθε δείγμα (σχέδιο κατάρτισης) ένας κρυμμένος νευρώνας (μια λειτουργία βάσης) καθορίζεται. Κατόπιν, ένα σύστημα των γραμμικών εξισώσεων λύνεται για κάθε νευρώνα παραγωγής. Οι

λύσεις καθορίζουν τα βάρη στο στρώμα παραγωγής.

Παρατήρηση 4.12 για να λάβει τη δομή ενός νευρικού δικτύου που συμμορφώνεται με τον καθορισμό του

ελεκτι

(i) U

στρώμ

μικρό

(ii) U

αυθαί

(iii)

λειτουργ

W:

net_w

είναι U

Ένα δι

σχέδιο

δεν εί

είναι o

τα σχέ

ακόλου

RBF.

Τό πα

RBF.

λειτουργ

$h_c(\mathbf{x})$

Επιλέγ

είναι:

$\tilde{C} = \{$

(α) Πρ

γενικού προτύπου μας (καθορισμός 3.1), έπρεπε να χωρίσουμε τις πολυδιάστατες ακτινωτές λειτουργίες βάσης στον υπολογισμό ενός διανυσματικού κανόνα και τον υπολογισμό της απόστασης από το κεντρικό σημείο. Ο διανυσματικός κανόνας υπολογίζεται από τη λειτουργία διάδοσης, και η απόσταση καθορίζεται από τη λειτουργία ενεργοποίησης ενός κρυμμένου νευρώνα. Το κέντρο του πολυδιάστατου RBF κωδικοποιείται ως διάνυσμα βάρους μιας κρυμμένης μονάδας.

Εντούτοις, από πραγματικότερη άποψη μπορούμε να πούμε ότι κάθε κρυμμένη μονάδα αντιπροσωπεύει ένα πολυδιάστατο RBF, χωρίς πάντα ρητά να θεωρήσει ότι είναι πραγματικά αντιπροσωπευόμενος με έναν διανεμημένο τρόπο. ο

Προφανώς, αυτή η διαδικασία δεν είναι κατάλληλη για τα μεγαλύτερα μαθησιακά προβλήματα, δεδομένου ότι η λύση του συστήματος των εξισώσεων απαιτεί για τα σχέδια κατάρτισης v την αντιστροφή μιας μήτρας $n \times n$. Αυτό αναλαμβάνει τις πολυωνυμικές δαπάνες υπολογισμού της διαταγής $O(n^3)$. Εκτός αυτού, δεν είναι συχνά επιθυμητό να υπάρξουν τόσες πολλές κρυμμένες μονάδες στο δίκτυο. Εάν με τα σχέδια κατάρτισης v οι κρυμμένες μονάδες χρησιμοποιούνται, το αποτέλεσμα είναι μια λειτουργία παρεμβολής που ταιριάζει με τα δεδομένα σημεία υποστήριξης. Εάν σταματάμε αυτήν την απαίτηση και περιοριζόμαστε σε μια προσέγγιση της λειτουργίας, λιγότερες κρυμμένες μονάδες πρέπει να είναι ικανοποιητικές. Εντούτοις, η μήτρα χ δεν είναι πλέον τετραγωνική και έτσι το προκύπτον σύστημα των εξισώσεων πέρα από-καθορίζεται. Σε αυτήν την περίπτωση το διάνυσμα βάρους καθορίζεται από μια κατά προσέγγιση λύση με τη βοήθεια του ψευδο-αντιστρόφου H^+ of H :

$$w = H^+ \cdot d = (H^T \cdot H)^{-1} \cdot H^T \cdot d.$$

Αυτός ο τρόπος λαμβάνουμε μια γενίκευση του the network, και καλούμε αυτόν τον τύπο

sRBF

δίκτυο απλά ένα δίκτυο RBF.

Ο καθορισμός 4.13 ένα δίκτυο RBF είναι ένα δίκτυο με τον ακόλουθο

sRBF

επεκτάσεις:

(i) $U = U_I \cup U_H \cup U_O$, με το στρώμα εισαγωγής $U_I = \{u_1, \dots, u_s\}$, που κρύβεται στρώμα $U_H = \{v_1, \dots, v_m\}$ και το στρώμα παραγωγής $U_O = \{z_1, \dots, z_p\}$. Ο αριθμός m κρυμμένων μονάδων είναι μικρότερος από τον αριθμό n σχεδίων κατάρτισης ενός δεδομένου σταθερού μαθησιακού προβλήματος Γ .

(ii) τα βάρη $W(u, v)$, με $u \in U_I$ και $v \in U_H$, δίνονται από αυθαίρετα αλλά διαφορετικά σχέδια εισαγωγής μ του μαθησιακού προβλήματος γ .

(iii) $W(u_k, v) = i_k^{(j)}$, $k \in \{1, \dots, s\}$, $i^{(j)} \in \tilde{L}$. Το δίκτυο ορίζει σε κάθε μονάδα $u_o \in U_O$ α $W \in \tilde{L}$ δίκτυο λειτουργίας εισαγωγής δικτύων (λειτουργία διάδοσης), για να υπολογίσει το εισαγμένο δίκτυο καθαρό W :

$$net_w = \sum_{v \in U_H} o_v \cdot W(v, w) + \theta_w.$$

είναι η προκατάληψη της μονάδας W .

Ένα δίκτυο RBF διαφέρει από ένα sRBF δίκτυο με τη χρησιμοποίηση λιγότερων κρυμμένων μονάδων από σχέδια κατάρτισης και από μια πρόσθετη προκατάληψη για τις μονάδες παραγωγής. Για τα δίκτυα sRBF δεν είναι δυνατό να επιλεγεί πώς να διευκρινίσει τις κρυμμένες μονάδες. Με τα δίκτυα RBF, εντούτοις, είναι απαραίτητο να επιλεγούν τα κέντρα των λειτουργιών βάσης. Ο καθορισμός απαιτεί να επιλεγούν τα σχέδια κατάρτισης μ . Εντούτοις, πρώτα σε το δεν είναι σαφές που τα σχέδια είναι κατάλληλα. Το ακόλουθο παράδειγμα επιδεικνύει πώς το πρόβλημα XOR λύνεται από ένα δίκτυο sRBF και ένα δίκτυο RBF.

Το παράδειγμα 4.14 η λειτουργία XOR πρόκειται να προσεγγιστεί από ένα δίκτυο sRBF και ένα δίκτυο RBF. Σαν ακτινωτές λειτουργίες βάσης εφαρμόζουμε και στις δύο περιπτώσεις τις γκαουσιανές λειτουργίες της μορφής

$$h_c(x) = \exp\left(-\frac{1}{2\sigma^2} \cdot \|x - c\|^2\right).$$

Επιλέγουμε $\alpha = 1$, και χρησιμοποιούμε το euclidean διανυσματικό κανόνα. Το μαθησιακό πρόβλημα είναι:

$$\tilde{L} = \{((0, 0), 0); ((0, 1), 1); ((1, 0), 1); ((1, 1), 0)\}.$$

(α) Προκειμένου να λυθεί το πρόβλημα XOR με ένα δίκτυο sRBF χρειαζόμαστε τέσσερις κρυμμένες

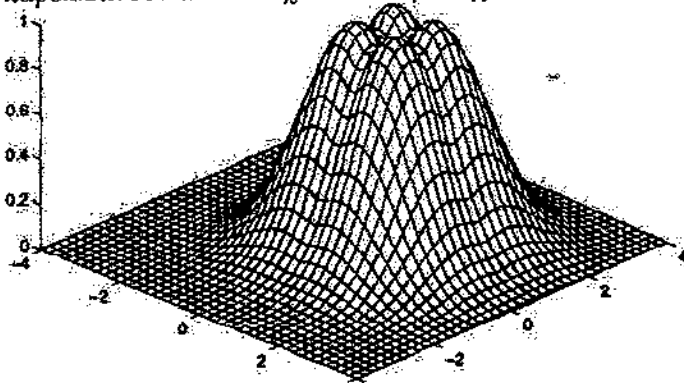
μονάδες. Οι λειτουργίες βάσης που αντιπροσωπεύονται από τις κρυμμένες μονάδες έχουν τα κέντρα που αντιστοιχούν στα τέσσερα σχέδια κατάρτισης. Τα βάρη στην ενιαία μονάδα παραγωγής υπολογίζονται ως εξής:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{w} &= \begin{pmatrix} e^0 & e^{-0.5} & e^{-0.5} & e^{-1} \\ e^{-0.5} & e^0 & e^{-1} & e^{-0.5} \\ e^{-0.5} & e^{-1} & e^0 & e^{-0.5} \\ e^{-1} & e^{-0.5} & e^{-0.5} & e^0 \end{pmatrix}^{-1} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} 2.5027 & -1.5179 & -1.5179 & 0.9207 \\ -1.5179 & 2.5027 & 0.9207 & -1.5179 \\ -1.5179 & 0.9207 & 2.5027 & -1.5179 \\ 0.9207 & -1.5179 & -1.5179 & 2.5027 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} -3.0359 \\ 3.4233 \\ 3.4233 \\ -3.0359 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

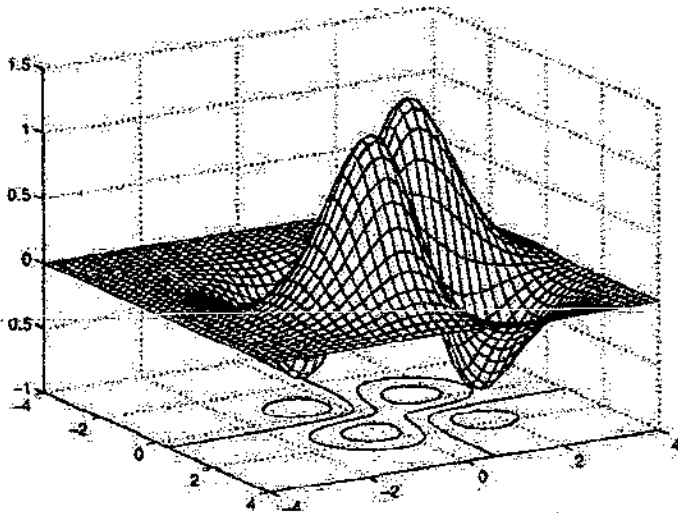
Δεδομένου ότι το μαθησιακό πρόβλημα είναι συμμετρικό, λαμβάνουμε τα ίδια βάρη στη μονάδα παραγωγής για τις λειτουργίες βάσης γύρω από τα σχέδια της ίδιας κατηγορίας. Τα αποτελέσματα για τα σχέδια κατάρτισης είναι (οποιοσδήποτε αποκλίσεις από τις ιδανικές τιμές 0 και 1 οφείλονται στη στρογγυλοποίηση των λαθών):

$$(0, 0) \mapsto 0.0003; (0, 1) \mapsto 1.0002; (1, 0) \mapsto 1.0002; (1, 1) \mapsto 0.0003.$$

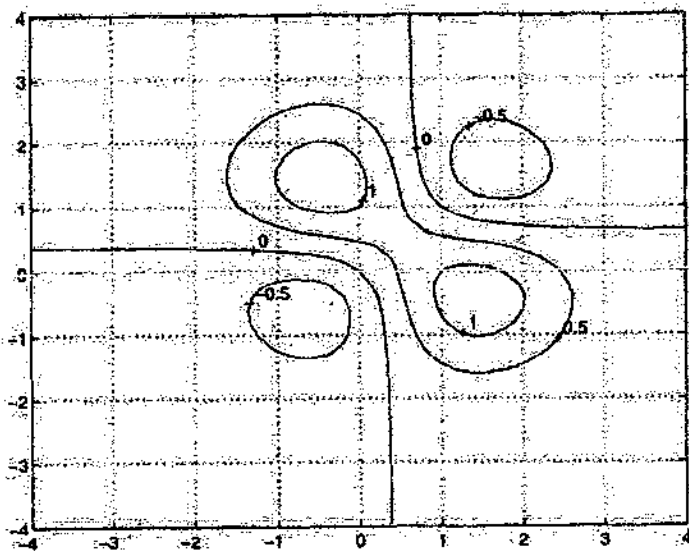
Τα σχήματα 24 έως 26 επεξηγούν πώς το δίκτυο sRBF λύνει το πρόβλημα. Στο σχήμα 24 η διανομή ενεργοποίησης των τεσσάρων κρυμμένων μονάδων πέρα από την περιοχή εισαγωγής σχεδιάζεται. Αναγνωρίζουμε ότι κάθε λειτουργία βάσης καλύπτει ενός από τα τέσσερα σχέδια κατάρτισης. Παρά το ισχυρό superposition των τεσσάρων λειτουργιών τα τέσσερα σχέδια διακρίνονται εύκολα. Το σχήμα 26 παρουσιάζει πλοκή περιγράμματος της παραγωγής. Αυτό το καθιστά σαφές πώς τα τέσσερα σχέδια είναι χωρισμένα. Σημειώστε ότι λόγω της γραμμικής λειτουργίας ενεργοποίησης του νευρώνα παραγωγής, οι τιμές παραγωγής μικρότερες από 0 ή μεγαλύτερες από 1 μπορούν να εμφανιστούν στις θέσεις που παρεκκλίνουν από τα σχέδια κατάρτισης.



Λογαριάστε 24 οι superposed ενεργοποιήσεις των τεσσάρων κρυμμένων μονάδων του sRBF δίκτυο



Σχήμα 25 η παραγωγή του δικτύου sRBF



Σχήμα 26 πλοκή περιγράμματος A της παραγωγής του δικτύου sRBF

(β) Για να λύσουμε το πρόβλημα XOR με ένα δίκτυο RBF χρησιμοποιούμε δύο κρυμμένες μονάδες, και επιλέγουμε τα σχέδια εισαγωγής (0,0) και (1,1) καθώς τα κέντρα της βάσης δύο λειτουργούν. Επιπλέον, παρέχουμε μια προκατειλημμένη αξία για τη μονάδα παραγωγής. Σε αυτήν την περίπτωση πρέπει να καθορίσουμε τρεις παραμέτρους (δύο βάρη και μια προκατάληψη). Λόγω της συμμετρίας του μαθησιακού προβλήματος αναμένουμε τα δύο βάρη για να είμαστε ίδια. Το ακόλουθο σύστημα των εξισώσεων οδηγεί:

$$\mathbf{H} \cdot \mathbf{w} = \mathbf{d} \Leftrightarrow \begin{pmatrix} 1 & e^{-1} & 1 \\ e^{-0.5} & e^{-0.5} & 1 \\ e^{-0.5} & e^{-0.5} & 1 \\ e^{-1} & 1 & 1 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} w_1 \\ w_2 \\ b \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix}$$

Αυτό το σύστημα των εξισώσεων πέρα από-καθορίζεται. Για κάθε λειτουργία βάσης υπάρχει μια στήλη στη μήτρα X. Για κάθε σχέδιο κατάρτισης υπάρχει μια σειρά. Προκειμένου να καθορισθεί το προκατειλημμένο β συγχρόνως το μεταχειριζόμαστε ως βάρος σε μια (κρυμμένη) μονάδα που έχει πάντα μια ενεργοποίηση 1. Εισάγουμε το β ως τελευταίο βάρος σε βάρος διανυσματικό W. Αυτό οδηγεί σε μια πρόσθετη στήλη στη μήτρα χ που περιέχει μόνο τους αυτούς. Για να λύσουμε το σύστημα των εξισώσεων περίπου, υπολογίζουμε το ψευδο-αντίστροφο χ^+ της μήτρας X. Το αποτέλεσμα για τα βάρη είναι:

$$\begin{aligned}
 \mathbf{w} &= \mathbf{H}^+ \cdot \mathbf{d} \\
 &= \begin{pmatrix} 4.0206 & -3.2296 & -3.2296 & 2.4386 \\ 2.4386 & -3.2296 & -3.2296 & 4.0206 \\ -3.9177 & 4.4177 & 4.4177 & -3.9177 \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \end{pmatrix} \\
 &= \begin{pmatrix} -6.4592 \\ -6.4592 \\ 8.8354 \end{pmatrix}
 \end{aligned}$$

Όπως αναμένεται, τα δύο βάρη αποδεικνύονται ίδια. Η προκατειλημμένη αξία απαιτείται για τη λύση από το δίκτυο RBF δεδομένου ότι δεν καλύπτονται όλα τα σχέδια κατάρτισης από τη λειτουργία βάσης τους, και ο μέσος όρος όλων των αποτελεσμάτων δεν είναι 0, σχήματα 27 έως 29 παρουσιάζει, όπως στο παράδειγμα του δικτύου sRBF, το superposition των ενεργοποιήσεων των κρυμμένων μονάδων και τη συμπεριφορά παραγωγής του δικτύου RBF.

Προκύπτει σαφώς από τους τρεις αριθμούς ότι το δίκτυο RBF μπορεί να λύσει το πρόβλημα με μόνο δύο κρυμμένες μονάδες επίσης. Η παραγωγή του δικτύου RBF είναι

$$(0,0) \mapsto -0.0001; (0,1) \mapsto 1.0004; (1,0) \mapsto 1.0004; (1,1) \mapsto -0.0001.$$

Όπως πριν, πρέπει να παρατηρήσουμε ότι το εξωτερικό αποτελεσμάτων [0.1] εμφανίζεται στα σημεία ευδιάκριτος από τα σχέδια κατάρτισης. ο

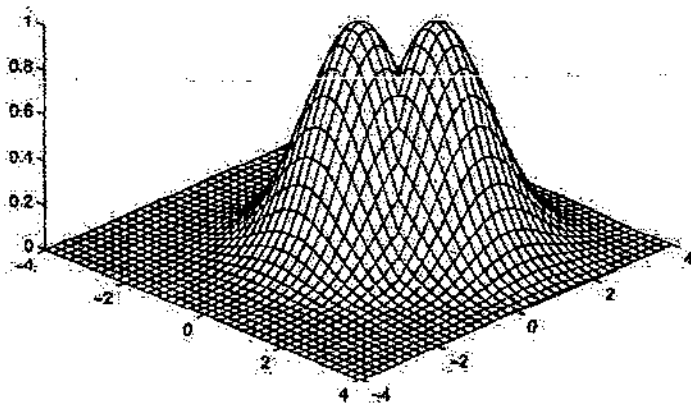
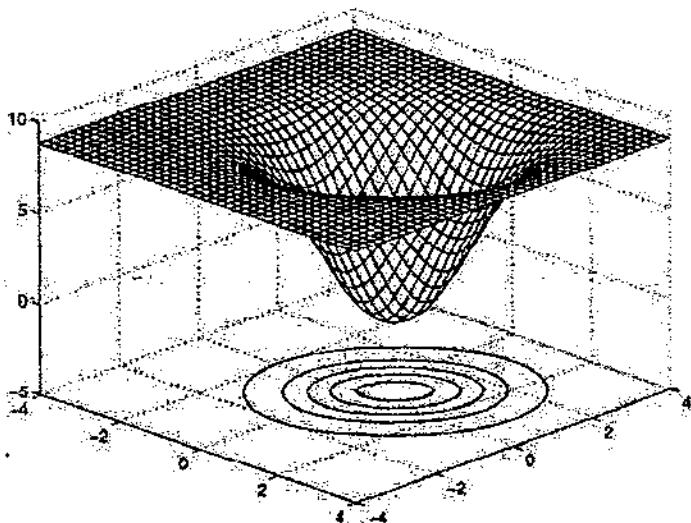


Figure 27 Superpositioned activations of the two hidden units of the RBF network



Σχήμα 28 η παραγωγή του δικτύου RBF

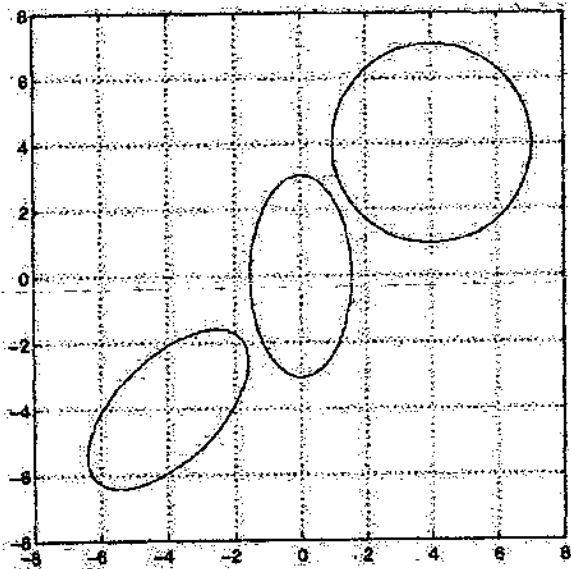
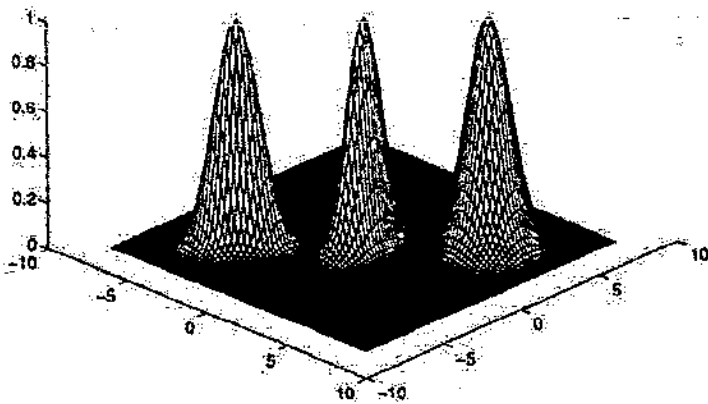


Figure 30 Clusters of different shape and orientation.



Το σχήμα 31 ακτινωτή βάση τρία λειτουργεί, οι του οποίου βάσεις είναι μια έλλειψη, μια άξονας-παράλληλη έλλειψη, και ένας κύκλος

Το s^{-1} είναι το αντίστροφο της μήτρας συνδιακύμανσης της πολλών μεταβλητών γκαουσιανής λειτουργίας $\chi(\mathbf{X})$ με το κέντρο διανυσματικό γ . Η αντίστροφη μήτρα συνδιακύμανσης είναι θετικές καθορισμένη και συμμετρική. Είναι της μορφής

$$\Sigma^{-1} = \begin{pmatrix} \frac{1}{\sigma_{11}^2} & \dots & \frac{1}{\sigma_{1n}^2} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{1}{\sigma_{n1}^2} & \dots & \frac{1}{\sigma_{nn}^2} \end{pmatrix},$$

με $\sigma_{ij} = \sigma_{ji}$, αυτό το correspondsto $\|\mathbf{x} - \mathbf{c}\|$ από κάποιο διάνυσμα κανόνας που αντιστοιχεί μόνο στο euclidean κανόνα εάν ένα hypersphere με την ακτίνα 1 πρόκειται να αντιπροσωπευθεί.

η αξιολόγηση του όρου

Εάν για τις καταχωρήσεις Σ^{-1} στην εξίσωση $\frac{1}{\sigma_{ij}^2} = 0$ ισχύει για $i \neq j$, i.e. Σ^{-1} είναι μια διαγώνιος η μήτρα, δείχνει έπειτα με $h(\|\mathbf{x} - \mathbf{c}\|) \geq \epsilon$ καθιερώνει ένα άξονας-παράλληλο hyperellipsoid. Του οι ακτίνες δίνονται από $< t, j$. Εάν, πρόσθετα, ένα $-\rho$ ισχύει για όλο το i , κατόπιν λαμβάνουμε ένα hypersphere με την ακτίνα ρ . Εάν ο πρώτος περιορισμός δεν ισχύει, κατόπιν έχουμε ένα αυθαίρετα hyperellipsoid.

Οι τρεις γκαουσιανές λειτουργίες στο σχήμα 31 έχουν τις ακόλουθες αντίστροφες μήτρες συνδιακύμανσης (από το αριστερό στο δεξιό):

$$\begin{pmatrix} 2.5 & -1.5 \\ -1.5 & 2.5 \end{pmatrix}, \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 4 \end{pmatrix} \text{ and } \begin{pmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{pmatrix}.$$

Ανάλογα με την επιθυμητή ευελιξία και το αποδεκτό κόστος μια τριών παραλλαγών μπορεί να εφαρμοστεί για τη διαδικασία εκμάθησης στα δίκτυα RBF:

σταθερή επιλογή των κέντρων και ακτίνες, υπολογισμός των βαρών στο στρώμα παραγωγής.

η επιλογή των κέντρων και των ακτίνων με την self-organizing εκμάθηση, επόπτευσε την εκμάθηση των βαρών στο στρώμα παραγωγής.

εποπτευμένη εκμάθηση όλων των παραμέτρων (κέντρα, ακτίνες και βάρη).

Στα πρώτα δύο δίκτυα υποθέσεων RBF που έχουν η βάση λειτουργεί με μια ενιαία σταθερή ακτίνα χρησιμοποιείται κανονικά. Μόνο για την τρίτη παραλλαγή - που είναι επίσης το ακριβότερο - είναι αυτό επέτρεψε να υιοθετηθεί τα αυθαίρετα hyperellipsoids για να λύσει το μαθησιακό πρόβλημα. Στον ακόλουθο ρίχνουμε μια πιό στενή ματιά σε αυτές τις τρεις τεχνικές εκμάθησης.

Σταθερή επιλογή των κέντρων και των ακτίνων

Σε γενικές γραμμές, αυτή η μέθοδος για ένα RBF δίκτυο, ο απλούστερος, έχει καταδειχθεί ήδη με το παράδειγμα της λειτουργίας XOR (παράδειγμα 4.14). Για να λύσει το μαθησιακό πρόβλημα ένας σταθερός αριθμός κρυμμένων μονάδων επιλέγεται. Τα κέντρα των λειτουργιών βάσης τους καθορίζονται από τα τυχαία επιλεγμένα σχέδια εισαγωγής. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να θεωρηθεί όπως κατάλληλη εάν τα σχέδια κατάρτισης διανέμονται στην περιοχή εισαγωγής

έτσι ώστε είναι αντιπροσωπευτικοί του μαθησιακού προβλήματος. Για το RBFs μια σταθερή σταθερή απόκλιση (ακτίνα) επιλέγεται, δεδομένου ότι δεν υπάρχουν καμία πληροφορία για τις διάφορες επεκτάσεις

$$\sigma = \frac{d}{\sqrt{2m}},$$

των συστάδων. Χαρακτηριστικά

επιλέγεται, όπου το m είναι ο αριθμός κρυμμένων μονάδων και το d είναι η μέγιστη απόσταση μεταξύ των επιλεγμένων κέντρων. Αυτή η επιλογή της σταθερής απόκλισης είναι να σιγουρευτεί ότι οι λειτουργίες βάσης δεν είναι ούτε επίσης μουσκεύουν ούτε πάρα πολύ οριζόντια. Δηλαδή δεν πρέπει ούτε να συγκεντρωθούν επίσης γύρω από τα κέντρα τους ούτε να επεκτείνουν πάρα πολύ στο περιβάλλον διάστημα. Τα βάρη στο στρώμα παραγωγής μπορούν να καθοριστούν όπως στο παράδειγμα 4.14 κοντά

$$\mathbf{w}_u = \mathbf{H}^+ \cdot \mathbf{d}_u,$$

όπου \mathbf{H}^+ είναι το ψευδο-αντίστροφο της μήτρας \mathbf{H} των τιμών λειτουργίας των σχεδίων εισαγωγής, το \mathbf{d}_u είναι το διάνυσμα των τιμών παραγωγής στόχων για τη μονάδα παραγωγής u , και το \mathbf{W} είναι το διάνυσμα βάρους του. Εάν υπάρχουν πολλαπλάσιες μονάδες παραγωγής, αυτός ο υπολογισμός πρέπει να εκτελεσθεί χωριστά για κάθε μια από τις.

Πραγματικά, αυτή η διαδικασία για να καθορίσει τις παραμέτρους δικτύων δεν είναι μια διαδικασία εκμάθησης υπό μια ακριβή έννοια. Όλες οι παράμετροι είτε καθορίζονται είτε υπολογίζονται άμεσα - μια επαναληπτική διαδικασία κατάρτισης δεν είναι απαραίτητη. Εάν το προκύπτον δίκτυο RBF δεν είναι ικανό να λύσει το μαθησιακό πρόβλημα ικανοποιητικά, η διαδικασία πρέπει να επαναληφθεί με μια άλλη τυχαία επιλογή των κέντρων (εάν είναι απαραίτητο ακόμη και με έναν άλλο αριθμό κέντρων), έως ότου οδηγήσει σε ένα δίκτυο RBF με την επιθυμητή απόδοση.

Self-Organizing εκμάθηση των κέντρων

Προκειμένου να γίνει μια καταλληλότερη επιλογή των κέντρων είναι δυνατό να αποφασιστούν από μια self-organizing διαδικασία εκμάθησης (παράγραφος 4.3) ή από την ανάλυση συστάδων. Εδώ κάποιος προσπαθεί να ομαδοποιήσει τα στοιχεία κατάρτισης στις κατάλληλες συστάδες πρώτα. Ο αριθμός συστάδων είτε πρέπει να δοθεί ή μπορεί να καθοριστεί αυτόματα από τις διαδικασίες για την ανάλυση συστάδων με τη βοήθεια των ποιοτικών κριτηρίων. Τα πρωτότυπα ή τα κεντρικά διανύσματα των συστάδων που βρίσκονται είναι τα κέντρα των λειτουργιών βάσης του δικτύου RBF. Συνήθως αυτή η διαδικασία ψάχνει μόνο για τις σφαιρικές συστάδες του ίσου μεγέθους.

Μετά από τον προσδιορισμό των λειτουργιών βάσης τα βάρη στο στρώμα παραγωγής μπορούν να υπολογιστούν άμεσα. Εντούτοις, είναι επίσης δυνατό να μαθευτούν με τη βοήθεια του του δέλτα κανόνα (καθορισμός 4.3). Δεδομένου ότι οι παράμετροι του κρυμμένου στρώματος παραμένουν σταθερές και μόνο τα βάρη στο στρώμα παραγωγής πρέπει να μαθευτούν, η διαδικασία εκμάθησης αντιστοιχεί στην κατάρτιση ενός γραμμικού νευρικού δικτύου δύο-στρώματος. Με ένα αρκετά μικρό ποσοστό εκμάθησης μπορεί να υποτίθεται ότι το ελάχιστο του συνηθισμένου μέτρου ϵ λάθους (ποσό των τακτοποιημένων

$$E = 0.$$

λαθών) επιτυγχάνεται, ακόμα κι αν δεν οδηγεί

Εποπτευμένη εκμάθηση όλων των παραμέτρων

Με αυτήν την τελευταία παραλλαγή όλες οι παράμετροι ενός δικτύου RBF υπόκεινται στο α -η διαδικασία εκμάθησης. Σε αυτήν την περίπτωση μαζί με τα βάρη στο στρώμα παραγωγής

τα κέντρα και οι ακτίνες των λειτουργιών βάσης προσαρμόζονται στο μαθησιακό πρόβλημα με μια επαναληπτική διαδικασία κατάρτισης. Εντούτοις, η ερώτηση παραμένει πώς να μονογράψει το δίκτυο RBF. Τουλάχιστον ο αριθμός κρυμμένων μονάδων και οι αρχικές παράμετροι των λειτουργιών βάσης τους πρέπει να επιλεχθούν κατάλληλα. Μια καλή ιδέα είναι πρώτη για να χρησιμοποιήσει μιας από τις δύο διαδικασίες προαναφερθείσες. Τα βάρη στο στρώμα παραγωγής μπορούν να μονογραφθούν με τις μικρές τυχαίες τιμές.

Εναλλακτικά, ένα δίκτυο με ένα αυξανόμενο κρυμμένο στρώμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η διαδικασία εκμάθησης αρχίζει με ένα δίκτυο RBF με μια ή περισσότερες κρυμμένες μονάδες. Αυτό το δίκτυο εκπαιδεύεται για κάποιο χρόνο. Εάν το λάθος δεν μειώνεται περαιτέρω, μια πρόσθετη κρυμμένη μονάδα συμπεριλαμβάνεται. Το κεντρικό διάνυσμα θα μπορούσε παραδείγματος χάριν να επιλεγεί μεταξύ των σχεδίων κατάρτισης που δεν έχουν παραγάγει ακόμα μια σωστή παραγωγή. Εάν είναι απαραίτητο, προάγετε τις κρυμμένες μονάδες είναι ενσωματωμένος έως ότου το λάθος του δικτύου γίνεται αρκετά μικρό. Το πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι ότι η προγενέστερη εκτέλεση μιας διαδικασίας συγκέντρωσης δεν είναι απαραίτητη.

Στην εφαρμογή της διαδικασίας εκμάθησης που το λάθος του δικτύου δεν χρειάζεται να είναι (σε αντίθεση με πολυστρωματικό perceptron). Οι παράμετροι μπορούν να τροποποιηθούν άμεσα ανάλογα με το σφαιρικό λάθος. Σε γενικές γραμμές, τρεις διαφορετικοί αλγόριθμοι εκμάθησης πρέπει να εφαρμοστούν ταυτόχρονα. Όπως συνηθισμένος, η μέτρηση λάθους είναι το ποσό των τακτοποιημένων διαφορών:

$$E = \sum_{p \in \mathcal{L}} E_p = \sum_{p \in \mathcal{L}} \frac{1}{2} \sum_{v \in U_0} (e_v^{(p)})^2 = \frac{1}{2} \sum_{p \in \mathcal{L}} \sum_{v \in U_0} (t_v^{(p)} - a_v)^2.$$

Για ένα δίκτυο

RBF με το β $u_0 \in$ και

το $u \in U_{jj}$ και η γενικευμένη βάση λειτουργούν η παραγωγή ο "υπολογίζονται ως εξής:

$$o_v = a_v = \sum_{u \in U_H} W(u, v) \cdot h(\text{net}_u),$$

με καθαρό $u = \|i - c\| = (i - u) \gamma \tau |D| J I \cdot (i - u) \gamma$, και $uh(\text{net}) = \exp(-|\cdot| \text{καθαρό})$.

Στον ακόλουθο υποθέτουμε ένα δίκτυο RBF με τις γενικευμένες λειτουργίες και ένα εποπτευμένο μαθησιακό πρόβλημα Γ . βάσης Παρουσιάζουμε την αλλαγή στις παραμέτρους μετά από τη διάδοση του σχεδίου $\pi = (i^{\text{π}}, t^{\text{π}}) \in \Gamma$.

Τα βάρη στο στρώμα παραγωγής εκπαιδεύονται με τον του δέλτα κανόνα (βλ. τον καθορισμό 4.3):

$$\begin{aligned} \Delta_p W(u, v) &= -\eta_1 \cdot \frac{\partial E^{(p)}}{\partial W(u, v)} \\ &= \eta_1 \cdot (t_v^{(p)} - a_v^{(p)}) \cdot h'(\|i^{(p)} - c_u\|), \end{aligned}$$

με το $u \in U_H$, $u_0 \beta \in$ και ένα θετικό η_1 ποσοστού εκμάθησης. Εάν για μια μονάδα παραγωγής β υπάρχει μια προκατειλημμένη αξία β , μπορεί να θεωρηθεί ως βάρος μιας εισερχόμενης σύνδεσης από μια μονάδα με μια σταθερή ενεργοποίηση 1 (παράγραφος της 4.1.2). Για την αλλαγή σε β λαμβάνουμε απλά

$$\Delta_p \theta_v = \eta_1 \cdot \frac{\partial E^{(p)}}{\partial \theta_v} = \eta_1 \cdot (t_v^{(p)} - a_v^{(p)}).$$

Για τις αλλαγές στα κεντρικά διανύσματα έχουμε

$$\begin{aligned} \Delta_p c_u &= -\eta_2 \cdot \frac{\partial E^{(p)}}{\partial c_u} = -\frac{1}{2} \cdot \eta_2 \cdot \sum_{v \in U_0} \frac{\partial e_v^{(p)}}{\partial c_u} \\ &= -\frac{1}{2} \cdot \eta_2 \cdot \sum_{v \in U_0} \left(\frac{\partial (e_v^{(p)})^2}{\partial a_v} \cdot \frac{\partial a_v}{\partial \text{net}_u} \cdot \frac{\partial \text{net}_u}{\partial c_u} \right) \\ &= 2 \cdot \eta_2 \cdot \sum_{v \in U_0} W(u, v) \cdot (t_v^{(p)} - a_v^{(p)}) \cdot h'(\|i^{(p)} - c_u\|) \cdot \Sigma_v^{-1} \cdot (i^{(p)} - c_u), \end{aligned}$$

με το $u \in U_H$ και ένα θετικό ποσοστό η_2 εκμάθησης ο όρος $\Sigma_v^{-1} \cdot (i^{(p)} - c_u)$ είναι το παράγωγο του RBF χ όσον αφορά το επιχειρήμα του.

Οι αλλαγές στις αντίστροφες μήτρες συνδιακύμανσης υπολογίζονται ως εξής:

$$\begin{aligned} \Delta \Sigma_u^{-1} &= -\eta_3 \cdot \frac{\partial E^{(p)}}{\partial \Sigma_u^{-1}} = -\frac{1}{2} \cdot \eta_3 \cdot \sum_{v \in U_0} \frac{\partial e_v^{(p)}}{\partial \Sigma_u^{-1}} \\ &= -\frac{1}{2} \cdot \eta_3 \cdot \sum_{v \in U_0} \left(\frac{\partial (e_v^{(p)})^2}{\partial a_v} \cdot \frac{\partial a_v}{\partial \text{net}_u} \cdot \frac{\partial \text{net}_u}{\partial \Sigma_u^{-1}} \right) \\ &= \eta_3 \cdot \sum_{v \in U_0} W(u, v) \cdot (t_v^{(p)} - a_v^{(p)}) \cdot h'(\|i^{(p)} - c_u\|) \cdot (i^{(p)} - c_u) \cdot (i^{(p)} - c_u)^T \end{aligned}$$

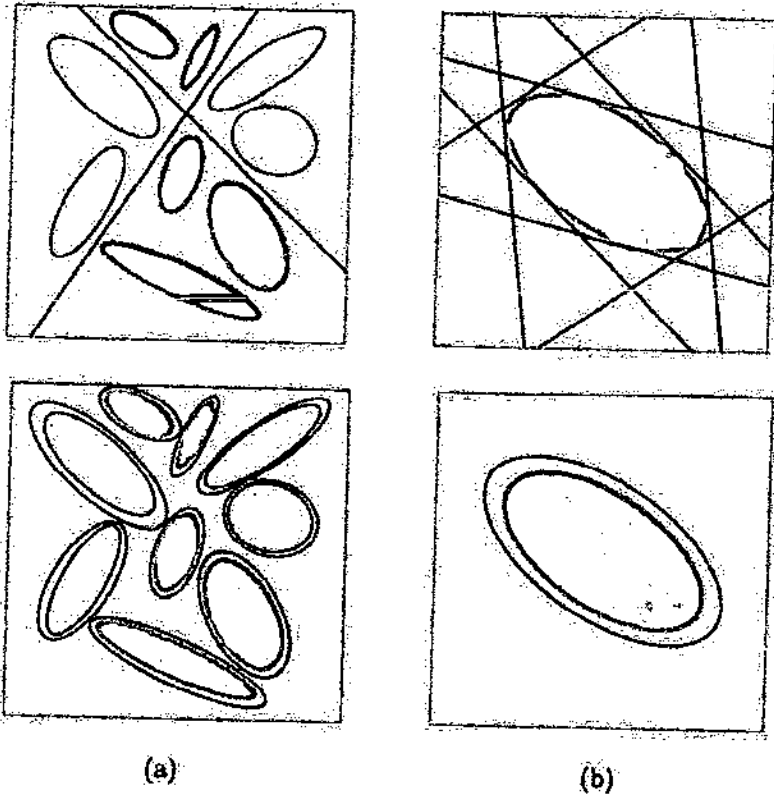
Σχετικά με την εκμάθηση οι κανόνες που περιγράφονται επάνω από το είναι απαραίτητοι για να παρατηρήσουν ότι το μέτρο λάθους όσον αφορά τα βάρη $W(u, v)$ στο στρώμα παραγωγής έχει στην πραγματικότητα ακριβώς ένα ελάχιστο. Εντούτοις, σχετικά με το κεντρικό γ u και τις μήτρες X^{-1} μπορούν να υπάρξουν τοπικά ελάχιστα όπου η διαδικασία εκμάθησης παίρνει κολλημένη. Η κατάρτιση ενός **RBF** δικτύου εκτελείται συνήθως κατά δεσμίδες: οι αλλαγές παραμέτρου συσσωρεύονται κατά τη διάρκεια μιας εποχής, και εφαρμόζονται στο τέλος της εποχής. [Zell, 1994] στα πειράματα αναφέρεται που αποκαλύπτουν ότι μια τροποποίηση των παραμέτρων άμεσα μετά από να διαδώσει ένα σχέδιο δεν επιταχύνει τη διαδικασία εκμάθησης. Αντ' αυτού, τείνει σε μια ασταθή συμπεριφορά εκμάθησης.

Η ερώτηση που προκύπτει είναι αυτό που τα δίκτυα πλεονεκτημάτων RBF προσφέρουν όπου όλες οι παράμετροι εκπαιδεύονται, δεδομένου ότι, τελικά, οι δαπάνες κατάρτισης είναι απέραντες έναντι πολυστρωματικά perceptrons. Ενώ με πολυστρωματικό perceptron κάθε κρυμμένη μονάδα έχει τις ελεύθερες παραμέτρους v (εάν το v είναι η διάσταση της περιοχής εισαγωγής), ο νευρώνας RBF έχει το $v^2 + 1$ ελεύθερες παραμέτρους v . Επιπλέον, ο υπολογισμός ενός RBF είναι διαταγής $O(n^2)$, ενώ ο προσδιορισμός της αξίας μιας sigmoid λειτουργίας ενεργοποίησης είναι μόνο διαταγής $O(v)$

[Haykin, 1994] στις μελέτες αναφέρεται που παρουσίασαν για το παράδειγμα των στοιχείων e **NETalk** θορίου ότι τα δίκτυα RBF όπου όλες οι παράμετροι μπορούν να εκπαιδευθούν γενικεύουν σημαντικά καλύτερα από πολυστρωματικά perceptrons που εκπαιδεύονται από backpropagation. Αφ' ετέρου, δίκτυα RBF όπου τα κέντρα καθορίστηκαν με την self-organizing εκμάθηση και κράτησαν σταθερό κατόπιν σημειωμένο αρκετά χειρότερα στη σύγκριση. Η γενίκευση αυτών των αποτελεσμάτων δεν είναι δυνατή χωρίς περαιτέρω εξέταση. Γενικά, χωρίς οποιουδήποτε

γνώση της δομής του μαθησιακού προβλήματος που είναι αδύνατο να αποφασιστεί εάν μια τοπική ή σφαιρική στρατηγική ταξινόμησης ή προσέγγισης είναι πίο ελπιδοφόρος. Εξαρτάται εξ ολοκλήρου από την πραγματική εφαρμογή, είτε είτε ένα **RBF** δίκτυο είτε ένας πολυστρωματικός perceptron βρίσκεται που λύνει το τρέχον πρόβλημα ικανοποιητικά.

Τέλος, θεωρούμε δύο ακραία παραδείγματα για να διευκρινίσουμε σε ποιες περιπτώσεις πολυστρωματικό perceptron και ποιες περιπτώσεις ένα δίκτυο RBF είναι πίο κατάλληλο. Το σχήμα 32 (α) παρουσιάζει μια κατάσταση όπου μια σφαιρική στρατηγική είναι ευνοϊκότερη. Ακόμα κι αν τα στοιχεία μπορούν προφανώς να τακτοποιηθούν στις συστάδες, οι συστάδες των διαφορετικών κατηγοριών μπορούν εύκολα να χωριστούν από δύο ευθείες γραμμές, ενώ ένα δίκτυο RBF θα απαιτούσε τις πολυάριθμες λειτουργίες βάσης. Μια απολύτως διαφορετική εικόνα αποκαλύπτεται στο σχήμα 32 (β), όπου ένα δίκτυο RBF χρειάζεται μόνο μια κρυμμένη μονάδα, ενώ πολυστρωματικό perceptron θα χρειαζόταν έναν τεράστιο αριθμό hyperplanes για να ταξινομήσει την ελλειπτική συστάδα κατά αποδεκτό τρόπο καλά.



Σχήμα 32 δύο ακραία παραδείγματα για να επεξηγήσει τη διαφορετική καταλληλότητα πολυστρωματικών perceptrons και των δικτύων RBF

3. ΑΝΑΠΤΥΞΗ ΚΑΙ ΔΙΑΔΟΣΗ ΒΛΑΒΗΣ ΣΤΑ ΣΥΝΘΕΤΑ ΥΛΙΚΑ

1. Εισαγωγή

Οι φυσικές θεωρίες της συμπεριφοράς υλικών πρέπει κατά προτίμηση να περιγράφουν την παρατηρηθείσα απάντηση των πραγματικών υλικών. Επιπλέον, ως πολύ επιθυμητή ιδιοκτησία, τέτοιες θεωρίες πρέπει να έχουν την ικανότητα της ενσωμάτωσης στα σχέδια για την περιγραφή της ανταποκρισης των δομών φιαγμένων από πραγματικά υλικά. Για τα σύνθετα, η παρατηρηθείσα συμπεριφορά των εργαστηριακών δειγμάτων κάτω από τα θερμομηχανικά φορτία έχει παράσχει την ώθηση για την ανάπτυξη των προτύπων που κατευθύνονται "στην πρόβλεψη" μερικών χαρακτηριστικών όπως ένας συντελεστής των νεολαιών ή ένας συντελεστής διατμησης. Σαφώς, πολλή πρόοδος θα απαιτούταν προτού να μπορέσουν τέτοια πρότυπα να οδηγήσουν σε μια φυσική θεωρία της συμπεριφοράς υλικών με την επιθυμητή ιδιοκτησία για να περιγραφεί η δομική απάντηση.

Η έννοια μια υλική ιδιοκτησία με τη χρησιμοποίηση μερικών άλλων "βασικών" υλικών ιδιοτήτων έχει οδηγήσει ένα μεγάλο μέρος των προσπαθειών διαμόρφωσης μικρομηχανικής. Για τα σύνθετα, οι βασικές ιδιότητες σε τέτοια πρότυπα λαμβάνονται συχνά ως μετρημένες τιμές των ιδρυτικών ιδιοτήτων, π.χ., οι ελαστικοί συντελεστές και η πίεση παραγωγής. Επιπλέον, κάποιες πληροφορίες σχετικά με τη γεωμετρία των συστατικών απαιτούνται σε αυτά τα πρότυπα. Συχνά, για να κρατήσει τους υπολογισμούς ευκολοχρηστούς, ένα πρότυπο μικρομηχανικής περιορίζεται σε μια επιλεγμένη γεωμετρία των συστατικών. Εάν τα κενά ή οι ραγμές αναγνωρίζονται πρότυποι, περαιτέρω περιορισμοί στη δυνατότητα εφαρμογής του πρότυπου αποτελέσματος από τις μορφές και προσανατολισμούς των κενών και των ραγιών εξετάζομενων. Αναπόφευκτα, επομένως, ένα ευρύ φάσμα των προτύπων μικρομηχανικής έχει προκύψει στη λογοτεχνία. Μερικοί από αυτούς σχετικούς με τη ζημία αναθεωρούνται στα κεφάλαια 1.3 και 4 αυτού του τόμου.

Αυτό το κεφάλαιο αφιερώνεται σε μια διαφορετική προσέγγιση στους μηχανικούς ζημίας, οι αποκαλούμενοι μηχανικοί ζημίας δυνάμειας. Ο στόχος αυτής της προσέγγισης είναι να αναπτυχθεί ένα πλαίσιο στο οποίο οι λογικές περιγραφές των υλικών και των δομικών απαντήσεων κάτω από τα θερμομηχανικά φορτία είναι δυνατές. Η υλική συστατική περιγραφή είναι με τη χρησιμοποίηση της έννοιας ενός αντιπροσωπευτικού στοιχείου όγκου (RVE). Μέσα στον όγκο των ιδιαίτερων οντοτήτων ένα

RVE της ζημίας αντιπροσωπεύεται από τις ποσότητες οι των οποίων μέσοι όροι άνω των RVE παρέχουν τις μεταβλητές τομέων της ζημίας. Με αυτές τις μεταβλητές, που θεωρούνται ως εσωτερικές κρατικές μεταβλητές, και τις συνηθισμένες μηχανικές και θερμικές κρατικές μεταβλητές, μια συστατική θεωρία των υλικών με τη ζημία κατασκευάζεται. Μια τέτοια θεωρία εμπίπτει στη γενική κατηγορία συστατικών θεωριών των υλικών με τις εξελισσόμενες μικροδομές και έχει το ελκυστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα της ύπαρξης ικανή της ενσωμάτωσης στα σχέδια - αναλυτικά ή αριθμητικά - για τον καθορισμό της δομικής απάντησης.

Η έκθεση σε αυτό το κεφάλαιο αναπτύσσεται με πρώτα να μεταχειριστεί τις φυσικές πτυχές της ζημίας στα σύνθετα υλικά και να δώσει έμφαση στα ουσιαστικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα έπρεπε να φερθεί σε μια προσέγγιση μηχανικών ζημίας συνέχειας. Μια ιδιαίτερη προσέγγιση αυτού του τύπου που αναπτύσσεται από αυτόν τον συντάκτη περιγράφεται έπειτα. Η έννοια της ζημίας ως εσωτερικό υλικό κράτος ικανό κάτω από τα θερμομηχανικά φορτία συζητείται και η αντιπροσώπευσή της από τις ποσότητες τομέων περιγράφεται. Το θερμοδυναμικό πλαίσιο είναι κατάλληλο για τη θεωρία ζημίας συνέχειας, συζητείται έπειτα με κάποιες λεπτομέρειες. Ένα μεγάλο σώμα των πειραματικών στοιχείων όσον αφορά το ράγισμα στα σύνθετα φύλλα πλαστικού έχει αντιμετωπιστεί νωρίτερα από αυτόν τον συντάκτη. Τα επιλεγμένα αποτελέσματα συζητούνται εδώ για να επεξηγήσουν μερικές πτυχές της θεωρίας. Τέλος, οι προοπτικές του συνδυασμού της μικρομηχανικής και των μηχανικών ζημίας συνέχειας συζητούνται. Χαρακτηρισμός από τις εσωτερικές μεταβλητές

2. Ζημία

2.1. Φυσικές παρατηρήσεις

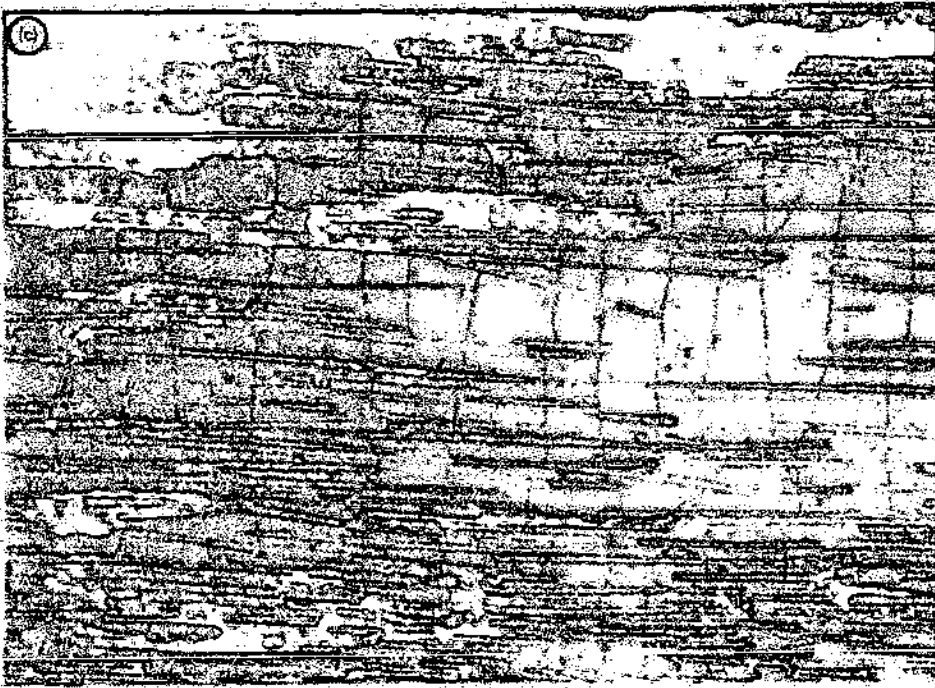
Ένα μεγάλο σώμα των πληροφοριών έχει αναφερθεί σχετικά με τις παρατηρήσεις σχετικές με τη ζημία στα σύνθετα υλικά. Η κλίμακα στην οποία οι παρατηρήσεις έχουν γίνει ποικίλλει από την κλίμακα ενός μέρους της διαμέτρου ινών, π.χ., μέσα στην ενδιάμεση περιοχή ινών, στην παγκόσμια (δομική) κλίμακα. Η χρησιμότητα αυτών των παρατηρήσεων είναι και στην κατανόηση των μηχανισμών που κυβερνούν τα διαλυτικά φαινόμενα καθώς επίσης και στην ανάπτυξη των προτύπων για την περιγραφή της υλικής συμπεριφοράς. Στη χρησιμοποίηση των παρατηρήσεων για την ανάπτυξη ενός προτύπου συνήθως απαιτείται ότι η κλίμακα στην οποία οι παρατηρήσεις έχουν γίνει είναι συμβατή με τη χαρακτηριστική κλίμακα του προτύπου. Παραδείγματος χάριν, σε ένα πρότυπο συνέχειας, όπου οι ίνες και η μήτρα έχουν λερωθεί έξω σε ένα ομοιογενές μέσο, μια παρατήρηση μέσα στην ενδιάμεση περιοχή ινών δεν μπορεί να ενσωματωθεί άμεσα δεδομένου ότι μια διάκριση μεταξύ των δύο συστατικών δεν είναι αποδεκτή. Εντούτοις, υπάρχει ένας τρόπος να ενσωματωθούν οι πληροφορίες σχετικά με τα διαλυτικά φαινόμενα στις διαφορετικές κλίμακες στο ίδιο πρότυπο συνέχειας με τη χρησιμοποίηση της έννοιας της εσωτερικής δομής και των σχετικών διατυπώσεων των συνεχειών με τις εσωτερικές μεταβλητές. Αυτό θα συζητηθεί στον ακόλουθο. Εδώ θα περιγράψουμε αρχικά ένα χαρακτηριστικό σύνολο παρατηρήσεων σχετικών με τη ζημία στα σύνθετα. ενισχύσαμε τις πτυχές ως βασική μονάδα. Δύο συστήματα, ένα με μια κεραμική μήτρα και ένα με μια πολυμερή μήτρα, θα θεωρηθούν για να επεξηγήσουν μια σειρά των πιθανών μηχανισμών της ζημίας.

2.1.1. Κεραμικά σύνθετα μητρών

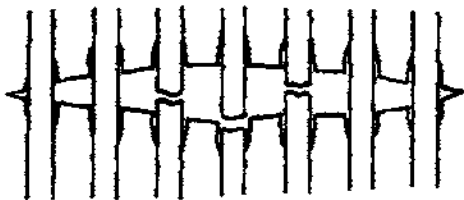
Το σχήμα 1 παρουσιάζει ζημία σε ένα ομοιοκατευθυνόμενο ενισχυμένο με SiC ασβέστιο γυαλί-κεραμικό που υποβάλλεται στην εκτατή φόρτωση παράλληλη στις ίνες. Τα αντίγραφα επιφάνειας ενός δείγματος που φορτώνεται σε τρία επίπεδα αξονικής πίεσης που παρατηρούνται μέσω ενός οπτικού μικροσκοπίου παρουσιάζονται. Σε αυτήν την κλίμακα της παρατήρησης οι ρωγμές που διαμορφώνουν στην εύθραυστη μήτρα φαίνονται. Αυτές οι ρωγμές εκτείνονται μερικές ίνες στις χαμηλά εφαρμοσμένες πιέσεις και αυξάνονται σύντομα πέρα από την ολόκληρη διατομή ενός δείγματος. Το διάστημα μεταξύ των ρωγμών μειώνει με την πίεση όπως περισσότεροι της μορφής αυτών των ρωγμών. Σε μια μειωμένη κλίμακα της παρατήρησης, που εστιάζει στις μεμονωμένες ρωγμές, βρίσκεται [11] ότι αποδεσμεύοντας και γλιστρώντας στην ίνα/μητρών η διεπαφή πραγματοποιείται. Στο αρκετά μεγάλο μήκος μιας ρωγμής μερικές από τις ίνες γεφυρώματος σπάζουν. Το σχήμα 2 επεξηγεί αυτά τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα σχηματικά.

Όταν ένα διαγώνιο φύλλο πλαστικού πτυχών του ίδιου σύνθετου φορτώνεται στην ένταση κατά μήκος μιας κατεύθυνσης ινών τα σχέδια ρωγμών παρατηρηθέντα παρουσιάζονται στο σχέδιο 3.13]. Αυτά τα αντίγραφα επιφάνειας δείχνουν ότι οι ρωγμές διαμορφώνονται αρχικά στις εγκάρσιες πτυχές αυξανόμενος στην κατεύθυνση πάχους και κατά μήκος των ινών σε εκείνες τις πτυχές. Αυτές οι ρωγμές, που περιγράφονται ως εγκάρσιες ρωγμές, είναι στις περισσότερες περιπτώσεις που συλλαμβάνονται στις

διεπαφές μεταξύ των διαμήκων και εγκάρσιων πτυχών. Εντούτοις, στις υψηλότερες εφαρμοσμένες πιέσεις, μερικές από αυτές τις ρωγμές αυξάνονται περαιτέρω στις διαμήκειες πτυχές. Μεταξύ αυτών των ρωγμών στις διαμήκειες πτυχές περισσότερες ρωγμές εμφανίζονται έπειτα.



Σχέδιο λάκκα. Μικρογραφήματα των αντιγράφων επιφάνειας που παρουσιάζουν μήτρα που ραγίζει σε ένα ομοιοκατευθυνόμενο ίνα-ενισχυμένο SiC ασβέστιο aluminosilicate γυαλί-κεραμικό στις διαμήκειες πιέσεις (α) 0,15%, (β) 0,4%, και (γ) 0,8% (από Sorensen και Talreja [11]).

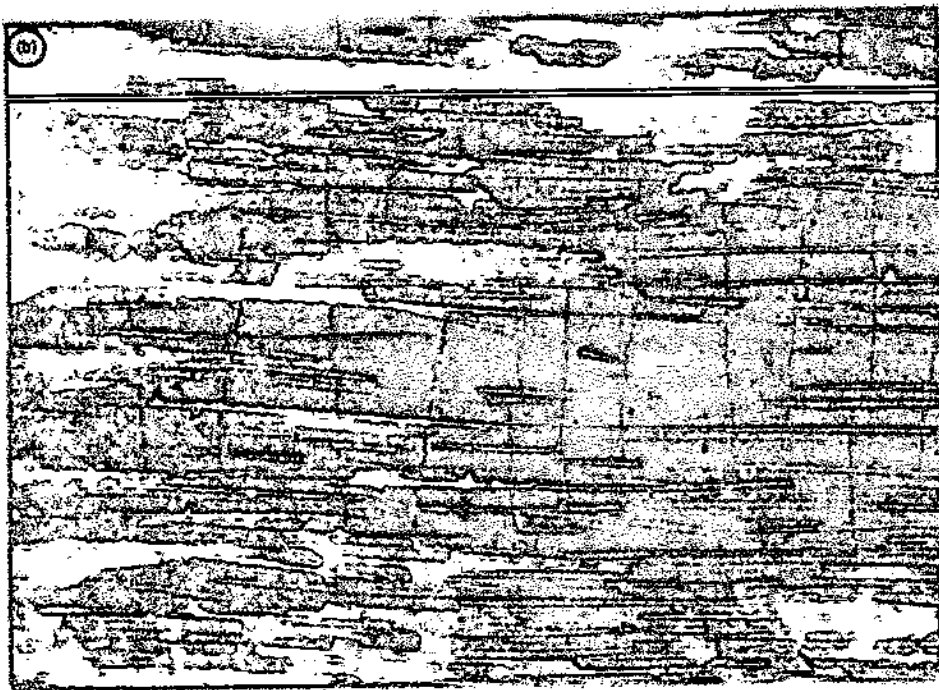
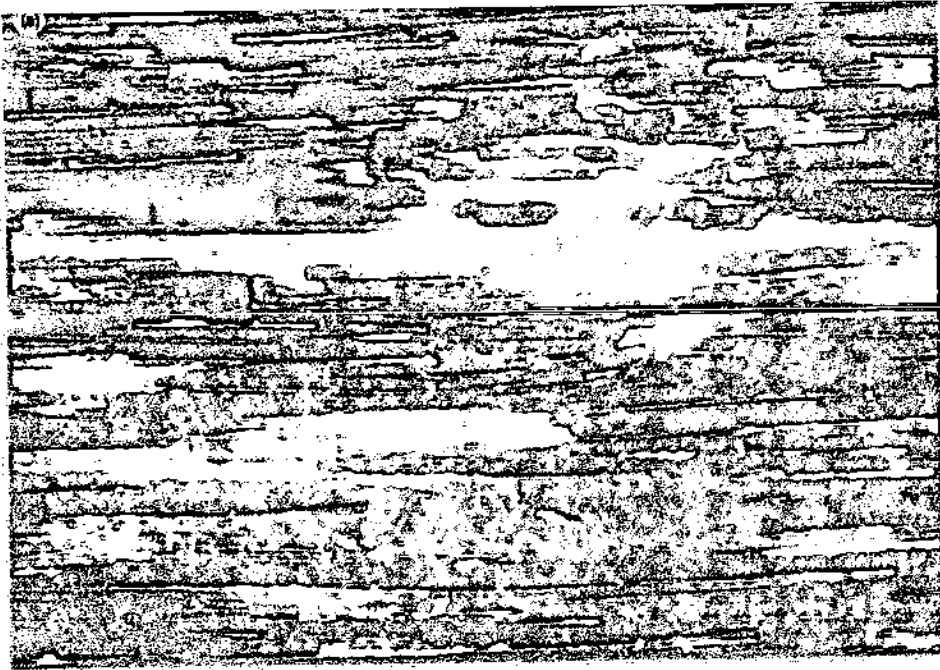


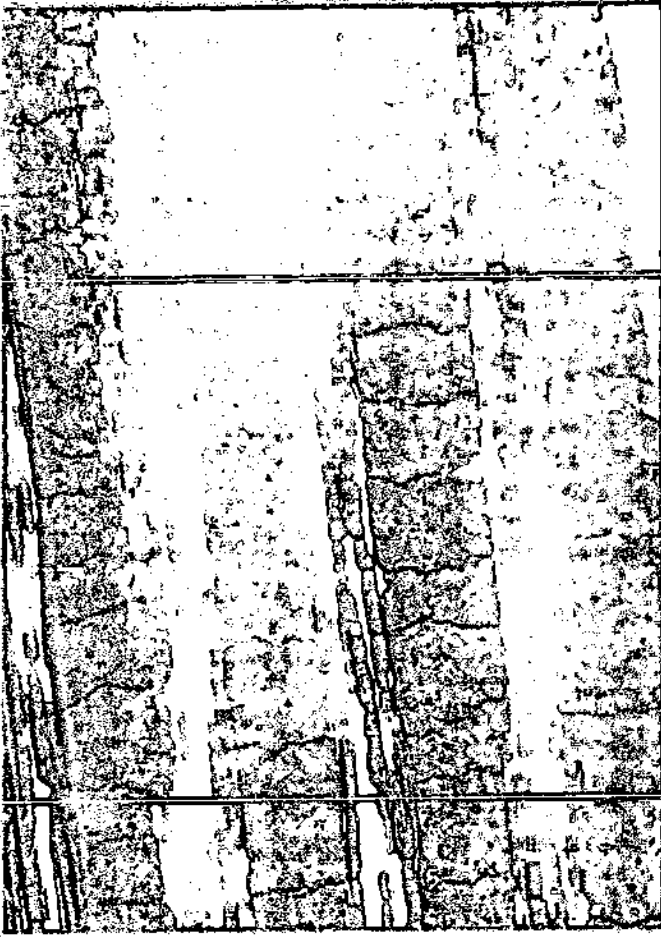
Σχέδιο σχηματική απεικόνιση 2. των λεπτομερειών που παρατηρούνται στη στενή επιθεώρηση των ρωγμών μητρών σε ένα ομοιοκατευθυνόμενο ίνα-ενισχυμένο SiC ασβέστιο γυαλί-κεραμικό. Σπασμένες σημείωση ίνες μέσα και κοντά στα αεροπλάνα ρωγμών καθώς επίσης και την ίνα/την ενδιάμεσες και ολίσθηση μητρών.

οι διεπαφές ινών/μητρών και αυξάνονται έξω στη μήτρα [14]. Από coalescence τέτοιων ρωγμών μορφές εγκάρσιες ρωγμών που τείνει να αυξηθεί πρώτα στην κατεύθυνση πάχους και έπειτα κατά μήκος των ινών.

2.1.2. Σύνθετα πολυμερών μητρών

Μια ομοιοκατευθυνόμενη πτυχή ενός σύνθετου πολυμερών μητρών, π.χ., εποξικό γυαλί ή από γραφίτη-εποξικού, δεν παρουσιάζει οποιαδήποτε πολλαπλάσια μήτρα που ραγίζει όπως αυτός που περιγράφεται ανωτέρω για το ένα

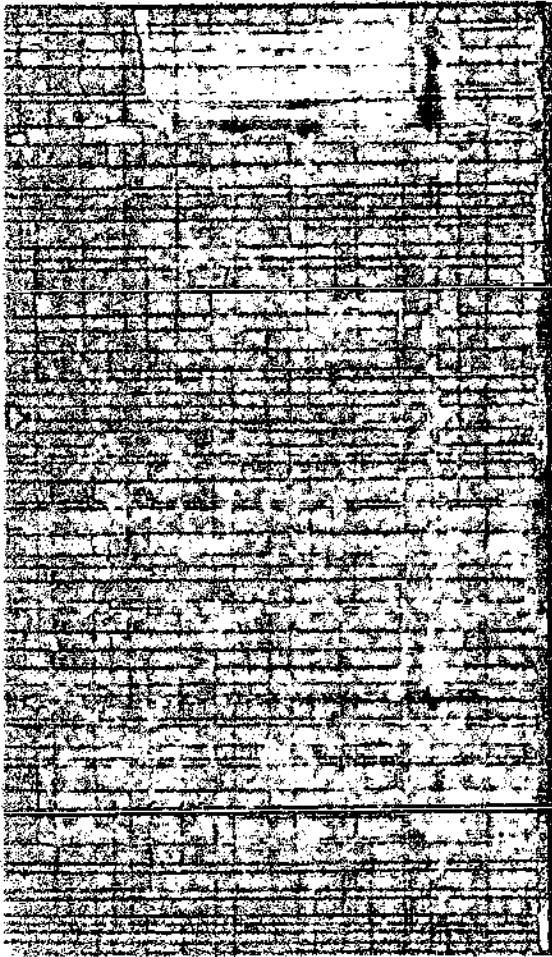




Σχέδιο μικρογράφημα 3. ενός αντιγράφου επιφάνειας που παρουσιάζει ζημία σε ένα διαγώνιο φύλλο πλαστικού πτυχών ίνα-ενισχυμένου του SiC ασβεστίου aluminosilicate γυαλί-κεραμικού (από Karandikar [13]).

κεραμικό σύνθετο μητρών. Κάτω από τη μονοτονική φόρτωση καμία μετρήσιμη ανελαστική παραμορφωση δεν βρίσκεται που μπορεί να αποδοθεί σε μια διαδικασία ραγίσματος τέτοια παραμόρφωση, ενδεχομένως, προκαλείται πιθανά μόνο από το τόξο μητρών. Κάτω από μια πίεση διατμησης, εντούτοις, είναι πιθανό ότι οι ρωγμές μητρών αναπτύσσουν και ενισχύουν το βαθμό ανελαστικότητας που προκαλείται από τη ροή μητρών. Δεν έχει υπάρξει καμία άμεση ή έμμεση παρατήρηση για να υποστηρίξει αυτό.

Η συμπεριφορά μιας ομοιοκατευθυνόμενης πτυχής είναι εξ ολοκλήρου διαφορετική όταν περιβάλλεται από τις πτυχές του διαφορετικού προσανατολισμού σε ένα φύλλο πλαστικού. Μια αποκαλούμενη εκτός άξονα πτυχή, δηλ., μια πτυχή με τον άξονα ινών της που κλίνουν σε μια εφαρμοσμένη κατεύθυνση φορτίων, αναπτύσσει τις πολλαπλάσιες ρωγμές. Αυτές οι ρωγμές, όταν παρατηρείται στην κλίμακα μιας διαμέτρου ινών, εμφανίζονται να είναι ανώμαλης γεωμετρίας, αλλά όταν φαίνονται στην κλίμακα ενός πάχους πτυχών, αυτοί μπορούν να θεωρηθούν ως ευθείες (δηλ., επίπεδος) ρωγμές που βρίσκονται στην κατεύθυνση του πάχους πτυχών και που επεκτείνονται κατά μήκος των ινών. Οι άκρες ρωγμών



Σχέδιο των ακτίνων Χ ακτινογραφία 4. που παρουσιάζει ζημία σε ένα διαγώνιο φύλλο πλαστικού πτυχών από γραφίτη-εποξικού (από Jamison et to Al [15]).

οι διεπαφές πτυχών δεν είναι, εντούτοις, καθορισμένες με σαφήνεια. Όταν παρατηρούνται σε μια άκρη δειγμάτων, οι άκρες ρωγμών βρίσκονται συχνά για να είναι και εξέτρεψαν μερικές φορές κατά μήκος των διεπαφών πτυχών. Κάτω από την κούραση που φορτώνει τη ρωγμή η παρεκτροπή στις διεπαφές πτυχών προκαλεί την ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ [15] που βρίσκεται για να εντοπίζεται. Συνδέονται με αυτήν την ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ οι διαμήκεις ρωγμές (δηλ., διασπάσεις μεταξύ των ινών) επεκτείνοντας τις σύντομες αποστάσεις από τις εγκάρσιες ρωγμές και εμφανίζονται την έκταση της ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ. Το σχήμα 4.15] παρουσιάζει τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που περιγράφονται για ένα από γραφίτη-εποξικό φύλλο πλαστικού.

2.2. Ορισμοί

Πρίν προσπαθεί μια λογική μεταχείριση των μηχανικών της ζημίας είναι ουσιαστικό να υπάρξει μια καθορισμένη με σαφήνεια έννοια της ζημίας. Πολλή σύγχυση υπάρχει ως προς αυτό που εννοείται από "τη ζημία" που οφείλεται στο χαλαρό τρόπο με τον οποίο η λέξη έχει χρησιμοποιηθεί για πολύ. Δεδομένου ότι ισχύει για πολλούς όρους στη φυσική και τους μηχανικούς, ένας μαθηματικός καθορισμός του όρου "ζημία" μπορεί να είναι σημαντικός μόνο μέσα στο πλαίσιο μιας θεωρίας ή ενός προτύπου. Κατά συνέπεια, η κατοχή ενός εννοιολογικού καθορισμού της ζημίας, μιας θεωρίας ή ενός προτύπου μπορεί να κατασκευαστεί από τον οποίο ένας μαθηματικός καθορισμός της ζημίας μπορεί να προκύψει.

Στην παρούσα επεξεργασία, η ζημία αναφέρεται συλλογικά σε όλες τις οντότητες των χαρακτηριστικών μεγεθών, που θεωρούνται της μικροσκοπικής κλίμακας, τα οποία είναι σε θέση τις χαρακτηριστικές διαστάσεις τους κάτω από τις θερμομηχανικές φορτώσεις. Ακριβέστερα, οι ακόλουθοι ορισμοί υποβάλλονται.

Μια οντότητα ζημίας είναι μια χωριστά ευπροσδιόριστη αλλαγή στο μικροδομικό περιεχομένο ενός στερεού που επέρχεται από έναν εσωτερικό ενεργειακό διαλυτικό μηχανισμό. Τα παραδείγματα των οντοτήτων ζημίας σε ένα ινώδες σύνθετο σώμα είναι ρωγμές μητρών ενός χαρακτηριστικού μήκους ίσου

με μερικές διαμέτρους ινών, αποβάλλουν - ή οι ρωγμή-όπως οντότητες που διαμορφώθηκαν στα σημεία των σπασιμάτων ινών, οι περιοχές κατά μήκος μιας επιφάνειας ινών και των περιοχών της ίνας/της διεπαφής μητρών που έχουν υποβληθεί στην ολίσθηση. Σε ένα τοποθετημένο σε στρώματα σύνθετο με τις ευθείες ή υφαμένες ίνες, οι οντότητες ζημίας μπορούν να ταξινομηθούν ως ή διελασματικός και οι χαρακτηριστικές διαστάσεις τους συσχετίζονται έπειτα κατάλληλα με τις χαρακτηριστικές κλίμακες της τοποθετημένης δομής, π.χ., το πάχος στρώματος και το πλάτος μιας υφαμένης δέσμης ινών.

Ένας τρόπος ζημίας είναι μια συλλογική αναφορά σε ένα υποσύνολο των οντοτήτων ζημίας που, εξ αιτίας των γεωμετρικών χαρακτηριστικών γνωρισμάτων τους και των τοπικών κατευθυντήριων δυνάμεων, εξελίσσονται σε παρόμοια μόδα. Τα παραδείγματα των τρόπων ζημίας το ινώδες σύνθετο είναι ρωγμές μητρών που γεφυρώθηκαν από τις ίνες, την ίνα/μήτρα και την ίνα/την ενδιάμεση ολίσθηση μητρών. Για τα τοποθετημένα σε στρώματα σύνθετα οι κοινοί τρόποι ζημίας είναι εγκάρσια ρωγμές και ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ πτυχών.

Τέλος, η ζημία ορίζεται ως μια συλλογή όλων των οντοτήτων ζημίας ή, ισοδύναμα, ως σύνολο όλων των τρόπων ζημίας παρόντων σε ένα σώμα.

2.2.1. Διαμόρφωση της εξέλιξης ζημίας

Μετά από να επιλέξει ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΑ ζημίας, η κατασκευή μιας θεωρητικής πρότυπου μοντελλου: όχι μόλυβδος σε οποιεσδήποτε ιδιαίτερες δυσκολίες, στο μέτρο που κάποιος χρησιμοποιεί τα κλασσικά τυποποιημένα υλικά των σχεδίου. Είναι μια γνωστή διαδικασία, οι κύριες δυσκολίες που είναι στη διαμόρφωση thi

- διαφορετικές ελαστικές συμπεριφορές "έντασης" και "συμπίεσης" (τα μικροϋπολογιστής-κενά και οι ρωγμές μικροϋπολογιστών μπορούν να ανοίξουν ή να κλείσουν ανάλογα με ποια περίπτωση) σύζευξη ζημία-πλαστικότητα.

Για την πρώτη πτυχή του προβλήματος, κάποιος θα βρεί στις αναφορες. [11.16] διάφορες μέθοδοι διαμόρφωσης από τις οποίες μερικά παραδείγματα θα παρουσιαστούν αργά. Η ιδέα για να μην διακρίνει μεταξύ της χρησιμοποίησης συμπεριφορών "έντασης" και "συμπίεσης" τονίζει τις πιέσεις ο: εν πάση περιπτώσει, από γενική άποψη, δεν θα είχε νόημα. Η ιδέα είναι να εκφράζει αυτόν τον μονομερή χαρακτήρα από την άποψη της ενέργειας.

Εξετάστε τα κινηματικά ζημίας που καθορίζεται από τα σύνολα κλιμακωτών μεταβλητών d και δ . Ζημίας

$$\rho\psi = \rho\psi(\epsilon_p, d, \delta, X). \quad (5)$$

Εισάγοντας αντί του ϵ την επιλεγμένη αποτελεσματική πίεση σ που θα καθοριστεί αργότερα, η ελεύθερη ενέργεια είναι μια λειτουργία του σ, d, δ, X

Ελεύθερο ενεργειακό $\rho\psi$ έχει την ακόλουθη λειτουργική εξάρτηση,

2.3. Ανελαστικές πιέσεις, ζημία-πλαστικότητα ένωσης (ή βισκοπλαστικότητα)

Μικροϋπολογιστής-ατέλειες, δηλ., η ζημία, μόλυβδος στην ολίσθηση με την τριβή και έτσι στις ανελαστικές πιέσεις. Γενικότερα, είναι δυνατό να αποκτηθούν τα φαινόμενα συζεύξεων μεταξύ της ζημίας και της πλαστικότητας ή της βισκοπλαστικότητας. Ένας τρόπος να διαμορφωθούν αυτά τα φαινόμενα είναι να χρησιμοποιηθεί η προσέγγιση για την πλαστικότητα ή η βισκοπλαστικότητα. Η ιδέα που φαίνεται να λειτουργεί αρκετά καλά είναι να χιστεί η διαμόρφωση επάνω στις ποσότητες που καλούνται "αποτελεσματικές":

αποτελεσματική πίεση σ

αποτελεσματικό ανελαστικό ποσοστό ϵ_p πίεσης,

όποιοι ικανοποιούν

$$\text{Tr}[\sigma \dot{\epsilon}_p] = \text{Tr}[\dot{\sigma} \dot{\epsilon}_p]. \quad (13)$$

Μια ιδιαίτερη επιλογή είναι

$$\dot{\sigma} = K_0 K^{-1} \sigma, \quad \dot{\epsilon}_p = K^{-1} K_0 \dot{\epsilon}_p. \quad (14)$$

όπου το K δείχνει συντελεστή ελαστικότητας Hooke

Υπενθυμίστε ότι η κατάσταση του υλικού περιγράφεται εντελώς από:

το αποτελεσματικό ανελαστικό

οι μεταβλητές d ζημίας και δ και οι σχετικές δυνάμεις $T\delta$ και T_d

άλλες εσωτερικές μεταβλητές X (όπως, σκληραίνοντας μεταβλητές) και οι συζευγμένες μεταβλητές τους Y . Όλες αυτές οι μεταβλητές είναι αποτελεσματικές ποσότητες. Από την ελεύθερη ενέργεια $\rho\psi$ που έχει

λειτουργική εξάρτηση

$$\rho\psi(\delta, d, \dot{\delta}, X), \quad (15)$$

κλασικά, υποθέτουμε:

"γραμμική ελαστικότητα"

κανένας-ένωση $\rho\psi = \rho\psi_1(\sigma, d, \delta) + \rho\psi_2(X)$

και κάποιος βρίσκει τις ακόλουθες εξισώσεις, (6) και

$$\varepsilon_e = (\varepsilon - \varepsilon_p) = K_0^{-1}\delta, \quad (16)$$

$$(7) \quad Y = G(X), \quad (17)$$

$$\omega = \text{Tr}[\delta \dot{\varepsilon}_p] + Y_d \dot{d} + Y_\delta \dot{\delta} - YX, \quad \text{and} \quad (18)$$

$$\omega \geq 0. \quad (19)$$

όπου το Y είναι μια εξάρτηση χειριστών του υλικού. Ο μηχανικός διασκεδασμός είναι

Προκειμένου να προβλεφθεί η κατάσταση του υλικού και της χρονικής εξάρτησής του, τα πρότυπα με τις εσωτερικές μεταβλητές, που είναι τώρα κοινές, χρησιμοποιούνται. Η συστατική σχέση, που βασίζεται στις αποτελεσματικές ποσότητες και που καθορίζει τις ανελαστικές πιέσεις, λαμβάνει τη μορφή

$$\frac{d}{dt} \begin{bmatrix} \dot{\varepsilon}_p \\ -X \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} \delta \\ Y \end{bmatrix}, \quad \dot{\varepsilon}_p = X = 0 \quad \text{at } t = 0, \quad (20)$$

όπου το B είναι χειριστής που εξαρτάται από το υλικό. Το B πρέπει να είναι θετικό προκειμένου να ικανοποιηθεί ο δεύτερος νόμος της θερμοδυναμικής. Για τις μη-αποτελεσματικές ποσότητες, αυτός ο τύπος προτύπου είναι κλασικός για την πλαστικότητα και το βισκοελαστικότητα

Παρατηρήσεις. Με τη διατύπωση που περιγράφηκε ανωτέρω, παρατηρήθηκε ότι οι συμπεριφορές "έντασης" και "συμπίεσης" δεν έπρεπε να διακριθούν, ακόμα κι αν εμφανίστηκαν να διαφέρουν μεταξύ τους όταν οι σκληραίνοντας καμπύλες εξετάζονται. Για τα σύνθετα, η διαμόρφωση πλαστικότητας περιγράφει τα φαινόμενα που μπορούν να είναι διαφορετικά από την κλασική πλαστικότητα των μετάλλων και των κραμάτων. Εντούτοις, αυτά τα φαινόμενα, που συσχετίζονται με τη ζημία, περιλαμβάνουν την ολίσθηση με την τριβή.

3. Ζημία και πλαστικότητα

Το σχήμα 6 παρουσιάζει σκληραίνοντας λειτουργία που προέρχεται από τις δοκιμές έντασης και συμπίεσης σε 45° το κατώτατο όριο είναι ίσο με $< \rho 12/2$ και το π δείχνει τη συσσωρευμένη πλαστική πίεση που θα είναι αργότερα.

Η αποτελεσματικές πίεση και η πίεση είναι

$$\begin{aligned} \dot{\sigma}_{ij} &= \sigma_{ij}, & \dot{\varepsilon}_{ijp} &= \dot{\varepsilon}_{ijp}, & \text{for } i=j, \\ \dot{\sigma}_{ij} &= \frac{\sigma_{ij}}{1-d}, & \dot{\varepsilon}_{ijp} &= \dot{\varepsilon}_{ijp}(1-d), & \text{for } i \neq j. \end{aligned} \quad (28)$$

Η περιοχή ελαστικότητας είναι κοντά

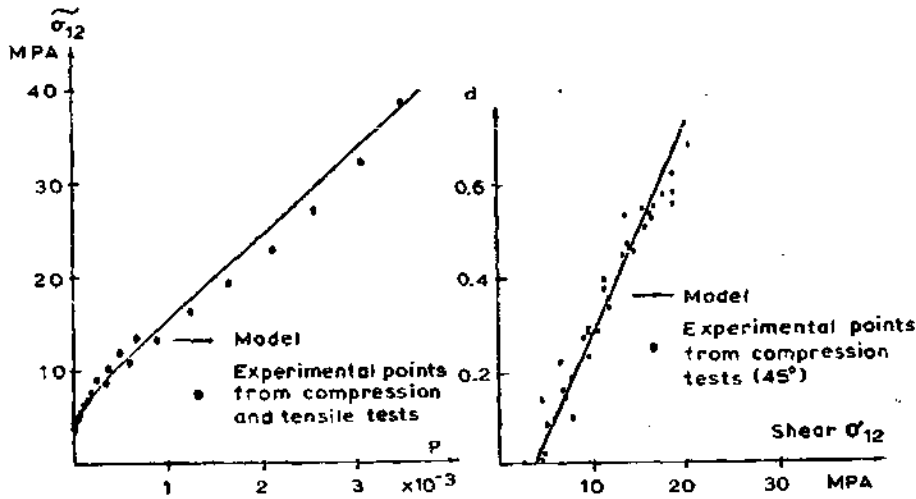
$$f(\delta, r) = \left(\left[\frac{\sigma_{12}^2}{G_{12}^0} + \frac{\sigma_{23}^2}{G_{23}^0} + \frac{\sigma_{31}^2}{G_{31}^0} G_m^0 \right]^{1/2} - r \right) \leq 0, \quad (29)$$

where

$$\frac{1}{G_m^0} = \frac{1}{3} \left[\frac{1}{G_{12}^0} + \frac{1}{G_{23}^0} + \frac{1}{G_{31}^0} \right]. \quad (30)$$

Προκειμένου να περιγραφεί η εξέλιξη της αποτελεσματικής πλαστικής πίεσης, ένα σχετικό πρότυπο με την ισοτροπική σκλήρυνση χρησιμοποιείται:

$$r = L(p), \quad (31)$$



Σχέδιο δοκιμή 6. 45° (αεροπλάνο 1-2).

$$p = \int_0^1 dt \left[(\dot{\tilde{\epsilon}}_{p12}^2 G_{12}^0 + \dot{\tilde{\epsilon}}_{p23}^2 G_{23}^0 + \dot{\tilde{\epsilon}}_{p31}^2 G_{31}^0) \frac{1}{G_m^0} \right]^{1/2}. \quad (32)$$

Η λειτουργία L μπορεί να καθοριστεί από μια δοκιμή έντασης 45° (ορθοτροπικό αεροπλάνο). Περισσότερες λεπτομέρειες μπορούν να βρεθούν στα refs. [14.26]. Οι ανελαστικές πιέσεις καθορίζονται κοντά

$$\dot{\tilde{\epsilon}}_{ij} = 0 \quad \text{for } i = j, \quad (33)$$

$$\dot{\tilde{\epsilon}}_{12p} = \frac{\dot{p} \tilde{\sigma}_{12}}{r G_{12}^0}, \quad \dot{\tilde{\epsilon}}_{23p} = \frac{\dot{p} \tilde{\sigma}_{23}}{r G_{23}^0}, \quad \dot{\tilde{\epsilon}}_{31p} = \frac{\dot{p} \tilde{\sigma}_{31}}{r G_{31}^0}, \quad (34)$$

όπου

$$\dot{p} = \frac{1}{rL} \left\langle \frac{\tilde{\sigma}_{12} \dot{\tilde{\sigma}}_{12}}{G_{12}^0} + \frac{\tilde{\sigma}_{23} \dot{\tilde{\sigma}}_{23}}{G_{23}^0} + \frac{\tilde{\sigma}_{31} \dot{\tilde{\sigma}}_{31}}{G_{31}^0} \right\rangle, \quad \text{if } f(\tilde{\sigma}, r) = 0, \quad (35)$$

διαφορετικά.

Παρατήρηση 1. Προκειμένου να είναι πλήρης, κάποιος πρέπει να προσθέσει ένα κριτήριο ρήξης, $\epsilon_c \leq \epsilon_{ij} \leq \epsilon_t$, για (i,j) οποιοδήποτε $i = j$.

Η μέγιστη πίεση εκτιμάει ϵ_t και ϵ_c είναι υλικές σταθερές ϵ_t (αντίστοιχα ϵ_c) καθορίζεται από μια δοκιμή έντασης (αντίστοιχα μια δοκιμή συμπίεσης) σε μια κατεύθυνση ινών.

Το πλήρες πρότυπο έχει ελεγχθεί στις πολυάριθμες πειραματικές δοκιμές στην παρ. [14], όπου ένα μέσος-πρότυπο αναπτύσσεται επίσης.

Παρατήρηση 2. Η υλική διαμόρφωση μπορεί να είναι διαφορετική για άλλα τρισδιάστατα υλικά παραδείγματος χάριν, ορισμένα κεραμικός-κεραμικά σύνθετα έχουν μια καθαρώς ελαστική συμπεριφορά, δηλ., ανελαστικές πιέσεις δεν είναι παρόντα. Πρώτο μακρομοντέλο καθορίζεται από την ελεύθερη ενέργεια,

$$\rho\psi(\sigma, d) = \frac{1}{2} \left\{ \frac{1}{E_0(1-d)} \text{Tr}[\langle \sigma \rangle \langle \sigma \rangle] - \frac{\nu_0}{E_0} (\text{Tr}^2[\sigma] - \text{Tr}[\sigma\sigma]) \right\} + \frac{1}{2E_0} \text{Tr}[\langle -\sigma \rangle \langle -\sigma \rangle]. \quad (36)$$

Αυτό το πρότυπο εξετάζει την υπόθεση πίεσης αεροπλάνων και $\langle \rangle$ δείχνει το θετικό μέρος ενός χειριστή. Επιπλέον, ο συστατικός νόμος που καθορίζει το κράτος ζημιάς και την εξέλιξή του είναι, για τις φορτώσεις,

$$d = h(Y_d), \quad Y_d = \sup_{\epsilon \leq \epsilon_t} \left[\frac{\text{Tr}[\langle \sigma \rangle \langle \sigma \rangle]}{2E_0(1-d)^2} \right], \quad (37)$$

όπου το h είναι μια κλιμακωτή λειτουργία ανάλογα με το υλικό.

4. Παράδειγμα 2: μέσος-διαμόρφωση ζημίας των φυλλόμορφων δομών

Υπενθυμίστε ότι το σύνθετο μπορεί να είναι από:

ένα ενιαίο στρώμα που είναι ομοιογενές σε όλο το πάχος

μια διεπαφή που είναι μια οντότητα επιφάνειας που συνδέει δύο παρακείμενα στρώματα και που εξαρτάται από τις σχετικές κατευθύνσεις των ινών τους.

Αυτές οι οντότητες που διαμορφώνονται και που προσδιορίζονται, η ανασύνθεση της μηχανικής συμπεριφοράς οποιουδήποτε φύλλου πλαστικού είναι έπειτα ένας σχετικά εύκολος στόχος. Τα ενιαία στρώματα με μόνο μια ενισχυμένη κατεύθυνση εξετάζονται εδώ.

4.1. Διαμόρφωση του ενιαίου στρώματος

4.1.1 συμπεριφορές έντασης και συμπίεσης στην κατεύθυνση ινών

Αυτές οι συμπεριφορές είναι διαφορετικές. Προκειμένου να αποκτηθεί η συμπεριφορά συμπίεσης, η κάμπτοντας δοκιμή τέσσερις-σημείου που περιγράφηκε στην παρ. [27] χρησιμοποιήθηκε. Το κύριο αποτέλεσμα ήταν ότι η συμπεριφορά είναι καθαρώς ελαστική αλλά μη γραμμική. Ο συντελεστής συμπίεσης μπορεί να γραφτεί όπως

$$E_1 = E_1^0 \left[1 - \frac{\alpha}{E_1^0} \langle -\sigma_{11} \rangle_+ \right], \quad (38)$$

όπου το α είναι υλικό ένα σταθερό και $\langle \rangle_+$ δείχνει το θετικό μέρος.

4.1.2. ΖΗΜΙΑ ΚΙΝΗΜΑΤΚΩΝ ΙΝΩΝ

Ο προσδιορισμός και η διαμόρφωση του ενιαίου στρώματος πραγματοποιούνται με την υπόθεση του αεροπλανου. Σε αυτό που ακολουθεί, οι υπογεγραμμένοι 1.2 και 3 υποδεικνύουν την κατεύθυνση ινών, την εγκάρσια κατεύθυνση μέσα στο στρώμα, και την έξω ΕΠΙΠΕΔΗ κατεύθυνση, αντίστοιχα.

Εκτός από τα εύθραυστα σπασίματα στην κατεύθυνση ινών, η μήτρα και οι διεπαφές ίνα-μητρών μέσα στο στρώμα επιδεινώθηκαν κατά τρόπο πολύ συγκεκριμένο: μικρορωγμές είναι παράλληλα στην κατεύθυνση ινών. Ένας υπολογισμός ομογενοποίησης δείχνει ότι οι μόνοι συντελεστές που τροποποιούνται είναι ο εγκάρσιος συντελεστής E_2 και ο συντελεστής G_{12} διατμηση. Τα άλλα ανεξάρτητα ελαστικά χαρακτηριστικά E_1 και τα ν_{12} παραμένουν σταθερά. Αυτές οι ιδιότητες επιβεβαιώνονται από τις πειραματικές παρατηρήσεις. Η άθικτη υλική ενέργεια πίεσης γράφεται στην ακόλουθη μορφή, που λαμβάνεται με το χωρισμό της ενέργειας ενέργεια ενέργειας και στη "συμπίεσης" "έντασης",

$$E_D = \frac{1}{2} \left[\frac{\langle \sigma_{11} \rangle_+^2}{E_1^0} + \frac{\varphi \langle -\sigma_{11} \rangle_+}{E_1^0} - \left(\frac{\nu_{12}^2}{E_1^0} + \frac{\nu_{21}^2}{E_2^0} \right) \sigma_{11} \sigma_{22} \right. \\ \left. + \frac{\langle \sigma_{22} \rangle_+^2}{E_2^0} + \frac{\langle -\sigma_{22} \rangle_+^2}{E_2^0} + \frac{\sigma_{12}^2}{G_{12}^0} \right], \quad (39)$$

όπου (το π είναι μια υλική λειτουργία που καθορίζεται έτσι ώστε $\partial^2 E_D / \partial^2 \sigma_{11} = 1/E_{11}$).

Υποθέτοντας την εγκάρσια ακαμψία στη συμπίεση για να είναι ίση με E_2 , το ένα λαμβάνει την ακόλουθη ενέργεια για το χαλασμένο υλικό,

$$E_D = \frac{1}{2} \left[\frac{\langle \sigma_{11} \rangle_+^2}{E_1^0} + \frac{\varphi \langle -\sigma_{11} \rangle_+}{E_1^0} - \left(\frac{\nu_{12}^2}{E_1^0} + \frac{\nu_{21}^2}{E_2^0} \right) \sigma_{11} \sigma_{22} \right. \\ \left. + \frac{\langle -\sigma_{22} \rangle_+^2}{E_2^0} + \frac{\langle \sigma_{22} \rangle_+^2}{(1-d)E_2^0} + \frac{\sigma_{12}^2}{(1-d)G_{12}^0} \right], \quad (40)$$

ήταν d και d' είναι δύο κλιμακωτές εσωτερικές μεταβλητές που είναι στάθερες σε όλο το πάχος. Καθορίζουν τη ζημία ενός ενιαίου στρώματος. Οι συζευγμένες μεταβλητές που συνδέονται με τη μηχανική διαχυση είναι

$$Y_d = -\rho \frac{\partial \langle \langle \psi \rangle \rangle}{\partial d} \Big|_s = \frac{\partial \langle \langle E_D \rangle \rangle}{\partial d} \Big|_s = \frac{1}{2} \frac{\langle \langle \sigma_{12}^2 \rangle \rangle}{G_{12}^0 (1-d)^2}, \quad (41)$$

$$Y_{d'} = -\rho \frac{\partial \langle \langle \psi \rangle \rangle}{\partial d'} \Big|_s = \frac{\partial \langle \langle E_D \rangle \rangle}{\partial d'} \Big|_s = \frac{1}{2} \frac{\langle \langle \sigma_{22} \rangle_+^2 \rangle \rangle}{2E_{22}^0 (1-d')^2}, \quad (42)$$

όπου ψ είναι η ελεύθερη ενέργεια και $\ll ED \gg$ δείχνει τη μέση αξία μέσω του πάχους,

4.1.3. Νόμος εξέλιξης ζημίας για τη στατική φόρτωση, έχουμε

$$d_{ij} = A_d (Y_{dij}, Y_{dij}, \tau \leq t), \quad d'_{ij} = A_d (Y_{dij}, Y_{dij}, \tau \leq t), \quad (43)$$

όπου οι χειριστές A_d και A'_d είναι υλικά χαρακτηριστικά. Ας καθορίσουμε:

$$\underline{Y}_d = \sup_{i \leq j} Y_{di}, \quad \text{and} \quad \underline{Y}'_d = \sup_{i \leq j} Y'_{di}. \quad (44)$$

4.2.2. δοκιμή έντασης $[+45, -45]_2s$ στο δείγμα, σχέδιο 9

ε^* , σ^* δείξτε τη διαμήκη πίεση και τη διαμήκη μέση πίεση, αντίστοιχα. Οι πιέσεις για μια πτυχή είναι

$$\sigma_{11} = \sigma_{22} = \sigma_{33} = \frac{1}{2} \sigma^*. \quad (57)$$

Οι ανελαστικές πιέσεις ικανοποιούν

$$\dot{\varepsilon}_{p22} = a^2 \dot{\varepsilon}_{p12} \frac{1-d}{1-d'}, \quad (58)$$

όπου η σταθερά a^2 είναι ίση με 0,38 για T300-914 και Im6-914. Κατόπιν

$$\dot{\varepsilon}_{p22} = a^2 \left(\frac{1-d}{1-d'} \right)^2 \dot{\varepsilon}_{p12}. \quad (59)$$

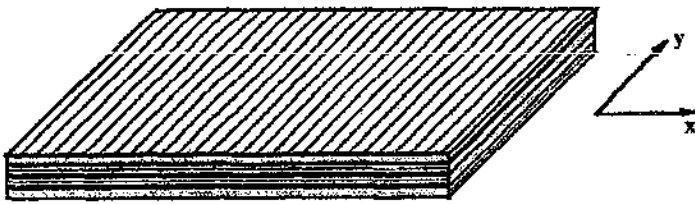


Fig. 8. $[90,0]_{2s}$ specimen.

Η μεταβλητή ζημία d φθάνει στις μεγάλες τιμές περίπου 0.6-0.7. Η μέγιστη αξία συνδέεται με ένα φαινόμενο αστάθειας. Γύρω από αυτό το κρίσιμο σημείο, κάποιο έχει

$$\varepsilon_{p22} \ll \varepsilon_{p12}, \quad \text{and} \quad \varepsilon_{22}, \varepsilon_{11} \ll \varepsilon_{12} \simeq \varepsilon^*. \quad (60)$$

Επιπλέον

$$R(p) + R_0 = \sqrt{1+d^2} \frac{1}{2} \sigma^*, \quad p = \sqrt{2} \dot{\varepsilon}_{p12}, \quad \dot{\varepsilon}_{p12} = (1-d) \dot{\varepsilon}_{p12}, \quad (61)$$

$$\sigma^* \simeq 2G_{12}^0 (1-d)(\varepsilon^* - \varepsilon_{p12}), \quad (62)$$

$$d = \left\langle \frac{\sigma^*}{2} \left(\frac{b}{2E_2^0(1-bd)^2} + \frac{1}{G_{12}^0(1-d)} \right)^{1/2} - Y_0^{1/2} \right\rangle_+ / Y_0^{1/2}, \quad d' = bd. \quad (63)$$

4.3. Διαμόρφωση διεπαφών, σχέδιο 10

Η διεπαφή είναι μια οντότητα επιφάνειας (μηδέν πάχους) που εξασφαλίζει μεταφορές πίεσης και μετατοπίσεων από μια πτυχή σε άλλη. Εξαρτάται από το σχετικό προσανατολισμό των ανώτερων και χαμηλότερων πτυχών. Οι ασυνέχειες μετατοπίσεων δείχνονται κοντά

$$[U] = U^+ - U^- = [U]_1 N_1 + [U]_2 N_2 + [W] N_3. \quad (64)$$

Οι άξονες N_1, N_2 συνδέονται με τις διχοτομίες των κατευθύνσεων των ινών. Για τη διεπαφή, ο ίδιος τύπος διαμόρφωσης που εισήχθη για τη στοιχειώδη πτυχή χρησιμοποιήθηκε. Οι λεπτομέρειες μπορούν να ιδρυθούν στα refs. [16.17.28].

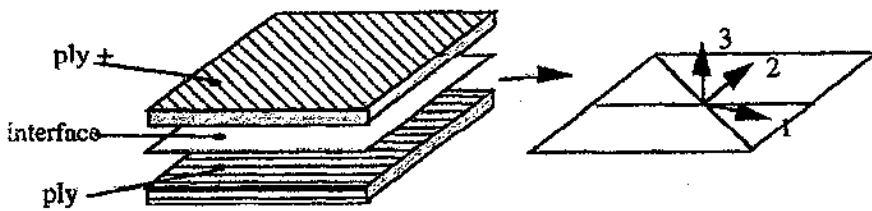
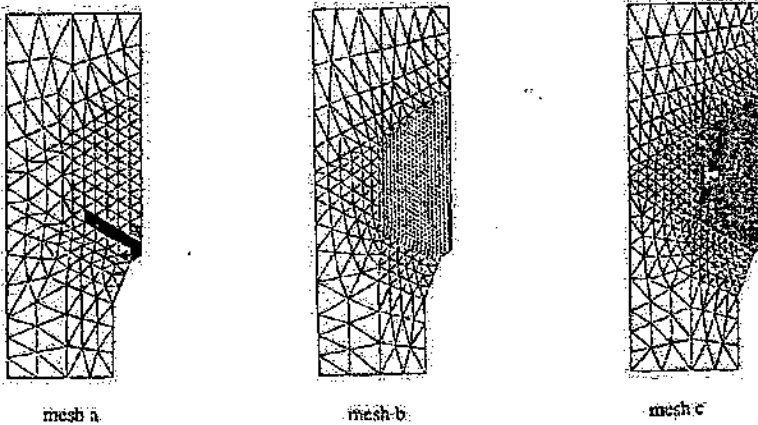
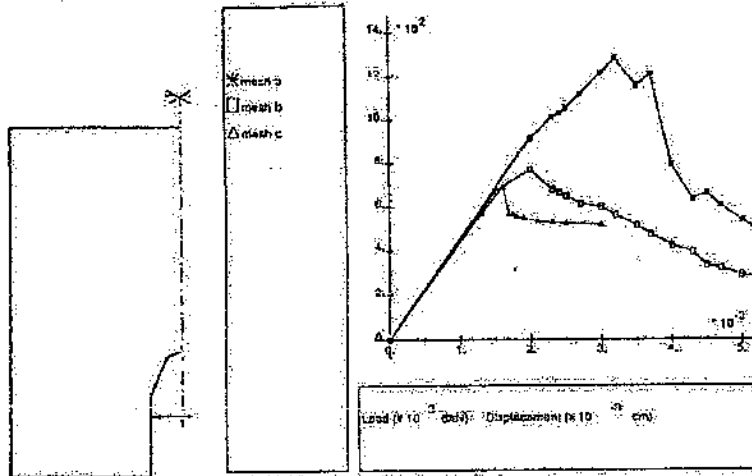


Fig. 10. Interface modelling.

5. Υπολογισμός σπασίματος: δυνατότητες και δυσκολίες



Σχέδιο υπολογισμός ρήξης 11, που χρησιμοποιεί μια μακρο-διαμόρφωση ζημίας.

Το φαινόμενο ρήξης εμφανίζεται μετά από δύο στάδια. Στο πρώτο στάδιο, το μικροϋπολογιστής-κενό και μικροραγμές η αύξηση είναι σχεδόν ομοιόμορφα: αυτό είναι το στάδιο έναρξης. Από τον κρίσιμο

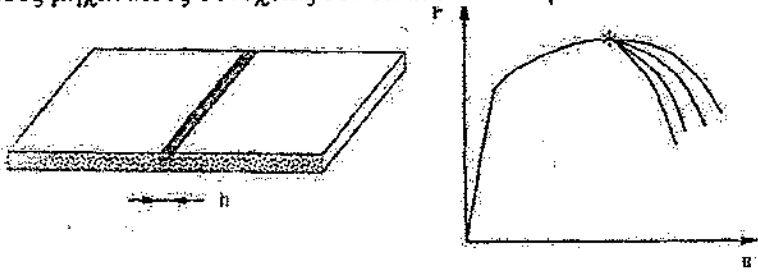
δείξτε (ή από ένα σημείο ακριβώς εκτός από το) την πίεση και επίσης η ζημία γίνεται όλο και περισσότερο εντοπισμένη: μια μακρο-ραγμή εμφανίζεται και αυξάνεται έως ότου γίνεται ασταθής. Αν και το πρώτο στάδιο περιγράφεται καλά από αυτήν την προσέγγιση ζημίας, η πλήρης προσομοίωση της ρήξης οδηγεί στις σοβαρές δυσκολίες. Ο στόχος είναι να αναπτυχθεί μια αληθινή θεωρία ρήξης για τις σύνθετες δομές.

Το σχήμα 11 εξηγεί αυτές τις δυσκολίες με την εξέταση macro-model ζημίας. Αφορά μια συγκεκριμένη δομή και αναλύθηκε στην παρ. [29]. Η εξάρτηση πλέγματος είναι πολύ σημαντική κατά τη διάρκεια του δεύτερου σταδίου της διαδικασίας ρήξης (μετά από το κρίσιμο σημείο). Οι καμπύλες φορτίο-μετατοπίσεων είναι πολύ διαφορετικές για κάθε ένα από τα τρία πλέγματα. Αυτό είναι επίσης η περίπτωση για τις τρεις συνολικά χαλασμένες περιοχές που μιμούνται τη ραγμή.

Επομένως το πρόβλημα είναι: πώς να ακολουθήσει μια μετα-κρίσιμη λύση ανεξάρτητα από το μέγεθος

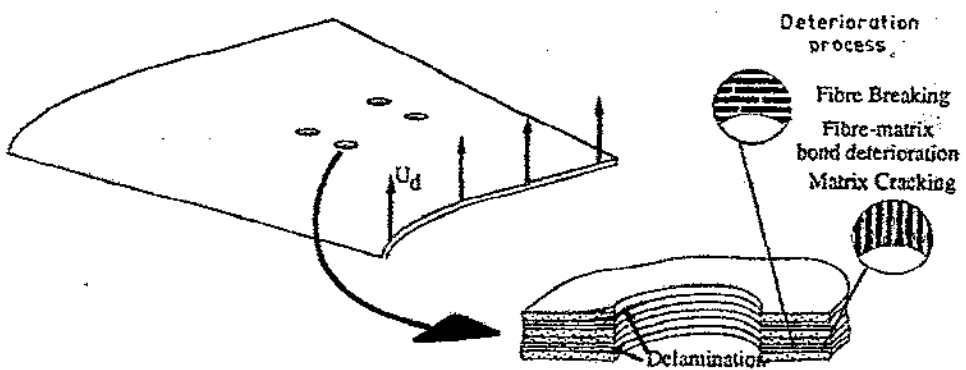
στοιχείων; Μια απάντηση δίνεται από την έννοια περιοριστών εντοπισμού που εισάγεται στα refs. [30.31] - είναι μια διαδικασία συστηματοποίησης οι πρόσθετοι όροι ενισχύονται από μια δεύτερη προσέγγιση κλίσης ή από μια μη-τοπική προσέγγιση. Οι όροι καθυστέρησης μπορούν επίσης να εισαχθούν. Για να πάτε βαθύτερη στην κατανόηση αυτών των δυσκολιών, θεωρήστε μια ακριβή λύση. Καθαρή ανάλυση έντασης ενός σύνθετου πιάτου που χρησιμοποιεί μια μακρο-διαμόρφωση ζημίας. Οι ίνες υποτίθεται ότι ήταν κάθετες στην κατεύθυνση φόρτωσης (βλ. το σχέδιο 12). Από το κρίσιμο σημείο, οι πολυάριθμες διαφορετικές λύσεις μπορούν να εμφανιστούν.

Αυτό το παράδειγμα δείχνει ότι οι θεωρητικές μετα-κρίσιμες λύσεις είναι πιο πολυάριθμες από ότι φυσική πραγματικότητα. Κάτι ομοιογενές σε ένα μήκος λείπει κατά συνέπεια τα κλασικά πρότυπα από τους μηχανικούς συνέχειας δεν είναι ικανοποιητικά.



12, δοκιμή έντασης για το δείγμα $a [90]$ s που παρουσιάζει αστάθεια στη συμπεριφορά δύναμη-μετατοπίσεων.

Μια μέσος-διαμόρφωση ζημίας εισάγει το ιδιαίτερο μήκος και συνεπώς αυτές οι δυσκολίες εξαφανίζονται, τουλάχιστον μερικώς. Για τα φυλλόμορφα σύνθετα, υπενθυμίστε ότι η διεπαφή είναι το όριο ενός μικρού στρώματος και έπειτα το πρότυπο περιέχει ένα χαρακτηριστικό μήκος. Για την ενιαία διαμόρφωση στρώματος, ένα σταθερό κράτος ζημίας μέσω του πάχους έχει οριστεί και έτσι το πάχος της στοιχειώδους πτυχής έχει εισαχθεί ως χαρακτηριστικό μήκος. Για να είναι σίγουρη, η μέσος-διαμόρφωση ζημίας με την επίδραση καθυστέρησης τώρα συστηματικά χρησιμοποιείται, για να περιγράψει ακόμη και το εύθραυστο σπάσιμο της ίνας [5].



Σχέδιο 13. ανάλυση ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ

Διάφοροι υπολογισμοί έχουν πραγματοποιηθεί. Παραδείγματος χάριν, η ανάλυση ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ μιας φυλλόμορφης δομής με μια αρχικά κυκλική τρύπα, που λαμβάνει υπόψη όλους τους μηχανισμούς ζημίας που περιγράφονται προηγουμένως, όπως το παρουσιασμένο σχέδιο 13, έχει μελετηθεί στα refs. [28.32].

6. Συμπέρασμα

Αυτή η προσέγγιση μηχανικών ζημίας φαίνεται να είναι ένα ισχυρό εργαλείο για την πρόβλεψη της σύνθετης επιδείνωσης δομών και, ειδικότερα, των ανελαστικών πιέσεων. Μερικές γενικές εργαλεία και έννοιες έχουν προταθεί για την ανάπτυξη των συγκεκριμένων υλικών προτύπων ζημίας. Και macroμοντελλο-πρότυπο ζημίας έχουν εκτεθεί λεπτομερώς για δύο διαφορετικά υλικά.

Η χρήση της μέσος-διαμόρφωσης ζημίας επιτρέπει να μιμηθεί και να προβλέψει το κράτος ζημίας και τις ανελαστικές πιέσεις σε οποιοδήποτε σημείο της δομής μέχρι το πλήρες σπάσιμο. Ένα τέτοιο πρότυπο ζημίας περιλαμβάνει μια λεπτότερη διαμόρφωση των φυσικών φαινομένων, αλλά οι παράμετροί της δεν

μπορούν να καθοριστούν γενικά από τις τυποποιημένες μηχανικές δοκιμές. Επιπλέον, ο υπολογισμός χρειάζεται μια υπολογιστική προσέγγιση. Για να είναι πλήρες, Ηευαισθησια στις ατέλειες, δηλ., στις μεγάλες ατέλειες, πρέπει να μελετηθεί. Η περαιτέρω έρευνα είναι φυσικά απαραίτητη για να επιτύχει μια αληθινή θεωρία ρήξης.

7. η βάση ενός προτύπου

Υπάρχουν πολλοί τύποι προτύπων:

εμπειρικά πρότυπα που παρέχουν μια μαθηματική περιγραφή σε ένα σύνολο πειραματικών στοιχείων, χωρίς τη δύναμη της πρόβλεψης (μια εξίσωση για να εγκαταστήσει τη s-n καμπύλη που περιγράφεται ανωτέρω είναι ένα καλό παράδειγμα)

φυσικά πρότυπα που έχουν μια προφητική ικανότητα δεδομένου ότι είναι βασισμένα στις γνωστές φυσικές διαδικασίες (οι μηχανισμοί της ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ και χωρίζοντας σε ένα φύλλο πλαστικού ινών άνθρακα ή η μήτρα που ραγίζει στην ίνα γυαλιού και των φύλλων πλαστικού ινών Kevlar είναι παραδείγματα) και

(3) στατικά και δυναμικά πρότυπα που περιέχουν τις υλικές ιδιότητες που παραμένουν σταθερές με το χρόνο (τα πρώτα) ή παρουσιάζουν χρονική εξάρτηση (τα τελευταία). Ένα παράδειγμα του δυναμικού προτύπου είναι η ποσοστό-εξαρτώμενη συμπεριφορά των ινών Kevlar σε εποξικό κάτω από τη στατική και κυκλική πίεση λόγω μιας κινητικής διαδικασίας μοριακό στην ίνα.

Στην καρδιά του προτύπου, έπειτα, βρίσκεται ο φυσικός μηχανισμός (ή μηχανισμοί) που μπορούν καλύτερα να προσδιοριστούν από την άμεση παρατήρηση. Η εργασία μας για την επιτόπια μικροσκοπηση ηλεκτρονίων ανίχνευσης είναι ένας ισχυρός τρόπος τις δυναμικές διαδικασίες του σχηματισμού φύτρων και της αύξησης ρωγμών των υλικών (βλ., π.χ., refs. [1.2]). Άλλες έμμεσες τεχνικές που έχουμε βρει ότι είναι επιτυχής περιλαμβάνουν την γ-ανίχνευση [3] και την X-ακτινογραφία [4.5] των ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΩΝ φύλλων πλαστικού ινών άνθρακα από τα οποία μπορεί να μετρηθεί το μέγεθος και τη μορφή των επιφανειών και των διασπάσεων ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ. Η οπτική μικροσκοπηση της ίνας γυαλιού και των φύλλων πλαστικού ινών Kevlar χαλασμένων στην κυκλική φόρτωση αποκαλύπτει το ποσό ραγίσματος μητρών, τον αριθμό και το μήκος των ρωγμών, το ποσοστό αύξησης ρωγμών, και ούτω καθ'εξής [6-8].

Οι κούραση-καταστρεπτικοί μηχανισμοί των σύνθετων ινών μπορούν επίσης να προκύψουν από τις αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες, όπως την υποβιβασμένες δύναμη και την ακαμψία. (Το τελευταίο προτιμάται δεδομένου ότι μπορεί να καθοριστεί μη-καταστροφικά.) Εντούτοις, είναι επικίνδυνο να υποθεθεί ένας μηχανισμός χωρίς στοιχεία ότι λειτουργεί πραγματικά και είναι, ή μπορεί να είναι, κυρίαρχος (σημαίνοντας ότι έχει περισσότερη επιρροή από άλλες ανταγωνιστικές διαδικασίες).

Στην κατασκευή των προτύπων για τρία σύνθετα συστήματα ινών, θα βασιστώ στα εργαλεία της εφαρμοσμένης μηχανικής και της επιστήμης υλικών: οι εξισώσεις και οι αρχές των μηχανικών, θερμοδυναμική, κινητικές, και τα λοιπά. Και υπάρχουν επίσης διαθέσιμες οι επιλογές των προηγούμενων διαμορφωμένων προβλημάτων, των μηχανικών σπασίματος (ή ζημίας), των θερμικών επιδράσεων πίεσης, κ.λπ

Τα μικροσκοπικά πρότυπα μπορούν να παρέχουν τη διορατικότητα στους μηχανισμούς της αποτυχίας και παράλληλα με τις εμπειρικές μεθόδους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να αναπτύξουν τις εξισώσεις που έχουν την προφητική δύναμη της μικροσκοπικής διαμόρφωσης με την ακρίβεια της καμπύλη-εγκατάστασης. Αυτό καλείται "πρότυπος-ενημερωμένη εμπειριοκρατία που έχει οδηγήσει στην ανάπτυξη ενός νέου κλάδου αποκαλούμενων των μηχανικοί " μηχανικών ζημίας ".

Στα εξής τμήματα είναι παραδείγματα των προτύπων για το συντελεστή, την πίεση σπασίματος και τη ζωή κούρασης των διάφορων κατηγοριών σύνθετου. Είναι βασισμένοι στις ιδιότητες το χαλασμένο σύνθετο ινών και έχουν χτίσει σε τους τους μηχανισμούς αποτυχίας άμεσα (ή έμμεσα) που παρατηρούνται σε στη μονοτονική ή κυκλική φόρτωση.

7.1. ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ ΚΑΙ ΜΕΙΩΜΕΝΟΣ ΣΥΝΤΕΛΕΣΤΗΣ

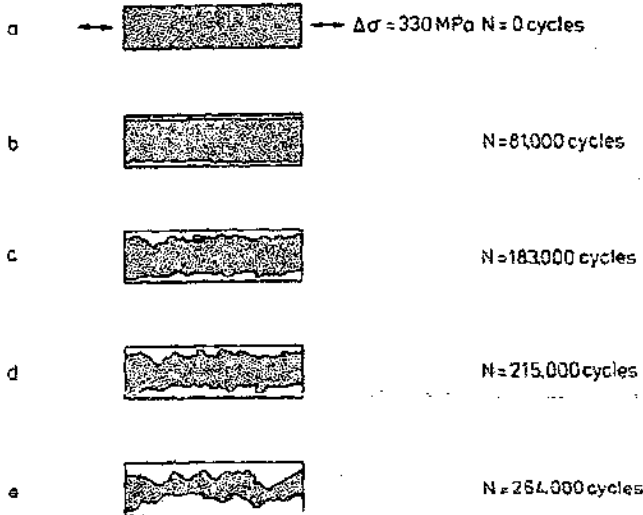
Στα αρχικά στάδια της κούρασης ένταση-έντασης του α (το 45/90 / — 45/0) ίνα-εποξικό φύλλο πλαστικού άνθρακα του s, ρωγμές μητρών και αυξάνεται στις πτυχές 90°, που ακολουθούνται με το ράγισμα μητρών των πτυχών 45°, και έπειτα την αύξηση ρωγμών ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΩΝ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΕΩΝ μεταξύ αυτών των εκτός άξονα στρωμάτων. Καθώς η ζημία κούρασης προχωρεί, η ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ γίνεται ο κυρίαρχος τρόπος αποτυχίας. Τέλος, η θραύση ινών και ο διαμήκης διαχωρισμός στις πτυχές 0° προηγούνται του τελικού σπασίματος [3.10-12]. Μια

γ-ανίχνευση του ΔΙΑΤΜΗΜΕΝΟΥ υλικού αποκαλύπτει την έκταση της ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ (σχέδιο 1).

Ο μειωμένος (χαλασμένος) συντελεστής E , μερικώς το σύνθετο φύλλο πλαστικού έχει διαμορφωθεί [13]

$$E = E_0 + (E^* - E_0) \frac{A}{A_0} \quad (8)$$

όπου το E^* είναι ο νέος συντελεστής του ενός εντελώς σύνθετου φύλλου πλαστικού σε δύο (ή περισσότερων) χωριστά υπο-φύλλα πλαστικού (το σχέδιο 2). σχήμα 2 παρουσιάζει μια πλοκή του ομαλοποιημένου συντελεστή, E/E_0 , δεδομένου ότι μια λειτουργία ομαλοποιημένος η περιοχή, A/A_0 , όπου το A είναι μετρημένη η περιοχή και το A_0 είναι η συνολική διαθέσιμη ενδιάμεση περιοχή μεταξύ των πτυχών. Αυτό



Σχέδιο σκίτσα 1. των πραγματικών γ-ανιχνεύσεων που παρουσιάζουν την έκταση των διαστρωματικών αποκολλησεων ακρών (άσπρη περιοχή) μέσα στο μήκος μετρητών ενός εκατοού δείγματος που κουράζεται < σε 7 ανώτατα = 3.30 μΡΑ και $\rho = 0,1$. Ο αριθμός n κύκλων φορτίων είναι υποδειγμένος. Α (45/90 / - 45/0) ίνα-εποξικό φύλλο πλαστικού άνθρακα του s.

Σχέδιο 2. Ένα πρότυπο ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ (μετά από [13]) που συνδυάζεται με μια ανάλυση "κανόνα των μιγμάτων" του εκατοού συντελεστή, eq. (8). Τα σύμβολα δείχνουν τις πραγματικές μετρήσεις του συντελεστή και της περιοχής ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ. Α (45/90/- 45/0), ίνα-εποξικό φύλλο πλαστικού άνθρακα.

η εμπειρική σχέση μεταξύ του χαλασμένου συντελεστή, E , και η περιοχή, A , είναι σαφώς γραμμική. $E^* \approx 0.65E_0$ αντιστοιχεί στην πλήρη ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ σε κάθε διαθέσιμο διεπαφή. Μπορούμε τώρα να καθορίσουμε την παράμετρο ζημίας, D δεδομένου ότι ομαλοποιημένη η περιοχή A/A_0 ,

$$\frac{A}{A_0} = \frac{(E - E_0)}{(E^* - E_0)} \quad (9)$$

και μέσα στο σύνθετο φύλλο πλαστικού μόνο οι πτυχές 0° παραμένουν άθικτες. Κατά συνέπεια, η λειτουργία $g(D)$ eq. σε (3) μπορεί να εκφραστεί όπως

$$g(D) = 1 - 0.35D \quad (10)$$

για (45/90/- 45/0) σύνθετο φύλλο πλαστικού ινών άνθρακα του s. Ακολουθεί αυτός

$$D = 2.857(1 - E/E_0) \quad (11)$$

και, από eq. (7),

$$f(\Delta\sigma, R, D) = -2.857 \left(\frac{1}{E_0} \frac{dE}{dN} \right) \quad (12)$$

7.2 ποσοστό ζημίας ως λειτουργία του εύρους πίεσης

Ένα χαρακτηριστικό σύνολο στοιχείων E/E_0 εναντίον του ν παρουσιάζεται στο σχέδιο 3. Το ποσοστό μείωσης συντελεστών είναι ουσιαστικά γραμμικό. Το ποσοστό ζημίας, dD/dN , μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας το παράγωγο όσον αφορά το N eq. (11),

$$\frac{dD}{dN} = -2.857 \left[\frac{1}{E_0} \frac{dE}{dN} \right] \quad (13)$$

Το σχήμα 4 παρουσιάζει πειραματικά στοιχεία του ποσοστού ζημίας, dD/dN , ως λειτουργία της σειράς πίεσης $\Delta\sigma$ (για $R = 0.1$) σχεδιασμένος με λογαριθμική μορφή. Ουσιαστικά, υπάρχουν τρία καθεστώτα της συμπεριφοράς: (1) μια προφανής πίεση κατώτατων ορίων περίπου 250 MPa κάτω από τα οποία καμία ζημιάδενείται

ανιχνεύσιμη (είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι η αρχική πίεση ραγίσματος σε μια μονοτονική εκτατή δοκιμή έχει μια παρόμοια αξία)

(2) μεταξύ αυτής της πίεσης κατώτατων ορίων και των κυκλικών πιέσεων που πλησιάζουν την εκτατή δύναμη

από το σύνθετο φύλλο πλαστικού, το ποσοστό ζημίας ακολουθεί μια σχέση δύναμη-νόμου,

$$\frac{dD}{dN} = 9.2 \times 10^{-5} \left[\frac{\Delta\sigma}{\bar{\sigma}_{TS}} \right]^{6.4} \quad (14)$$

όπου $\bar{\sigma}_{TS} = 586 \text{ MPa}$; and

(3) στις πιέσεις κοντά στην εκτατή δύναμη, το σ_{TS} , το ποσοστό ζημίας είναι πολύ υψηλότερο από

μπορέστε να εξηγηθείτε από το νόμο δύναμης. Η αποτυχία είναι ουσιαστικά στατική.

7.3. η τελική ζημία

Το επίπεδο μειωμένου (χαλασμένου) συντελεστή στη διάρκεια ζωής κούρασης εξαρτάται από τη

μέγιστη εφαρμοσμένη πίεση, σ_{max} [11], το σχήμα 5 παρουσιάζει ότι ο μειωμένος συντελεστής στην αποτυχία είναι μια

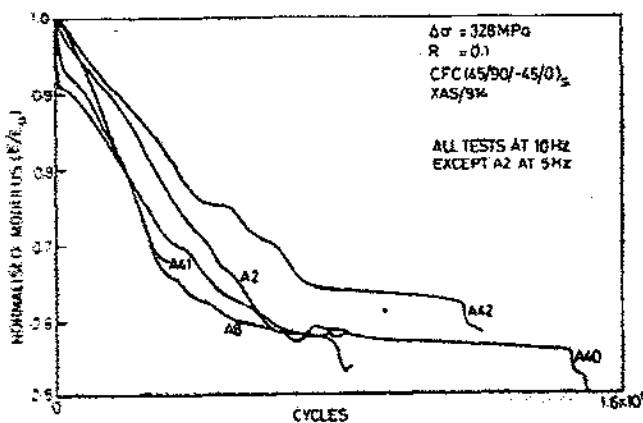
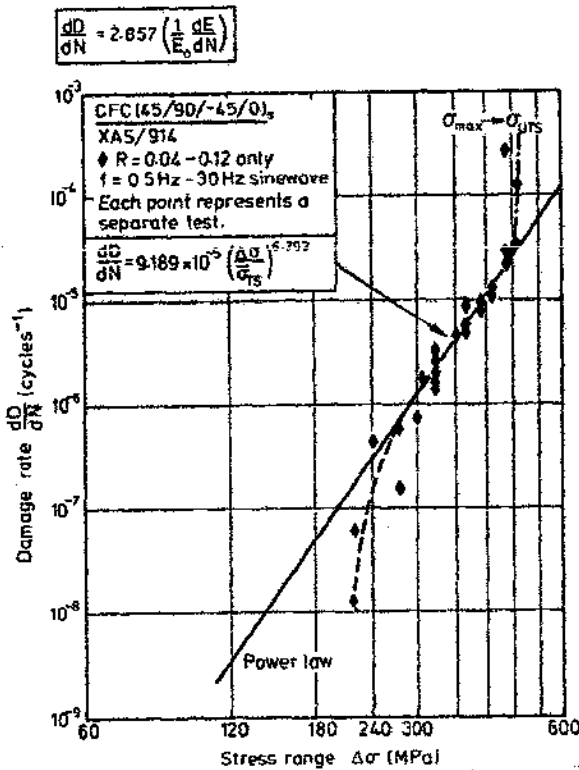


Fig. 3. χαρακτηριστικές πειραματικές καμπύλες του εκτατού συντελεστή που ομαλοποιείται στον αρχικό (άθικτο) συντελεστή $f^*5 \ 90 - 45/0$ ίνα-εποξικών φύλλων πλαστικού άνθρακα του s.



Σχέδιο ποσοστό αύξησης ζημίας 4., dD/dN , ως λειτουργία της κυκλικής εκτατής πίεσης, νόμος, σε μια log-log κλίμακα για το α ίνα-εποξικό φύλλο πλαστικού άνθρακα. Η στερεά γραμμή δίνεται από eq. (14).

η γραμμική λειτουργία σ_{max} του μειωμένου συντελεστή (στον οριζόντιο άξονα) διαιρείται σε δύο μέρη: για $(1 - E/E_0) > 0.35$, τη ζημία λόγω της ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ είναι D_1 ; για

η πρόσθετη ζημία, D_2 , οφείλεται στη θραύση ινών και διαχωρισμός στις 0° πτυχές.

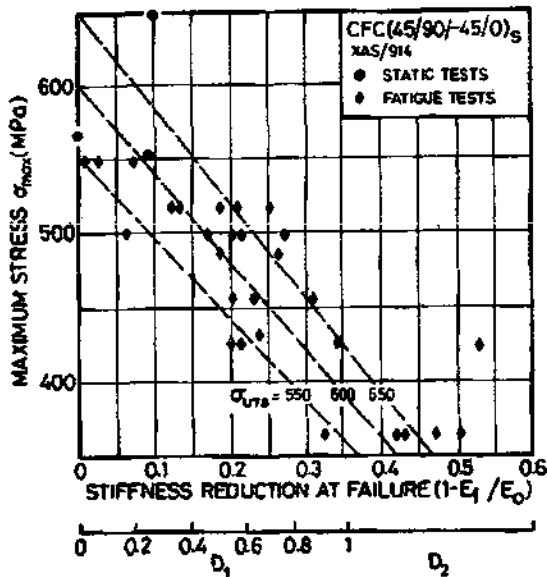
Στα φορτίο-ελεγχόμενα πειράματα κούρασης που πραγματοποιούνται από Poursartip [10], η στιγμιαία πίεση, ϵ , των σύνθετων φυλλόμορφων αυξήσεων ως χαλασμένο συντελεστή, E , μειώνεται με την ανακύκλωση, όπως κάποιο θα ανέμενε. Η διάρκεια ζωής κούρασης επιτυγχάνεται όταν είναι $\epsilon = \epsilon_c$ κάτω από τη μονοτονική φόρτωση, μην υποθέτοντας καμία μείωση συντελεστών, έπειτα

$$\epsilon_c = \frac{\sigma_{TS}}{E_0} \quad (15)$$

Μετά από κάποια κούραση η σ_{max} στη στιγμιαία πίεση είναι

$$\epsilon = \frac{\sigma_{max}}{E} \quad (16)$$

Δεδομένου ότι το γρήγορο σπάσιμο εμφανίζεται όταν είναι ϵ κατά τη διάρκεια του κύκλου κούρασης είναι ίσο με ϵ_c έπειτα, εξισώνοντας eqs.



ΖΗΜΙΑ στην ΑΠΟΤΥΧΙΑ δ φ

Σχέδιο σύγκριση 5. μεταξύ των πειραματικών στοιχείων και της πρόβλεψης της ζημίας στην αποτυχία και τη μείωση συντελεστών ως λειτουργία της μέγιστης κυκλικής εκτατής πίεσης. Οι σπασμένες γραμμές δίνονται από eq. (17). Α (45/90 / — 45/0) ίνα-εποξικό φύλλο πλαστικού άνθρακα του s.

(15) και (16) και αντικατάσταση για το D_f από eq. (11), έχουμε, στην αποτυχία,

$$D_f = 2.857 \left[1 - \frac{E_f}{E_0} \right] \quad (17)$$

$$= 2.857 \left[1 - \frac{\sigma_{max}}{\sigma_{TS}} \right].$$

Οι τρεις σπασμένες γραμμές στο σχέδιο 5 αντιστοιχούν eq. (17) όπου $\sigma_{TS} = 550, 600$ and 650 MPa. Η σταθερή πίεση στο κριτήριο αποτυχίας εξηγεί τα στοιχεία εύλογα καλά.

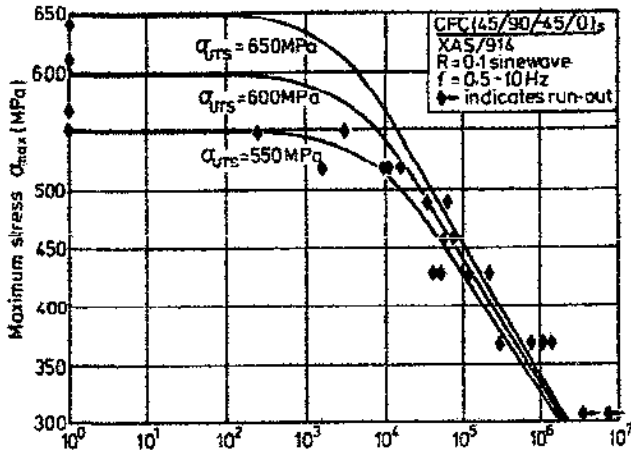
7.4. Καμπύλες πρόβλεψης S-N

Μπορούμε τώρα να αντικαταστήσουμε για $f(\Delta\sigma, R, D)$ από eq. (14) στα eqs. (1) και (2) που δίνει

$$N_f = \int_{D_1}^{D_f} 1.1 \times 10^4 \left[\frac{\Delta\sigma}{\bar{\sigma}_{TS}} \right]^{-6.4} dD. \quad (18)$$

Στην έναρξη μιας

δοκιμής σταθερός-εύρους $D_1 = 0$, D_f καθορίζεται ότι η χρησιμοποίηση eq. του σχήματος 6 (17). παρουσιάζει s-n καμπύλη του σύνθετου φύλλου πλαστικού για $R = 0,1$. Η πρόβλεψη διάρκειας ζωής παρουσιάζεται από τις πλήρεις καμπύλες, χρησιμοποιώντας eq. (18) για το $\sigma_{TS} = 550, 600$ και 650 MPa.



Κύκλοι στην αποτυχία N_j

Σχέδιο πρόβλεψη 6. μιας s-n καμπύλης βασισμένης στο πρότυπο ζημίας μαζί με τα πειραματικά στοιχεία των κύκλων φορτίων στην αποτυχία ($\rho = 0.1$). οι πλήρεις καμπύλες δίνονται από eq. (18) για τρεις τιμές της εκτατής δύναμης του α (45/90 / — 45/0) ίνα-εποξικό φύλλο πλαστικού άνθρακα του s. Η καλή συμφωνία μεταξύ της θεωρίας και του πειράματος δείχνει τη συνέπεια στην επεξεργασία μιας ζημίας κούρασης. Σαφώς, η χαμηλή συμπεριφορά κούρασης κύκλων είναι ιδιαίτερα ευαίσθητη στις αλλαγές στην εκτατή δύναμη.

Το πρότυπο μπορεί να επεκταθεί για να λάβει υπόψη το τυχαίο φορτίο ανακυκλώνοντας και η επίδραση ενός θετικού σημαίνει την πίεση [3].

8. Πρότυπα ζημίας για ένα σύνθετο ινών άνθρακα που περιέχει μια τρύπα ή μια εγκοπή

Μια των ακτίνων X εικόνα ενός χαρακτηριστικού (90/0)_s χαραγμένου εκτατού δείγματος που φορτάνεται στην ένταση είναι παρουσιασμένος στο σχέδιο 7.14]. Οι σκοτεινές εικόνες της φωτογραφίας δείχνουν τρεις μορφές ρωγμής μητρών που προέρχεται από μέσα από τη ζώνη ζημίας εγκοπών:

διαχωρισμός στις πτυχές 0°

ζώνες ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ στο 90/0 διεπαφών των οποίων μέγεθος συσχετίζεται με το διασπασμένο μήκος και

εγκάρσια πτυχή που ραγίζει ^{90/0} στις πτυχές 90°.

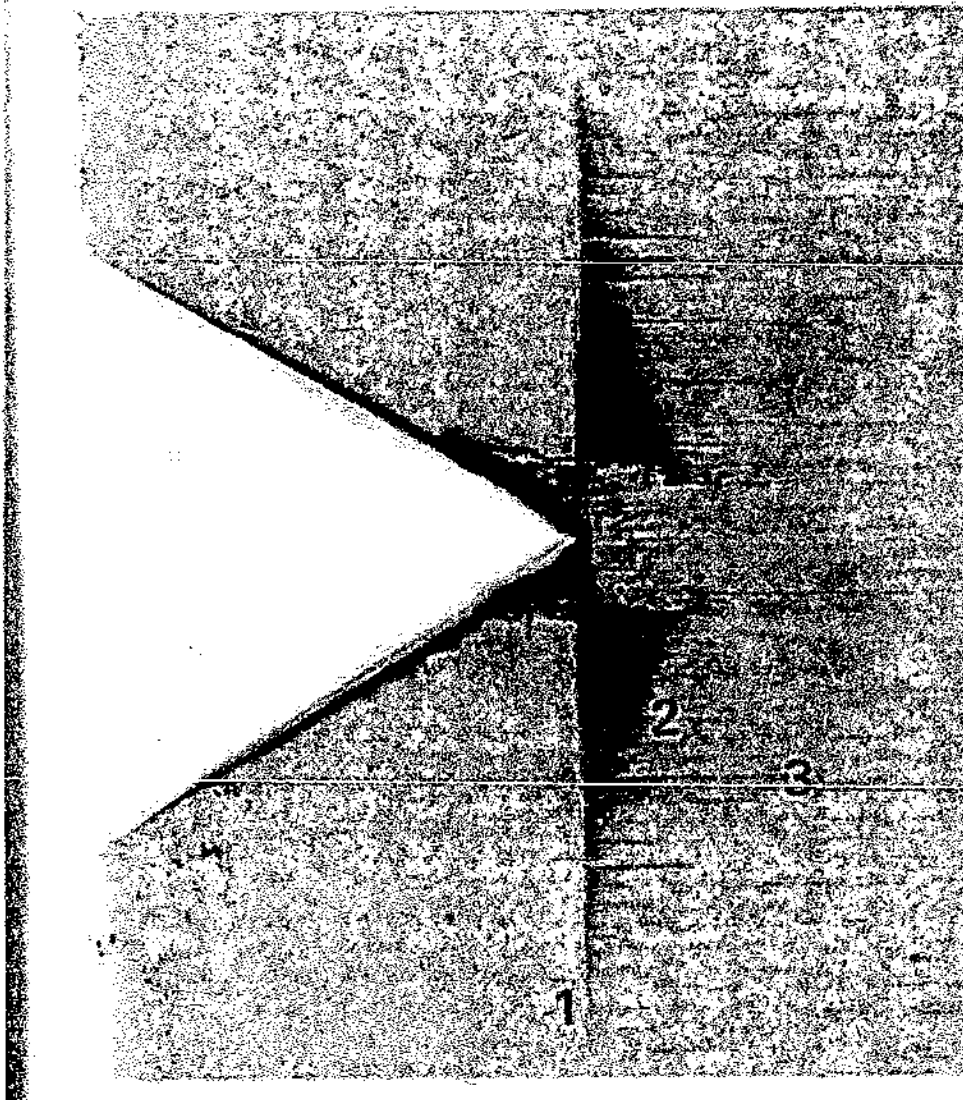
Μια συγκέντρωση των σπασμάτων ινών στις πτυχές 0° εμφανίζεται στη διατομή μιας διάσπασης και μιας εγκάρσιας ρωγμής πτυχών.

Σε μια μονοτονική εκτατή δοκιμή ή σε ένα κυκλικό πείραμα φόρτωσης, η μορφή της ζώνης ζημίας παραμένει απρόσβλητη αυξάνεται απλά στο μέγεθος (αριθμοί 8 και 9)

Το σχήμα 10 παρουσιάζει των ακτίνων X εικόνες χαραγμένος (90₂/0₂)_s και εγώ τοποθετεί σε στρώματα (90/0)_{2s} μετά από 10 6

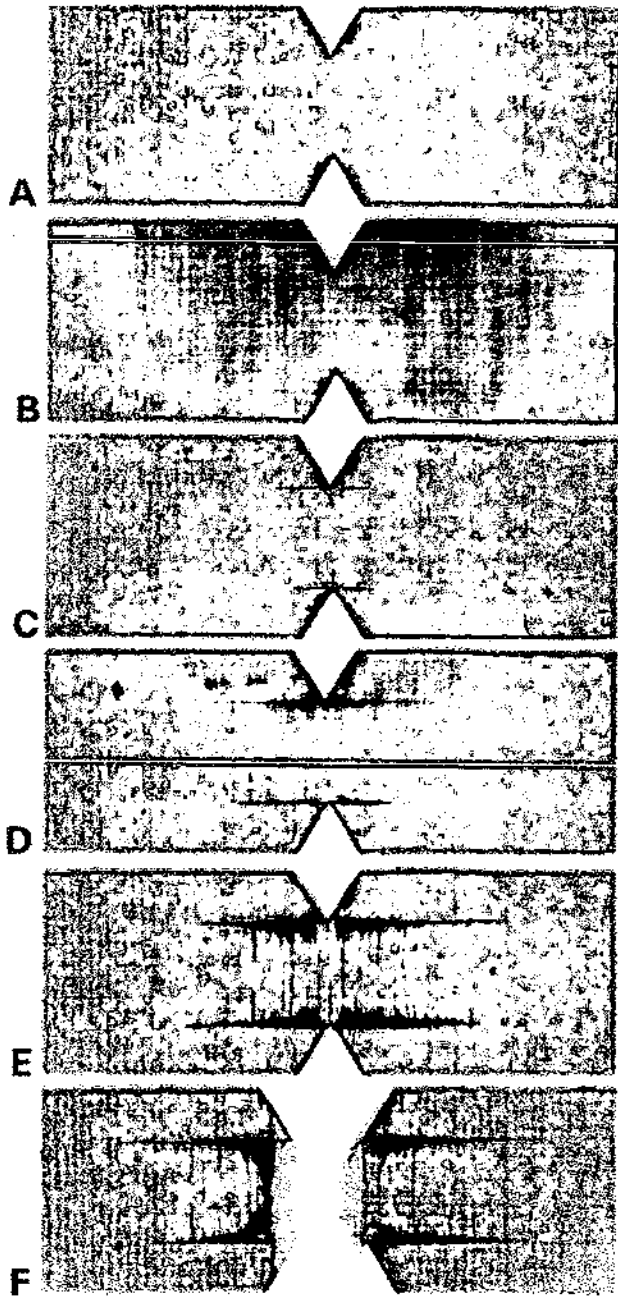
οι κύκλοι φορτίων στο ίδιο πράγμα τονίζουν το εύρος [15]. Για αυτά τα φύλλα πλαστικού διαγώνιος-πτυχών που περιέχουν ίδιες 0 και τις πτυχές 90°, τα ίδια βασικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα της ζώνης ζημίας είναι παρόντα εντούτοις, το ποσοστό αύξησης ζημίας είναι μεγαλύτερο για τα φύλλα πλαστικού που έχουν τις παχύτερες πτυχές.

Στα παραδείγματα ανωτέρω, η ζημία ακρών εγκοπών έχει αυξηθεί κατά τρόπο αυτοπαρομοιο, με τη χαρακτηριστική τριγωνικός-διαμορφωμένη ζώνη ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ στις (90/0) διεπαφές. Στην άκρη



Σχέδιο 7. Μια των ακτίνων X εικόνα της ΥΠΟΚΡΙΣΙΜΗΣια άκρη εγκοπών σε ένα (90/0) ίνα-εποξικό δείγμα άνθρακα του s στη μονοτονική εκτατή φόρτιση. Η ζημία που αποκαλύπτεται από penetrant χρωστικών ουσιών αποτελείται από (1) τη διασπασμένη ρωγμή στην πτυχή 0°, (2) ρωγμή ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣστην 0/90 διεπαφή, (3) ρωγμή μητρών στην πτυχή 90° (συχνά καλούμενη μια εγκάρσια ρωγμή πτυχών, TRC).

η διάσπαση, η γωνία ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ α, είναι μεταξύ περίπου 4 και 7° ανάλογα με το πάχος πτυχών. Ουσιαστικά, έπειτα, το σχέδιο ζημίας στην άκρη εγκοπών μπορεί να χαρακτηριστεί από διασπασμένο, μήκους l. Αυτό αγνοεί τις εγκάρσιες ρωγμές πτυχών στη μήτρα που είναι σημαντικές αλλά αυτοί διαδραματίζει έναν δευτεροβάθμιο ρόλο [14].



Σχέδιο αύξηση ζημίας 8. στις άκρες εγκοπών σε ένα χαραγμένο διπλός-άκρη εκτατό δείγμα ενός (90/0) ίνα-εποξικού φύλλο πλαστικού άνθρακα του s. Το εκτατό επίπεδο πίεσης είναι (A) 0, (B) 100, (C) 200, (D) 300, (E) 400 και (F) 437 MPa.

Σχέδιο αύξηση ζημίας 9. στις άκρες εγκοπών σε ένα κέντρο-χαραγμένο εκτατό δείγμα (90/0) 5. ίνα-εποξικό * φύλλο πλαστικού άνθρακα. Σε αυτό το παράδειγμα, το δείγμα που ανακυκλώνεται σε μια μέγιστη εκτατή πίεση, σ_{\max} 300 MPa ($\rho = 0.1$) για τον ακόλουθο αριθμό κύκλων (A) 10^2 , (B) 10^3 , (C) 10^4 , (D) 10^5 και (E) 10 6 κύκλων.

8.1. Ζημία διαμόρφωσης στη μονοτονική φόρτωση

Η αύξηση της ζώνης ζημίας σε ένα χαραγμένο εκτατό δείγμα είναι αυτοπαρομοίος, δηλ., η μορφή του μετώπου ΔΙΑΣΤΡΩΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ παραμένει σταθερή: αυξάνεται απλά στην κλίμακα. Ένα απλουστευμένο πρότυπο της ζημίας παρουσιάζεται στο σχέδιο 11. Για μια αύξηση της διασπασμένης αύξησης, $\delta /$, η ενέργεια που απορροφάται με διαμόρφωση των νέων επιφανειών ρωγμών, δE_{ab} , δίνονται κοντά [16]

$$\delta E_{sb} = G_s t \delta l + G_d (l \tan \alpha) \delta l \quad (19)$$

όπου το G_d είναι η ενέργεια που απορροφάται ανά τομέα μονάδων της διάσπασης η $\Gamma\Delta$ είναι η ενέργεια που απορροφάται ανά τομέα μονάδων της ΔΙΑΣΤΡΩΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ το t είναι το πάχος μιας πτυχής 0° και το α είναι η γωνία ΔΙΑΣΤΡΩΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ στη διασπασμένη άκρη.

8.2. δύναμη $(90/0)_s$ φύλλου πλαστικού σε κοπή

Ο παράγοντας K συγκέντρωσης πίεσης ακρών εγκοπών " eq. (40), και 0° δύναμη πτυχών, σ_{0f} , eq. (42), και τα δύο εξαρτηθείτε από διασπασμένο, μήκος/. Με το συνδυασμό eqs. (39) (42), λαμβάνουμε μια έκφραση για τη φυλλόμορφη πίεση αποτυχίας από την άποψη του ομαλοποιημένου διασπασμένου μήκους l/a (για $\alpha = 3.5^\circ$),

$$\sigma_{0f} = \left\{ \frac{[1 - (2a/w)^2](l/a)^{0.28}}{6.3} \right\} \sigma_0 \left\{ \frac{V_0}{[0.0014 + 0.0025(l/a)] 8(a^2 t)} \right\}^{1/8} \quad (47)$$

Για μια γωνία ΔΙΑΣΤΡΩΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ $\alpha = 7^\circ$, eq. (43) γίνεται

$$\sigma_{0f} = \left\{ \frac{[1 - (2a/w)^2](l/a)^{0.31}}{5.4} \right\} \sigma_0 \left\{ \frac{V_0}{[0.004 + 0.0065(l/a)] 8(a^2 t)} \right\}^{1/8} \quad (48)$$

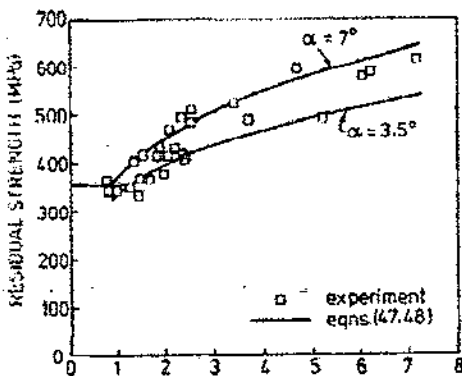
Πειραματικά στοιχεία της υπόλοιπης δύναμης κούραση-βλαμμένος $(90/0)_s$ δείγματα ($W=24$ χιλ., $\alpha = 4$ χιλ.) σχεδιάζεται ενάντια μήκος τελικό διασπασμένο στο μετρημένο (σχέδιο 18) και εναντι της προβλεφθείσας δύναμη, eqs. (47) και (48). Η δύναμη αποτυχίας είναι περίπου 360 MPa, το οποίο αντιστοιχεί $l/a = 1.3$. Εάν υψηλότερες τιμές l/a είναι αποκτηθείς κατά τη διάρκεια της ανακύκλωσης φορτίων, υψηλότερο υπόλοιπο αποτέλεσμα δυνάμεων. Μια quasi-static δύναμη 360 MPa αντιπροσωπεύει ένα χαμηλότερο όριο για υπόλοιπη δύναμη μετά από την κούραση ως εκ τούτου,

οι προβλεφθείσες υπόλοιπες καμπύλες δύναμης περικόπτονται από μια οριζόντια γραμμή $\sigma_{0f} = 360$ MPa, μεταξύ $l/a = 0$ and $l/a = 1.3$. τα στοιχεία δύναμης είναι οριακά από τα eqs. (47) και (48).

8.3.. δύναμη ζημίας $(90/0)_s$ και $(90/0)_{2s}$ φύλλα πλαστικού

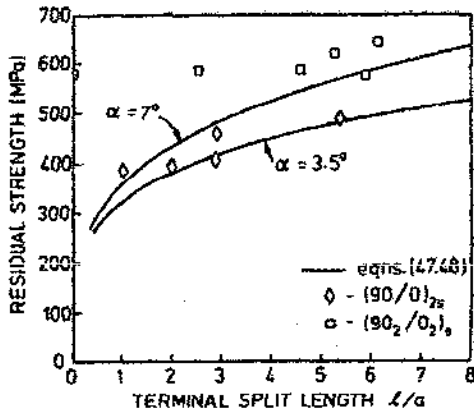
Από τη μορφή της ζημίας ακρών εγκοπών η ζώνη είναι παρόμοια για όλη τη χαραγμένη διαγώνιος-πτυχή

τα φύλλα πλαστικού ινών άνθρακα, το πρότυπο πρέπει να ισχύσουν επιτυχώς για άλλα φύλλα πλαστικού διαγώνιος-πτυχών των ίσων πτυχών 0 και 90° πάχους. Για τη διαμόρφωση Weibull της δύναμης πτυχών 0° , οι κλίμακες όγκου $(a^2 t)$ αναφοράς με τις εξισώσεις πάχους t . πτυχών 0° (47) και (48) είναι,



TERMINAL SPLIT LENGTH l/a

Σχέδιο 18. Το πρότυπο κούραση-ζημίας που συνδυάζεται με ένα απλό κριτήριο αποτυχίας, eq. (39), προβλέπει τα πειραματικά στοιχεία της υπόλοιπης δύναμης εύλογα ακριβώς. Το φύλλο πλαστικού είναι $(90/0)$ άνθρακα του s ηηψηρ-εποξικός και δύο τιμές της γωνίας α ΔΙΑΣΤΡΩΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ εξετάζονται. Μια αύξηση αποτελέσματα σε μια μεγαλύτερη υπόλοιπη δύναμη. Οι πλήρεις καμπύλες είναι βασισμένες στα eqs. (47) και (48).



Σχέδιο 19. Μια παρόμοια πλοκή στο σχέδιο 18. Σε αυτό το παράδειγμα μια αύξηση στον αριθμό διεπαφών ενός (90/0) ίνα-εποξικού φύλλου πλαστικού άνθρακα ελαχιστοποιεί την έκταση της ζημίας κούρασης στην άκρη εγκοπών και ελαχιστοποιεί την αύξηση στην υπόλοιπη δύναμη. Οι πλήρεις καμπύλες είναι βασισμένες στα eqs. (47) και (48), όπου $\alpha = 3,5$ και 7° , αντίστοιχα. Μια μεγαλύτερη γωνία α ΔΙΑΣΤΡΩΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ παρατηρήθηκε για το (90 2 / 0 2) υλικό

επομένως, έγκυρος για όλα τα φύλλα πλαστικού της γενικής μορφής $(90_l/0_l)_s$, το σχήμα 19 παρουσιάζει υπόλοιπο

στοιχεία δύναμης που σχεδιάζονται ενάντια l/a για $(90/0)2s$ και $(90_2/0_2)_s$. Το $(90_2/0_2)_s$ υλικό εξέθεσε μια γωνία ΔΙΑΣΤΡΩΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ, α , 7° , περίπου, ενώ το $(90/0)2s$ φύλλο πλαστικού είχε μια στενότερη ζώνη α ΔΙΑΣΤΡΩΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ. Αυτές οι μετρήσεις απεικονίζουν την καλή συμφωνία μεταξύ των στοιχείων και της θεωρίας. Η επίδραση της μείωσης του παράγοντα συγκέντρωσης πίεσης ακρών εγκοπών αντιδριέται από τον αυξανόμενο ισοδύναμο όγκο του υλικού κάτω από την πίεση. Το πρότυπο δύναμης, εντούτοις, παραμελεί τις αλλαγές στις υλικές ιδιότητες, π.χ., συντελεστής των νεολαιών που επέρχεται από τη ζημία κούρασης (τμήμα 4.4).

9.1. Η επίδραση του ποσοστού πίεσης

Τα πειράματα δείχνουν ότι ο συντελεστής των ινών Kevlar συσχετίζεται γραμμικά με το κούτσουρο του ποσοστού πίεσης [7.8]. Η εξίσωση (69) μπορεί να γραφτεί, ενσωματώνοντας το ποσοστό πίεσης, το ϵ , και τη ζημία, όπως

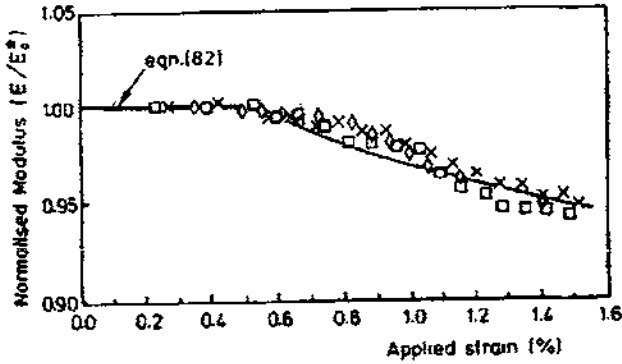
$$E = \{ V_{11} [1 - \omega_1 \ln(\epsilon^*/\epsilon)] + V_{12} E_2 [1 - \omega_2 \ln(\epsilon^*/\epsilon)] \} (1 - cD), \quad (80)$$

όπου ω_1 και ω_2 είναι σταθερές (οι υπογεγραμμένοι 1 και 2 που αναφέρονται στα 0 και τις πτυχές 90°) και το ϵ^* είναι ένα ποσοστό πίεσης αναφοράς. Οι μετρημένες αλλαγές ακαμψίας με τη θερμοκρασία για 0 και τα φύλλα πλαστικού 90° δείχνουν μια γραμμική μείωση και για τα δύο, και οι σχετικές σταθερές που συνάγονται είναι $T1R = 923 \text{ K}$, $T2r = 588 \text{ K}$, $\phi_1 = 1.5$ and $\phi_2 = 1.98$.

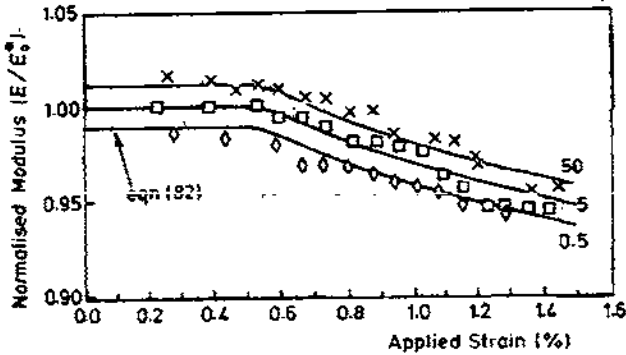
9.1. Σύγκριση του προτύπου με τα πειραματικά στοιχεία

Ένα χαρακτηριστικό σύνολο πειραματικών στοιχείων συγκρίνεται με το πρότυπο, eq. (82), για (0/90) τα φύλλα πλαστικού διαγώνιος-πτυχών του s στο σχέδιο 34 με το δ που εκφράζεται από την άποψη της εφαρμοσμένης πίεσης χρησιμοποιώντας eq. (76), και οι σταθερές χρησιμοποιούμενες ήταν όπως καθορίζονται. Στους όρους αναφοράς του ποσοστού θερμοκρασίας και πίεσης το πρότυπο μειώνει eq. σε (77).

Το σχήμα 35 παρουσιάζει το πρότυπο και τα στοιχεία για τη μείωση συντελεστών (0/90) των φύλλων πλαστικού του s με την εφαρμοσμένη πίεση στα ποσοστά θερμοκρασίας και πίεσης αναφοράς. Θεωρία



Σχέδιο 34. Ένα χαρακτηριστικό σύνολο πειραματικών στοιχείων του συντελεστή εναντίον της εφαρμοσμένης πίεσης σε μια μονοτονική εκτατή δοκιμή (0/90) στο s Kevlar ίνα-εποξικό. Η πλήρης καμπύλη που επιβάλλεται στα στοιχεία δίνεται από eq. (82) με το δ που εκφράζεται από την άποψη της εφαρμοσμένης πίεσης χρησιμοποιώντας eq. (77), και τη θερμοκρασία T αναφοράς $T^* = 293$ K και ποσοστό ϵ πίεσης αναφοράς $\epsilon^* = 8.3 \times 10^{-4} \text{ s}^{-1}$.

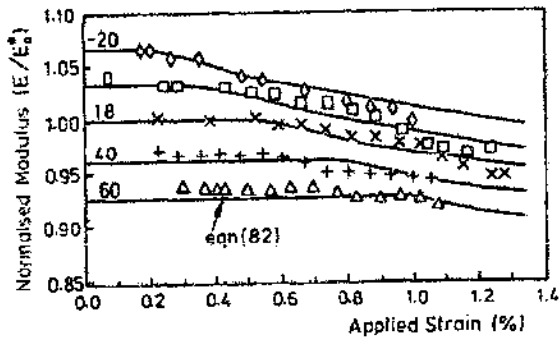


Σχέδιο 35. Μια παρόμοια πλοκή στο σχέδιο 34 για (0/90)s Kevlar ίνα-εποξικό στη θερμοκρασία T αναφοράς T^* και ποσοστά ϵ πίεσης ϵ^* που αντιστοιχούν (A) 0,5, (D) 5, (X) 50mm min⁻¹ (μήκος μετρητών 100 χλ.). Οι πλήρεις καμπύλες είναι βασισμένες eq. σε (82).

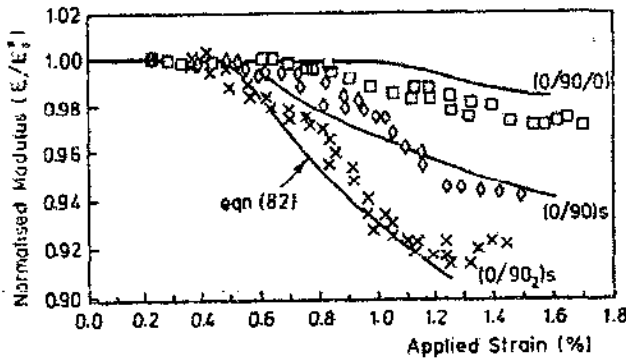
ακολουθεί τα στοιχεία καλά η αρχική ζημία είναι στην πίεση περίπου 0,5% και υπάρχει μια γενική μείωση ακαμψίας περίπου 5%,

Τα σχήματα 36 και 37 παρουσιάζουν τη συμπεριφορά του (0/90) s, (0/90/0) και (0/90 2) s τα φύλλα πλαστικού ως λειτουργίες της θερμοκρασίας και της εφαρμοσμένης πίεσης στην αναφορά τεντώνουν το ποσοστό. Ο συντελεστής θ^0 είναι τόσο πολύ μεγαλύτερος από το συντελεστή 90^0 ότι οι πτυχές θ^0 εξουσιάζουν τον προκύπτοντα συντελεστή του φύλλου πλαστικού διαγώνιος-πτυχών. Η αυξανόμενη θερμοκρασία δοκιμής χαμηλώνει τη θερμική πίεση. Αυτό σημαίνει ότι μια μεγαλύτερη εφαρμοσμένη πίεση είναι απαραίτητη για να αρχίσει τη ζημία σε μια υψηλότερη θερμοκρασία και επίσης ότι η αποτυχία πτυχών θ^0 μπορεί να εμφανιστεί προτού να επιτευχθεί ο πλήρης κορεσμός ραγμών. Το αποτέλεσμα είναι μια μικρότερη μείωση συντελεστών πριν από την αποτυχία.

Συνολικά, οι αριθμοί παρουσιάζουν λογική συμφωνία μεταξύ του πειράματος και της θεωρίας που προτείνουν ότι η μερικώς στατική συμπεριφορά του φύλλου πλαστικού διαγώνιος-πτυχών μπορεί να διαμορφωθεί χρησιμοποιώντας τις συστατικές εξισώσεις για τις μεμονωμένες πτυχές και γνώση των μηχανισμών αποτυχίας.



Σχέδιο 36. Μια παρόμοια πλοκή στο σχέδιο 35 για (0/90) 5 Kevlar ίνα-εποξικό στο ποσοστό πίεσης αναφοράς, $E, 8,3 \times 10^4 \text{ s}^{-1}$ και θερμοκρασία δοκιμής (O) -20, (D) 0, (X) 18, (+) 40, (O) 60°C. Οι πλήρεις καμπύλες είναι βασισμένες eq. σε (82).



Σχέδιο 37. Μια σύγκριση μεταξύ των πειραματικών στοιχείων του συντελεστή εναντίον της εφαρμοσμένης πίεσης σε μια μονοτονική εκτατή δοκιμή και του προτύπου ζημίας, eq. (82), για (0/90) το s, (0/90/0), (0/90 2) ίνα-εποξικά φύλλα πλαστικού του s Kevlar στο τ^* και το i^* .

10. Ένα κινητικό πρότυπο για ένα σύνθετο ιών Kevlar

Για να αναπτύξει ένα πρότυπο που περιγράφει την παραλλαγή συντελεστών κάτω από τη φόρτωση κούρασης πρέπει να θεωρήσουμε δύο χωριστά αποτελέσματα: (1) μια σκλήρυνση των διαμήκων πτυχών λόγω της ίνας που σκληραίνει δίνοντας μια αύξηση στο φυλλόμορφο συντελεστή [7] και (2) ράγισμα μητρών των εγκάρσιων πτυχών με συνέπεια μια μείωση συντελεστών. Αρχίζουμε με την εξέταση της επίδρασης σκλήρυνσης και έπειτα χρησιμοποιούμε το πρότυπο που αναπτύσσεται στο έξω από τη σκλήρυνση από την παρατηρηθείσα φυλλόμορφη συμπεριφορά. Αυτό μας δίνει μια μείωση συντελεστών που μπορεί να μελετηθεί σε σχέση με τα υπάρχοντα πρότυπα για το ράγισμα μητρών. Οι ίνες Kevlar περιέχουν τα τακτικά χωρισμένα κατά διαστήματα "αεροπλάνα ατέλειας" με μια υψηλότερη πυκνότητα των ακρών αλυσίδων. Τα τμήματα των μοριακών αλυσίδων σε αυτές τις περιοχές λιγότερο καλά ευθυγραμμίζονται και μπορούν να θεωρηθούν "μπερδεμενοι". Κάτω από την ένταση οι συστροφές μπορούν να ισιώσουν, περιλαμβάνοντας κάποια διαμήκη επέκταση, που αυξάνει τον αξονικό συντελεστή της ίνας.

Εξετάστε μια ίνα που ενσωματώνεται σε μια μήτρα. Αρχικά υπάρχουν συστροφές n_k^i ανά μήκος μονάδων της ίνας. Μετά από έναν χρόνο, t , το n_k^i αριθμού των συστροφών έχει φεύγοντας ($n_k^i - n_k$) ανά μήκος μονάδων της ίνας στη μπερδεμενη περιοχή. Μια κινητική εξίσωση για το ποσοστό μπορεί τώρα να διατυπωθεί. Ο αριθμός συστροφών του μη μπερδεμενου ανά το δεύτερο εξαρτάται από τον αριθμό ($n_k^i - n_k$) διαθέσιμο για να κάνει έτσι, σε έναν παράγοντα ν συχνότητας (μια συχνότητα δόνησης συστροφών) και σε μια ενέργεια ενεργοποίησης, το Q . Αυτή η ενέργεια ενεργοποίησης μειώνεται όταν εφαρμόζονται μια εκτατή πίεση $\sigma_c \gamma$ στο σύνθετο, επειδή η εργασία γίνεται όταν ισιώνει μια συστροφή. Αφήστε αυτήν την εργασία να είναι $\sigma f V^*$ όπου το V^* είναι ο "όγκος ενεργοποίησης" στην κινητική θεωρία και ένα σf είναι η πίεση στην ίνα. Χρησιμοποιώντας τις τυποποιημένες κινητικές μεθόδους [8], έχουμε

$$\frac{dn_u}{dt} = (n_k^i - n_u) \exp - \left[\frac{Q - \sigma_f V^*}{RT} \right] \quad (84)$$

Η εξίσωση (84) είναι ευχρηστή εάν είναι υποτιθέμενο ότι το μέρος των συστροφών που ισώνουν έξω

$$n_k^i - n_u \approx n_k^i$$

είναι μικρό,

Χρησιμοποίηση ο όρος ορίου $n_u = 0$ όταν $t = \text{καταγράφουν } 0$, ενσωματώνοντας eq. (84) και παίρνοντας,

$$n_u = n_{ref} \frac{RT}{Q} \ln(1 + t/\tau) \quad (85)$$

όπου η χρονική σταθερά, τ είναι

$$\tau = (n_{ref}/n_k^i) \frac{RT}{vQ} \exp \left\{ \frac{Q}{RT} [1 - (\sigma_c + w\sigma_f^*)/\sigma_{ref}] \right\} \quad (86)$$

Περιλαμβάνεται στην ανωτέρω εξίσωση οποιαδήποτε αρχική θερμική πίεση $\sigma_f^* w = V\{ + Em(1 - V\Omega)/Et$, $\sigma_{ref} = Qw/V^*$, and $n_{ref} = Qw/[E_m b_k(1 - V_f)V^*]$. το βK είναι η μέση καθαρή επέκταση παρήγαγε όταν μια ενιαία συστροφή είναι κανονική.

Η έκφραση για τον αριθμό οι ίνες πρέπει τώρα να αφορά την αλλαγή στο συντελεστή. Η ίνα γίνεται πίο δύσκαμπτη αναλογικά προς τον αριθμό ισωμένων συστροφών. Εάν E^0 είναι ο συντελεστής της ίνας στο χαλαρωμένο κράτος του, κατόπιν υποθέτουμε ότι ο συντελεστής κατόπιν n_u οι συστροφές έχουν, $E\{$

$$E_t/E_t^0 = 1 + \beta(n_u/n_{ref}) \quad (87)$$

ικανοποιεί

όπου β είναι μια σταθερά. Χρησιμοποίηση eq. (80),

$$E_t = E_t^0 [1 + B \ln(1 + t/\tau)], \quad (88)$$

με $B = \beta RT/Q$.

Τώρα, με το χρόνο κάτω από το φορτίο, ο αριθμός τα τμήματα, n_u , οι αυξήσεις, και η αναλογία (n_u/n_{REF}) αυξήσεις από μια αξία μηδενός στην έναρξη της δοκιμής. Η ποσότητα (RT/Q) είναι πάντα πολύς λιγότερο από η ενότητα (είναι χαρακτηριστικά να υποθέσει 1/40), ότι (n_u/n_{REF}) είναι μεγαλύτεροι από περίπου 0,05 οι καθόλου αλλά πολύ σύντομοι χρόνοι, ο όρος $\ln(1 + t/\tau)$ πρέπει να είναι πολύ μεγαλύτερη από την ενότητα. Επομένως ακολουθεί αυτού τις περισσότερες φορές κατά τη διάρκεια του οποίου η ακαμψία της ίνας αυξάνεται

$$\ln(1 + t/\tau) \approx \ln(t/\tau) \quad (89)$$

έτσι ώστε το ϵ φ μπορεί να γραφτεί περίπου όπως

$$E_t = E_t^0 [1 + B \ln(t/\tau)]. \quad (90)$$

Το πρότυπο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να γράψει μια έκφραση για την ακαμψία 0° KFRP κάτω από το εκτατό φορτίο ως λειτουργία του χρόνου,

$$E_t^0 = E_t^0 V_f [1 + B \ln(t/\tau)] + E_m(1 - V_f) \quad (91)$$

οποιος μπορεί να γραφτεί

$$E_t^0 = E_1 [Y + Z \ln(t)], \quad (92)$$

όπου το E_1 είναι ο αρχικός συντελεστής του ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου [$= V_f E_f^0 + (1 - V_f)E_m$], και το Y και το Z δίνονται κοντά

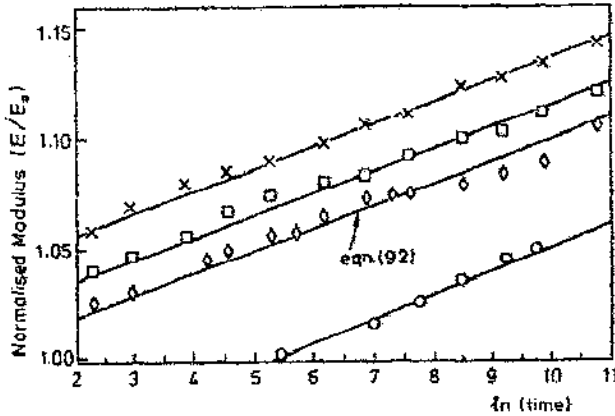
$$Y = 1 - \frac{BV_f E_f^0}{E_1} \ln \tau, \quad Z = BV_f E_f^0 / E_1 \quad (93)$$

Τα στοιχεία για την αλλαγή συντελεστών στα ομοιοκατευθυνόμενα φύλλα πλαστικού κάτω από τη φόρτωση κούρασης σχεδιάζονται ενάντια στο τ στο σχέδιο 38 για τρία διαφορετικά επίπεδα σ_{max} . Η παρουσίαση των στοιχείων παράγει κατ' αυτό τον τρόπο τις ευθείες γραμμές ίσης κλίσης, που μετατοπίζονται μεταξύ τους στον άξονα συντελεστών, έτσι ώστε οποιαδήποτε στιγμή η μέγιστη αύξηση συντελεστών πραγματοποιείται στην υψηλότερη εφαρμοσμένη πίεση. Αυτό αναμένεται από το

κινητικό πρότυπο, eq. (92), εάν εξισώνουμε σ_c στο πρότυπο με το σ_{max} και σημειώνουμε ότι η παράμετρος Y αυξάνεται με το αυξανόμενο εναλλασσόμενο ρεύμα.

Η αλλαγή συντελεστών ομοιοκατευθυνόμενου KFRP κάτω από το στατικό φορτίο δίνει επίσης μια

ευθεία γραμμή όταν σχεδιάζεται ενάντια στο t (σχέδιο 38). Η έλλειψη αυξήσεων συντελεστών στους σύντομους χρόνους είναι ίσως ένα αποτέλεσμα της χαλάρωσης του φύλλου πλαστικού όταν αφαιρείται το στατικό φορτίο με τον ανεπαρκή χρόνο να διαβαστεί ο συντελεστής. Για να ποσολογήσουν την επίδραση σκλήρυνσης, πρώτα οι παράμετροι Y και Z eq. (93) πρέπει να βρεθούν. Αυτό γίνεται εμπειρικά, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία στο σχέδιο 38: $Z = 0.095$ (ανεξάρτητος από τονίστη) και $Y = 1.003, 1.018$ και 1.043 για MPa επιπέδων 340, 450 και 670 πίεσης, αντίστοιχο - του σημειώστε ότι από eq. (92), $Y \propto \ln \tau$, και ο συνδυασμός αυτού με eq. (86) για το τ σημαίνουν εκείνο το Y



Σχέδιο 38. σύγκριση μεταξύ της μέτρησης του συντελεστή εναντίον του χρόνου στην κυκλική φόρτωση (O) 2 Kevlar ίνα-εποξικό στη μέγιστη πίεση, ρ ανώτατο, (O) 340, (D) 450, (X) 670 μ PA επίσης μια πλοκή των παρόμοιων στοιχείων που λαμβάνονται σε ένα σταθερό πείραμα πίεσης, (O) (7 ανώτατα = 340 MPa). Οι στερεές γραμμές είναι βασισμένες eq. σε (92).

θα αναμενόταν για να ποικίλει γραμμικά με την πίεση. Οι ανωτέρω τιμές είναι εύλογα σύμφωνες με αυτήν την ιδέα και ως εκ τούτου η απλή γραμμική παρεμβολή χρησιμοποιείται για να υπολογίσει την κατάλληλη αξία του Y για ένα δεδομένο διαμήκες επίπεδο πίεσης πτυχών στο φύλλο πλαστικού διαγώνιος-πτυχών. Οργανώνουμε τώρα την εξίσωση για να επιτρέψουμε σε μας για να αφαιρέσουμε την επίδραση σκλήρυνσης των ινών. Ο μετρημένος συντελεστής του φύλλου πλαστικού λόγω της σκλήρυνσης των ινών 0° που συνδυάζονται με το εγκάρσιο ράγισμα είναι

$$E^* = (E_1^* V_{f1} + E_2^* V_{f2}) (1 - cD), \quad (94)$$

όπου το ε δίνεται από eq. (91).

Συνδυασμός eqs. (92) και (94), και υπενθύμιση αυτού $E_0 = E_1 V_{f1} + E_2 V_{f2}$,

$$E^* = E_0(1 - cD) + E_1 V_{f1}(1 - cD)(Y + Z \ln t - 1), \quad (95)$$

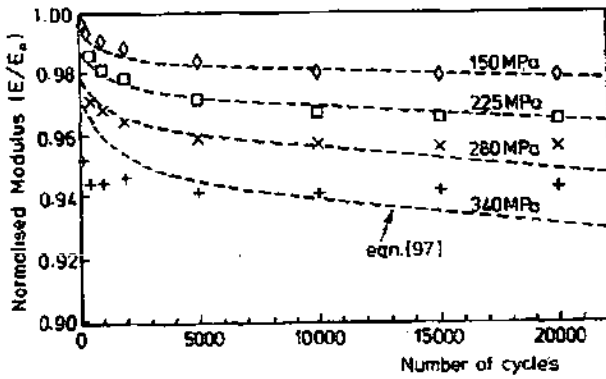
Ως εκ τούτου

$$(1 - cD) = \frac{E}{E_0} = \frac{E^*}{E_0 + E_1 V_{f1}(Y + Z \ln t - 1)}, \quad (96)$$

όπου το ε δείχνει το μειωμένο συντελεστή του φύλλου πλαστικού ως αποτέλεσμα του εγκάρσιου ραγίσματος πτυχών.

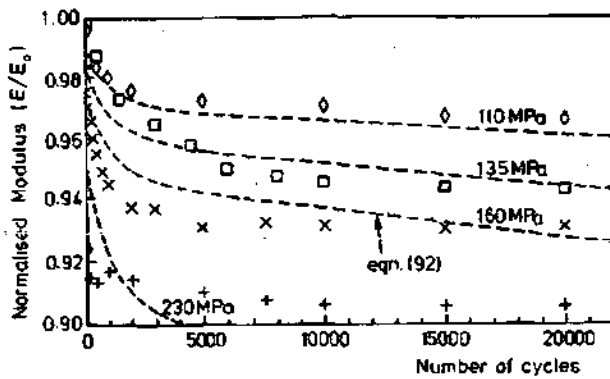
Η εξίσωση (96) μπορεί να χειριστεί για να συναγάγει μια μείωση συντελεστών με την καμπύλη κύκλων (λόγω της μήτρας που ραγίζει) από τον πειράματικό συντελεστή με την καμπύλη κύκλων για (0/90) s, και (0/90 2) s τα φύλλα πλαστικού. Αυτοί παρουσιάζονται στα σχέδια. 39 και 40 και είναι παρόμοια στη μορφή με εκείνους που λαμβάνονται για GFRP (τμήμα 5).

Το σχήμα 41 παρουσιάζει μείωση συντελεστών με την πυκνότητα ραγμών, χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από τις δοκιμές κούρασης (με τη σκλήρυνση ινών που αφαιρείται έξω) σε ποικίλα επίπεδα πίεσης μαζί με τα πρότυπα κουρά-καθυστερήσεων. Τα στοιχεία εμφανίζονται να βρίσκονται μεταξύ των δύο προτύπων (όπως συνέβη για τη στατική φόρτωση), που προτείνει ότι οι υποθέσεις που γίνονται στις αναλύσεις μας είναι λογικές.



Σχέδιο 39. πειραματικά στοιχεία του συντελεστή με τον αριθμό τους κύκλους φορτίων για ένα (0/90) ίνα-εποξικό φύλλο πλαστικού του s Kevlar:

Η εξίσωση (97) επιβάλλεται για κάθε επίπεδο πίεσης με $m = 10$ and $A = 5 \times 10^7$.



Σχέδιο 40. Asimilarplot στο σχέδιο 39 για ένα (0/90) 2 ίνα-εποξικό φύλλο πλαστικού του s Kevlar όπου (O)d ανώτατος = 110, (D)135, (X) 160, (+) 230 MPa. Η εξίσωση (97) επιβάλλεται για κάθε επίπεδο πίεσης με $\mu = 10$ και $A = 5 \times 10^9$.

Σε αυτό το σημείο, υπενθυμίστε το πρότυπο για GFRP βασισμένο στις ιδέες μηχανικών σπασίματος (παράγραφος 5). Σε αυτό το πρότυπο, ένας παράγοντας έντασης πίεσης υπολογίζεται για μια εγκάρσια ρωγμή πτυχών και η αύξηση των ρωγμών κάτω από τη φόρτωση κούρασης υποτίθεται ότι ακολούθησε τη σχέση του Παρισιού. Η έκφραση για το ποσοστό μείωσης ακαμψίας με την ανακύκλωση είναι, eq. (71),

$$-\frac{1}{E_0} \frac{dE}{dN} = A \left[\frac{\sigma_{\max}^2}{E_0^2 (1 - E/E_0)} \right]^{m/2},$$

όπου σ_{\max} είναι η μέγιστη πίεση στον κύκλο κούρασης, το μ είναι ο εκθέτης στη σχέση του PARIS και το A είναι μια σταθερά για ένα δεδομένο φύλλο πλαστικού. Ενσωματώνοντας για να δώσει μια έκφραση για τη μείωση συντελεστών ως λειτουργία του αριθμού κύκλων,

$$E/E_0 = 1 - \left[A \left(\frac{m}{2} + 1 \right) \right]^{1/(m/2+1)} (\sigma_{\max}/E_0)^{m/(m/2+1)} N^{1/(m/2+1)}, \quad (97)$$

Ogin et Al [20] που βρίσκονται με τη σύγκριση των πειραματικών στοιχείων με eq. (97) που για GFRP $m = 5.7$, ενώ για CFRP η αξία του μ μπορεί να είναι τόσο υψηλή όπως 30. Ελλείπει άλλου j πληροφορίες, επιλέγουμε $\mu = 10$ για KFRP και έπειτα αξίας για $A = 5 \times 10^7$ για (0/90) το υλικό και 5×10^9 του s για (0/90) 2) το υλικό του s, eq. (97) προβλέπουν την τάση της μείωσης συντελεστών με τα στοιχεία κύκλων εύλογα καλά (με τη σκλήρυνση ινών που αφαιρείται έξω) (αριθμοί 39 και 40).

Οποιαδήποτε μικρομηχανική της ανάλυσης ζημίας πρέπει να θεωρηθεί ελλιπής και αστήρικτος εκτός αν συσχετίζεται με τις πειραματικές παρατηρήσεις. Η αληθινή δοκιμή οποιασδήποτε ανάλυσης είναι η δυνατότητά της που συσχετίζεται με τα πειραματικά στοιχεία από πολλές διαφορετικές φυλλόμορφες δομές και τα υλικά παρά μερικά προσεκτικά επιλεγμένα παραδείγματα. Το τρίτο σχόλιο του αφορά τη

μερικώς ανεπιτυχή μικρομηχανική των αναλύσεων ζημίας. Τα σύνθετα προβλήματα σπασίματος είναι πολύ σύνθετα και έχουμε δει σπάνια ένα ενιαίο πρότυπο σπασίματος που εξηγεί όλες τις πτυχές της έναρξης και της διάδοσης ζημίας. Παρά την προσδοκία ότι κανένα πρότυπο δεν θα είναι τέλει, η διαδικασία της μικρομηχανικής της ζημίας είναι χρήσιμη εάν μας δίνει τη νέα διορατικότητα στη σύνθετη αποτυχία ή εάν προτείνει τις νέες περιοχές για την καρποφόρο μελέτη της σύνθετης αποτυχίας.

10.1 Μια περιπτώσιολογική μελέτη μικρορωγμών μητρών

Η διαδικασία της μικρομηχανικής της ζημίας εμφανίζεται καλύτερα στα παραδείγματα. Το παράδειγμα που αναθεωρείται σε αυτό το κεφάλαιο είναι η ανάλυση μητρών και μικροϋπολογιστής-ρωγή-προκληθείσα ζημία στην οργανικός-μήτρα, υψηλής απόδοσης σύνθετα. Πολλές παρατηρήσεις έχουν επιβεβαιώσει ότι η πρώτη μορφή φύλλων πλαστικού γωνία-πτυχών ζημίας γενικά που φορτώνονται στην ένταση είναι ράγισμα ή μικρορωγή μήτρες στις εκτός άξονα πτυχές [7-50]. Οι μικρορωγμές παρατηρούνται εύκολα στις πτυχές 90° στις οποίες καλούνται λογικά τις εγκάρσιες ρωγμές. Ακόμα κι αν οι πτυχές 90° δεν είναι παρούσες, εντούτοις, μικρορωγμές μπορούν ακόμα να διαμορφώσουν στις πτυχές με την υψηλότερη γωνία όσον αφορά την κατεύθυνση φόρτωσης (π.χ., οι 0 πτυχές στο φύλλο πλαστικού α [0/0 —/0] s [51]). μικρορωγμές παρατηρούνται κατά τη διάρκεια της στατικής φόρτωσης, της φόρτωσης κούρασης, της θερμικής φόρτωσης, ή οποιουδήποτε συνδυασμού αυτών των φορτώσεων.

Τα αρχικά αποτελέσματα μικρορωγμωσ στις πτυχές 90° είναι σχετικά δευτερεύοντα. Οι μικρορωγμές προκαλούν τις αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες του φύλλου πλαστικού, συμπεριλαμβανομένης μιας μείωσης της διαμήκους ακαμψίας [22] και μιας αλλαγής στους συντελεστές θερμικής επέκτασης [52.53]. μικρορωγμωσ εισάγουν τις διαβάσεις μέσω των οποίων οι διαβρωτικοί πράκτορες μπορούν να διαπεράσουν στο εσωτερικό του φύλλου πλαστικού. Η μόνη παρουσία μικρορωγμωσ και των ανωτέρω δευτερευόντων αποτελεσμάτων μπορεί να προκαλέσει μια τεχνική αποτυχία [16]. Εάν οι μικρές αλλαγές στις μηχανικές ιδιότητες δεν μπορούν να ανεχθούν ή εάν η διαρροή σε κρίσιμο (π.χ., για τα σκάφη πίεσης), η παρουσία πρώτης μικρορωγμής προκαλεί τη δομική αποτυχία. Για αυτές τις κρίσιμες εφαρμογές η μικρομηχανική της ανάλυσης ζημίας πρέπει να είναι σε θέση να προβλέψει την έναρξη σπασίματος μικροδομών

Οι πιο χαρακτηριστικές σύνθετες εφαρμογές δεν επηρεάζονται από μερικές μικρορωγμές και είναι βάζοντας στον πειρασμό για να θεωρηθεί μικρορωγή η ζημία ανεκτή εφ' όσον η μικρορωγή πυκνότητα είναι χαμηλή. Δυστυχώς, υπάρχουν πολλά στοιχεία που προτείνουν ότι μικρορωγμές ενεργούν ως πυρήνες για περαιτέρω και ενδεχομένως περισσότερες επιβλαβείς μορφές ζημίας [16]. μικρορωγμές μπορούν να προωθήσουν την ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ μεταξύ της εκτός άξονα πτυχής (π.χ., η πτυχή 90°) και της παρακείμενης πτυχής. Αυτά τα σπασίματα αρχίζουν σύμφωνα με τη γραμμή όπου η άκρη μικρορωγή συναντά τη διεπαφή πτυχών. Όταν οι πτυχές 0° είναι δίπλα στις πτυχές 90°, μικρορωγή μπορεί να προκαλέσει το διαμήκη διαχωρισμό στις πτυχές 0°. Η διατομή μικρορωγή και της διαμήκους διάσπασης είναι ένας τομέας της έντονης συγκέντρωσης πίεσης που μπορεί να προκαλέσει την ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ [36.37]. Στα προχωρημένα στάδια σπασίματος μικροδομών της ζημίας, μικρορωγμές μπορούν να εμφανιστούν κοντά στα υπάρχοντα ευθεία μικρορωγμές [37]. Η ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ εμφανίζεται να προχωρά εύκολα από τις άκρες κυρτά μικρορωγμής [37], μικρορωγμές μητρών στις πτυχές 90° και οι τύποι ζημιών που προκαλούνται από μικρορωγμές μητρών παρουσιάζονται στο σχέδιο 1. Μια επιτυχής μικρομηχανική της ανάλυσης ζημίας για μικρορωγμές μητρών πρέπει να είναι ικανή όχι μόνο μικρορωγμές, αλλά και το σχηματισμό φύτρων άλλων μορφών ζημίας.

Απαριθμούμε μερικούς στόχους για μια επιτυχή μικρομηχανική της ανάλυσης ζημίας σύνθετο ρηγματώση :

προβλέψτε έναρξη μικρορωγμωσ

προβλέψτε την αύξηση στην πυκνότητα μικρορωγμής στη συνεχή φόρτωση

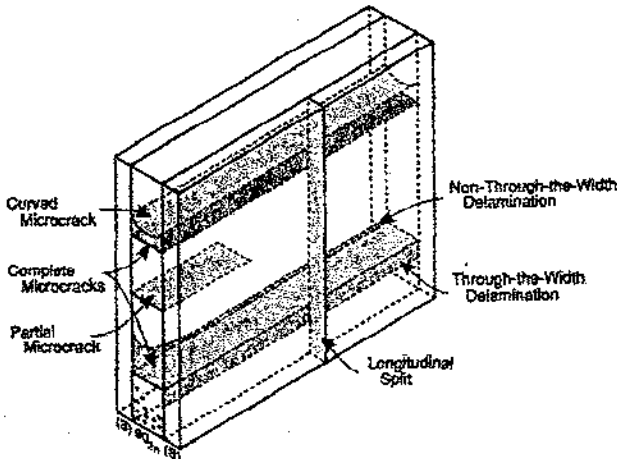
προβλέψτε τους όρους που οδηγούν στις σχετικές μορφές ζημίας όπως η ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ, ο διαμήκης διαχωρισμός, και κυρτες μικρορωγμές

στην ανάλυση μικρομηχανικής, περιλάβετε τις υπόλοιπες θερμικές πιέσεις και με αυτόν τον τρόπο αξιολογήστε το ρόλο των θερμικών πιέσεων στη διαδικασία ζημίας

προβλέψτε την επίδραση που μικρορωγμές και άλλες μορφές ζημίας έχουν στις μηχανικές και θερμικές ιδιότητες

συνδυάστε όλων επάνω από τα αποτελέσματα για να προβλέψετε τη διάρκεια ζωής κούρασης κατά τη διάρκεια της μηχανικής κούρασης ή της θερμικής ανακύκλωσης.

Αναθεωρούμε τις προσπάθειες λογοτεχνίας στην επίτευξη αυτών των στόχων. Με μερικές εξαιρέσεις, τα πειραματικά αποτελέσματα και οι αναλυτικές προσπάθειες έχουν επικεντρωθεί μικροραγμές στις πτυχές 90° . Για να γενικεύσουμε την ανάλυση, αναθεωρούμε μικροραγμές $[(S)/90^\circ]_s$ και μέσα $[90^\circ/(S)]_s$ στα φύλλα πλαστικού όπου (S) είναι οποιοδήποτε ορθοτροπική κατασκευή φύλλων η του οποίου ακαμψία είναι σχετικά μεγαλύτερη από τις πτυχές 90° . Το προηγούμενο φύλλο πλαστικού συγκεντρώνεται τις πτυχές 90° γύρω από το κέντρο του φύλλου πλαστικού και το τελευταίο έχει τις πτυχές 90° στις εξωτερικές επιφάνειες.



Σχέδιο 1. Φύλλο πλαστικού α $[0^\circ/90^\circ]_s$ με διάφορους τύπους τρόπων ζημίας. Οι διευκρινισμένοι τρόποι ζημίας είναι πλήρη, μερική, s μικροραγμές -προκληθείσα ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ (και ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ μέσω-ο-πλάτους και ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ μη-μέσω-ο-πλάτους που αρχίζει σε μια ελεύθερη άκρη), καμμημένα μικροραγμές και διαμήκης διαχωρισμός.

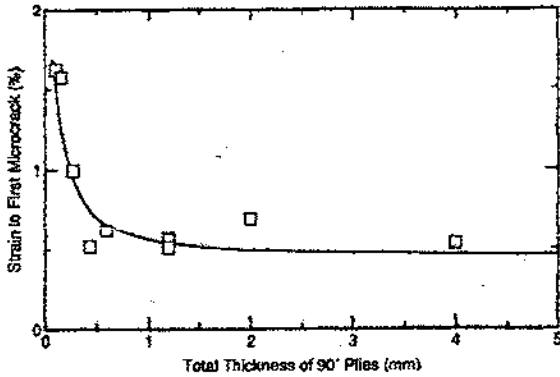
Ρηγματώση μητρών

11. Πειραματικές παρατηρήσεις

Το πρώτο βήμα σε οποιαδήποτε μικρομηχανική της ανάλυσης ζημίας είναι να παρατηρηθεί η διαδικασία ζημίας. Διάφορες πρόωρες έρευνες δείχνουν ότι η πρώτη μορφή αποτυχίας στα υψηλής απόδοσης φύλλα πλαστικού είναι χαρακτηριστικά ρηγματώσης μητρών [7-10]. Από τότε οι πολυάριθμες μελέτες έχουν εστιάσει ρηγματώση και την προκληθείσα ζημία μέσα $[(S)/90^\circ]_s$ και $[90^\circ/(S)]_s$ φύλλα πλαστικού [11-50]. Σε αυτό το τμήμα αναθεωρούμε τις πειραματικές παρατηρήσεις σε εκείνες τις μελέτες.

11.1. μικροραγμη μέσα σε φύλλα πλαστικού $[0^\circ/90^\circ]_s$

Η πρώτη συστηματική μελέτη ρηγματώση $[0^\circ/90^\circ]_s$ στα φύλλα πλαστικού που περιλαμβάνει την επίδραση της φυλλόμορφης δομής είναι η εργασία Garrett, Bailey, et του Al [11-18]. Τα πειράματά τους ήταν στον ενισχυμένο γυαλί πολυεστέρα [11.12] (Tyglas YI 19/Crystic 390) και εποξικό ενισχυμένο γυαλί [13-17] (γυαλί ε/Shell Epikote 828). Ποίκιλαν το πάχος των πτυχών 90° κρατώντας το πάχος των πτυχών 0° σταθερών σε 0,5 mm. Όπως φαίνεται στο σχέδιο 2 η πίεση για να αρχίσει το μικροραγμη τις αυξήσεις ως πάχος των πτυχών 90° μειώνεται [13]. Όταν οι πτυχές 90° είναι παχύτερες από 0,4 mm., μικροραγμη διαμορφώνουν στιγμιαία και εκτείνονται την ολόκληρη διατομή των πτυχών 90° . Για αυτά τα παχιά φύλλα πλαστικού δεν είναι δυνατό να παρατηρηθεί η έναρξη και η αύξηση μεμονωμένα μικροραγμες. Για 90° οι πτυχές μεταξύ παχιά, μερικά μικροραγμες 0,1 και 0,4 mm. αρχίζουν στις ελεύθερο-άκρες και διαδίδουν αργά πέρα από το ολόκληρο πλάτος του φύλλου πλαστικού. Όταν οι πτυχές 90° είναι λιγότερο από 0,1 χιλ. παχιές, καμια μικροραγμη ή μερικές μικροραγμες ακρών δεν διαμορφώνει πριν από την πλήρη φυλλόμορφη αποτυχία [13]. Αυτά τα πειράματα επεξηγούν μια επίδραση μικροραγμες -καταστολή όπως η σχετική ακαμψία των ενισχυτικών πτυχών 0° αυξάνεται όσον αφορά τις πτυχές 90° . Επάνω στη μείωση του πάχους των πτυχών 90° , τα αποτελέσματα καταστολής αρχίζουν στην πρώτη παρατήρηση μερικό μικροραγμη. Αυτά τα μερικά μικροραγμες εμφανίζονται όταν



Σχέδιο 2. Η πίεση για να αρχίσει μικρορωγμή στα εποξικά [0/90/0] φύλλα πλαστικού γυαλιού ε ως λειτουργία του συνολικού πάχους των πτυχών 90°. Το 0° χειρίζεται κάθε ενός έχει ένα σταθερό πάχος 0,5 mm. Τα στοιχεία είναι από την παρ. [13].

90° οι πτυχές είναι 0,4 mm. παχιές ή για τον ίσο στο πάχος κάθε ομάδας πτυχών 0° (0,5 mm.). Χρησιμοποιώντας συσσωρεύοντας την οθονοματολογία ακολουθίας, η επίδραση καταστολής αρχίζει

σε αυτοί [$0m/90^m$], φύλλα πλαστικού όταν $n \wedge m/2$.

Τα παρόμοια μικρορωγμή πειράματα έναρξης έχουν γίνει στον άνθρακα/τα εποξικά φύλλα πλαστικού (τύπος II/εποxy [15.16] και T300/Fiberite 934 ινών άνθρακα εποξικό [19]). Τα αποτελέσματα είναι παρόμοια παρουσιάζοντας μια αύξηση στην πίεση για να αρχίσουν Μικρορωγμες καθώς το πάχος των πτυχών 90° μειώνεται. Μικρορωγμες στον άνθρακα/τα εποξικά φύλλα πλαστικού εκτείνονται γενικά τη διατομή των πτυχών 90° στιγμιαία και παρουσιάζουν λιγότερα στοιχεία των αποτελεσμάτων καταστολής. Η μειωμένη μικρορωγμή καταστολή οφείλεται στα πειραματικά αποτελέσματα που περιορίζονται στα φύλλα πλαστικού με τις σχετικά παχιές πτυχές 90°. Σύμφωνα με τα αποτελέσματα με το γυαλί/τα εποξικά φύλλα πλαστικού, Μικρορωγμες τα αποτελέσματα καταστολής αναμένονται για [$0 m / 90$] s τα φύλλα πλαστικού όταν $m >$ αναμένονται 2 και η πλήρης καταστολή μόνο όταν $m \geq 10$. Τα υπό πειραματικά αποτελέσματα είναι περιορισμένα [$0 \mu / 90$ "] s στα φύλλα πλαστικού με $m \leq n$ και έτσι τα αποτελέσματα καταστολής μειώνονται.

Η προσεκτική μικροσκοπηση έχει χρησιμοποιηθεί για να ερευνησει την προέλευση των Μικρορωγμων. Στη φυλλόμορφη άκρη των φύλλων πλαστικού γυαλιού/πολυεστέρα, οι Μικρορωγμες συνδέονται γενικά με τα κενά και τις περιοχές του υψηλού μέρους όγκου ινών, αν και Μικρορωγμες στις ρητίνη-πλούσιες περιοχές παρατηρούνται μερικές φορές [11]. Η λεύκανση πίεσης παρατηρείται σε μερικά γυαλί/εποξικά φύλλα πλαστικού στις πιέσεις κάτω από αυτήν που απαιτείται για Μικρορωγμες την έναρξη [14-17.20]. Η οπτική μικροσκοπηση αποκαλύπτει ότι η επίδραση πίεση-λεύκανσης οφείλεται στη διεπαφή μεταξύ της ίνας και της μήτρας. Η επίδραση πίεση-λεύκανσης είναι μερικώς αντιστρέψιμη με την εκφόρτωση και απολύτως αντιστρέψιμη από τη θερμική επεξεργασία [14]. Για να καταλάβουν τη λεύκανση πίεσης και Σπασιμο μικροδομων την έναρξη, Bailey και Pargizi [17] μελέτησαν το γυαλί/τα εποξικά φύλλα πλαστικού με τις λεπτές πτυχές 90° ή τα φύλλα πλαστικού στα οποία Μικρορωγμες ο σχηματισμός προχωρά από τις αρχικές ρωγμές ακρών και την αργή διάδοση πέρα από το πλάτος δειγμάτων. Δεδομένου ότι η πίεση αυξάνεται, η ίνα που συνδέεται με τη λεύκανση πίεσης συγχωνεύεται και διαμορφώνει τελικά Μικρορωγμες. Αυτό το Σπασιμο μικροδομων διαδίδει από την άκρη και πέρα από το φυλλόμορφο πλάτος. Μικρορωγμες που διαμορφώνουν μέσα στο φύλλο πλαστικού και που διαδίδουν στις άκρες συνήθως δεν παρατηρούνται. Η διαφάνεια του γυαλιού/των εποξικών φύλλων πλαστικού καθιστά αυτές τις παρατηρήσεις πιθανές.

Επειδή ο άνθρακας/τα εποξικά φύλλα πλαστικού είναι αδιαφανείς, καμία λεύκανση πίεσης δεν παρατηρείται και δεν είναι δυνατό να αποκλειστούν Μικρορωγμες διαμορφώνοντας στο φυλλόμορφο εσωτερικό. Όλα τα διαθέσιμα στοιχεία, εντούτοις, προτείνουν ότι το Σπασιμο μικροδομων διαδικασίες σχηματισμού στον άνθρακα/τα εποξικά φύλλα πλαστικού και γυαλί/τα εποξικά φύλλα πλαστικού είναι παρόμοιες. Η οπτική μικροσκοπηση ακρών προτείνει ότι ο άνθρακας/εποξικά φυλλόμορφα Μικρορωγμες αρχίζει επίσης στην ίνα αδεσμευτα [15]. Αυτές οι παρατηρήσεις υποστηρίζονται από τα ακουστικά στοιχεία εκπομπής που συνδέουν ινών με Μικρορωγμή το σχηματισμό [16].

Η ακόλουθη περιγραφή είναι σύμφωνη με τις πειραματικές παρατηρήσεις. Στην πολύ χαμηλή πίεση, οι συγκεντρώσεις πίεσης στη διεπαφή ινών/μητρών προκαλούν ινών/μητρών στις ελεύθερες άκρες δειγμάτων. Στις ελαφρώς υψηλότερες πιέσεις, αυτή η ίνα debonds συγχωνεύεται για να διαμορφώσει

μερικό μικρορωγμή που προέρχεται από την ελεύθερη άκρη και που διαδίδει προς το φυλλόμορφο εσωτερικό. Τελικά Μικρορωγμές διαδίδει πέρα από την ολόκληρη διατομή των πτυχών 90° και των πλήρων Μικρορωγμές μορφών. Αυτό το Μικρορωγμή σχηματισμός προχωρά στιγμιαία όταν οι πτυχές 90° είναι παχιές και μερικώς ή συνολικά καταστρέφεται τότε οι πτυχές 90° είναι λεπτές. Αρχικές Μικρορωγμές σταματούν συνήθως στη διεπαφή $90/0$ χωρίς πρόκληση συνεχούς [11, 14]. της ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ φόρτωσης οδηγούν γενικά στο σχηματισμό περισσότερα Μικρορωγμές.

11.2. μικρορωγμή και ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ [(S)/90]_n στα φύλλα πλαστικού

Οι ρηγματώση ιδιότητες [$\pm \theta/90$]_n των φύλλων πλαστικού είναι ποιοτικά παρόμοιες με εκείνοι [$0_2/90$]_n των φύλλων πλαστικού. Η μειωμένη ακαμψία του υποκατασκευαστη φύλλων ($\pm \theta$) εναντίον (0 2) κατασκευαστη, εντούτοις, μόλυβδοι σε μια απώλεια περιορισμού, μια μείωση του μηχανισμού μικρορωγμή-καταστολής, και το σχηματισμό μικροσπασμάτων στα χαμηλότερα εφαρμοσμένα φορτία.

Παρατηρηθείσα μικροσπασμάτων Kural έναρξη Flaggs και [19] [$\pm \theta/90$]_n στον άνθρακα/εποξικός φύλλα πλαστικού (T300/Fiberite 934 εποξικό) για $\theta = 0, 30$, και 60° . Για όλα τα φύλλα πλαστικού, η πίεση για να αρχίσει μικροσπασμάτων τις αυξήσεις ως πάχος των πτυχών 90° μειώνεται. Το μέγεθος της αύξησης πίεσης για τις λεπτές πτυχές 90° (δηλ., η επίδραση καταστολής) μειώνεται για $\theta = 60^\circ$ φύλλα πλαστικού σε σύγκριση με $\theta = 0$ και φύλλα πλαστικού 30° . η πυκνότητα μικρορωγμή ως λειτουργία του εφαρμοσμένου φορτίου έχει μετρηθεί για [$\pm 25/90$]_n στον άνθρακα τα εποξικά φύλλα πλαστικού (T300/Fiberite 934) [26.27.40-42] και για [$\pm \theta/90$]_n τον άνθρακα. Μετά από το σχηματισμό πρώτου σπασματος μικροδομών υπάρχει μια γρήγορη άνοδος σπασματος μικροδομών στην πυκνότητα με το αυξανόμενο φορτίο. Στα υψηλότερα φορτία το ποσοστό αύξησης σπασματος μικροδομών στην πυκνότητα επιβραδύνει και τα μικρορωγμές κράτη ζημίας κορεσμού προσέγγισης πυκνοτήτων. Η σημαντικότερη διαφορά είναι ότι η μειωμένη ακαμψία του ($\pm \theta$) υποκατασκευαστη εναντίον (0 2) υποκατασκευαστη αναγκάζει ένα δεδομένο επίπεδο σπασματος μικροδομών ζημίας για να εμφανιστεί σε χαμηλότερο επίπεδο πίεσης ως 9 αυξήσεις.

Η αλληλεπίδραση μεταξύ σπασματος μικροδομών και της ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ εμφανίζεται καλά στην περιπτώσιολογική μελέτη [$\pm 25/90$]_n του άνθρακα/εποξικός (934) φύλλα πλαστικού T300/Fiberite για $n = \frac{1}{2}, 1, 2, 3, 4, 6$

και 8 [26.27.40-42]. Η επιλογή του (+ 25) υποκατασκευαστη έγινε για να προωθήσει τα αποτελέσματα άκρη-ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ. Ο ρόλος της ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ ακρών σε αυτά τα φύλλα πλαστικού είναι επομένως μεγαλύτερος από είναι στα χαρακτηριστικά φύλλα πλαστικού διαγώνιος-πτυχών. Με εξαίρεση $v =$ το φύλλο πλαστικού plain, η αρχική μορφή ζημίας είναι σπασματος μικροδομών στις ομάδες πτυχών 90° . Φύλλα πλαστικού με $n \leq 3$ (συμπεριλαμβανομένου $n = 1/2$) παρουσιάζει νύχι του αντίχειρα-διαμορφωμένα σπασματα ακρών κατά μήκος του φυλλόμορφου midplane. Αυτά τα σπασματα ακρών δεν συνδέονται με σπασματος μικροδομών, αλλά παρουσία σπασματος μικροδομών που εκτρέπουν μερικές φορές στη — διεπαφή 25/90. Τα φύλλα πλαστικού με $n \wedge 4$ παρουσιάζουν ότι τα σπασματα στη — διεπαφή 25/90 που προέρχεται από τις άκρες υπάρχουν σπασματος μικροδομών. Τα σπασματος μικροδομών -προκληθέντα σπασματα αρχίζουν στην ελεύθερη άκρη και διαδίδουν στο φύλλο πλαστικού κατά μήκος των ακρών σπασμάτων μικροδομών ή στην κατεύθυνση πλάτους. Ο αριθμός σπασμάτων μικροδομών παρατηρηθείς προτού να μειωθεί η αρχή της ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ ως n αυξάνεται (για $n \geq 4$). Εν περιλήψει, όταν το v είναι αρκετά μεγάλο, μικρορωγμές στις πτυχές 90° μπορούν να προκαλέσουν τα σπασματα στη — διεπαφή 25/90. Αυτά τα μηρθροθραγκ-προκληθέντα σπασματα διαμορφώνουν ευκολότερα ως πάχος των αυξήσεων πτυχών 90° .

11.3. Θερμικά προκληθέντα μικρορωγμές

Ο κακός συνδυασμός των συντελεστών θερμικής επέκτασης μεταξύ (S) sublaminar και των πτυχών 90° σημαίνει ότι οι μεμονωμένες πτυχές θα είναι κάτω από την υπόλοιπη πίεση ή το θερμικό φορτίο. Όπως [(S)/90]_n s το φύλλο πλαστικού δροσίζεται, μια εκτατή πίεση X-κατεύθυνσης (κατεύθυνση φόρτωσης) αναπτύσσεται στις πτυχές 90° που ισορροπούνται από μια συμπιεστική πίεση X-κατεύθυνσης. Εάν η εκτατή πίεση παίρνει αρκετά υψηλή, οι πτυχές 90° μπορούν να κανουν μικρορωγμές. Σε μερικά φύλλα πλαστικού μια ενιαία ψύξη στις υπό το μηδέν θερμοκρασίες μπορεί να μικρορωγμές [47-50]. Η θερμική ανακύκλωση, μεταξύ -250°F και $+250^\circ\text{F}$ (-156°C και 121°C),

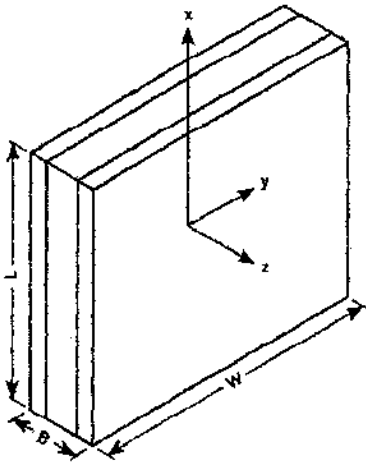
παραδείγματος χάριν, αναγκάζει τη μικρορωγμη πυκνότητα για να αυξηθεί με τον αριθμό κύκλων [47.50]. Τα περισσότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα για μικρορωγμες που παρατηρούνται για τη μηχανική φόρτωση "παρατηρούνται επίσης για μικρορωγμες που προκαλούνται από τη θερμική φόρτωση. Ειδικότερα, μικρορωγμής αρχίζουν στην ελεύθερη άκρη και διαδίδουν συνήθως στιγμιαία πέρα από το πλάτος δειγμάτων, παχύτερη μικρορωγμη ομάδων πτυχών 90° ευκολότερα, και μικρορωγμες μπορούν να προκαλέσουν την ΔΙΑΣΤΡΩΜΑΤΙΚΗ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗ στη διεπαφή $90^\circ / (S)$ [47].

Ένα μοναδικό χαρακτηριστικό γνώρισμα θερμικά προκληθέν ρηγματώση [0 m / 90°] s στα φύλλα πλαστικού είναι ότι η θερμική φόρτωση είναι διαξωνική. Όταν αντιμετωπίζεται κατά μήκος των προτύπων η άκρη - η άκρη παράλληλη στις πτυχές 0° - το φύλλο πλαστικού θεωρείται ως φύλλο πλαστικού [0 m / 90°] s. η πίεση στις κεντρικές πτυχές 90° είναι εκτατή και η θερμική φόρτωση προκαλεί μικρορωγμες εκείνων των πτυχών. Εάν το δείγμα είναι 90° , το φύλλο πλαστικού θεωρείται ως [$90^\circ / 0_m$], φύλλο πλαστικού. αυτή η κατεύθυνση που η θερμική πίεση στις εξωτερικές πτυχές 90° είναι εκτατό και θερμικό ρηγματώση εξωτερικών-πτυχών αιτιών φόρτωσης. Όταν αντιμετωπίζεται και από τις δύο κατευθύνσεις, η θερμική φόρτωση [$0_m / 90_n$], των φύλλων πλαστικού προκαλεί μικρορωγμες σε όλες τις πτυχές [47.50]. Ο αριθμός micro-cracks που αναπτύσσονται 0° ή 90° τις πτυχές εξαρτάται από τα πάχη εκείνων των ομάδων πτυχών και από τις διαστάσεις του πιάτου.

11.4. Ανάλυση πίεσης

Ένα σημαντικό βήμα οποιασδήποτε μικρομηχανικής της ανάλυσης ζημίας είναι να ληφθούν τα κράτη πίεσης για τα χαλασμένα φύλλα πλαστικού. Αρχίζουμε με τα φύλλα πλαστικού χαλασμένα μόνο από μικρορωγμες στις πτυχές 90° . Άλλοι τρόποι ζημίας, όπως ο προσδιορισμός και κυρτες μικρορωγμες, εξετάζονται αργότερα. Το φυλλόμορφο ισότιμο σύστημα καθορίζεται στο σχέδιο 5. Η κατεύθυνση X είναι η κατεύθυνση φόρτωσης η κατεύθυνση Y είναι η κατεύθυνση πλάτους η κατεύθυνση ζ είναι η κατεύθυνση πάχους. Το πλάτος μήκους (L) δειγμάτων (W) και το πάχος (B) παρουσιάζονται επίσης στο σχέδιο 5.

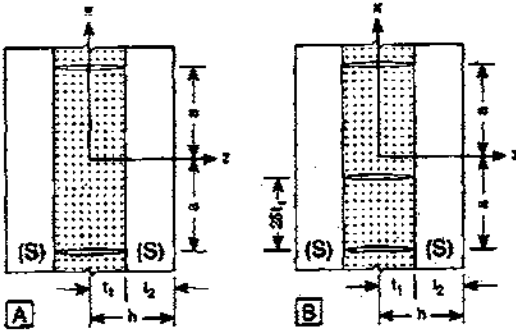
Απλοποιούμε τη μικρορωγμη με TO να υποθέσουμε ότι όλες οι μικρορωγμες εκτείνονται στιγμιαία την ολόκληρη διατομή των πτυχών 90° . Αυτή η υπόθεση είναι λογική επειδή μερικές μικρορωγμες παρατηρούνται μόνο στις ασυνήθιστες περιστάσεις όπως τα φύλλα πλαστικού με τις λεπτές πτυχές 90° [13] ή τα φύλλα πλαστικού κάτω από την κούραση χαμηλός-πίεσης [21.35]. Μικρορωγμη που εκτείνεται την ολόκληρη διατομή των πτυχών 90° είναι μικρορωγμη μέσω του πλάτους. Παρουσία μόνο της ζημίας μέσω-ο-πλάτους, η ανάλυση πίεσης είναι περίπου διδιάστατη στο αεροπλάνο X-ζ. Το ισότιμο σύστημα για την x-z ανάλυση πίεσης [(S)/ 90_n], των φύλλων πλαστικού δίνεται στο σχέδιο Γ. Το "κύτταρο μονάδων" της ζημίας είναι



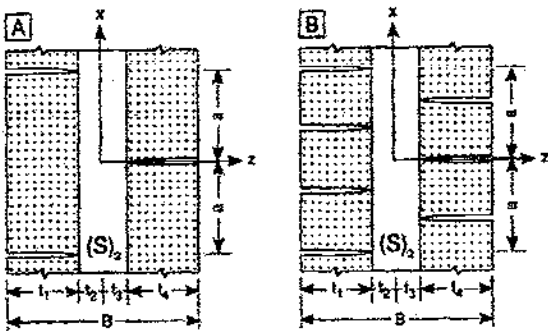
Σχέδιο 5. Το ισότιμο σύστημα για την ανάλυση πίεσης [(S)/ 90_n], και [$90_n / (S)$], τα φύλλα πλαστικού. L, W, και γυμνό μήκος, πλάτος, και πάχος του φυλλόμορφου πιάτου.

περιοχή μεταξύ δύο υπάρχοντα μικρορωγμής. Καθορίζουμε το t ως ημι-πάχος της ομάδας πτυχών 90° , το t 2 ως πάχος κάθε (S) φυλλο και 2a ως απόσταση μεταξύ υπάρχον μικρορωγμής. Εξιδανικεύουμε το κράτος ζημίας με να υποθέσουμε ότι μικρορωγμη τρικλίζει είναι τέλει και παίρνουμε το "κύτταρο μονάδων" της ζημίας ως περιοχή μεταξύ δύο υπάρχοντα μικρορωγμής σε μια από τις ομάδες πτυχών 90° .

Το ισότιμο σύστημα για το "κύτταρο μονάδων" της ζημίας για $[90_n/(S)]_n$ φύλλα πλαστικού δίνεται στο σχέδιο 7A. Για αυτά τα φύλλα πλαστικού τ το λ είναι το συνολικό πάχος κάθε ομάδας πτυχών 90° , τ_2 είναι το πάχος (S) φύλλου μετάλλου, και δ είναι η απόσταση μεταξύ υπάρχοντα μικρορωγμής σε μια από τις ομάδες πτυχών 90° . Από μερικές λογικές υποθέσεις, η ανάλυση πίεσης απλοποιεί από μαθηματική άποψη σε μια δισδιάστατη ανάλυση. Η τρίτη διάσταση εισάγεται από μια πρόσθετη υπόθεση της πίεσης αεροπλάνων, της πίεσης αεροπλάνων, ή των γενικευμένων όρων πίεσης αεροπλάνων. Περιγράψουμε συνήθως



Σχέδιο άποψη ακρών 6. του α $[(\text{φύλλο πλαστικού}S)/90]_5$ με μικρορωγμής. (A) Δύο μικρορωγμής στις πτυχές 90° . (B) Ο σχηματισμός νέο μικρορωγμής σε μια απόσταση $2St_1$ επάνω από κατώτατο μικρορωγμής.



Σχέδιο 7. Ένα κύτταρο μονάδων της ζημίας σε ένα $[90_n/(S)]_n$ φύλλο πλαστικού που έχει "τρικλισμένα" ή αντισυμμετρικά μικρορωγμής. (A) Α ενιαίο κύτταρο μονάδων της ζημίας. (B) Κύτταρα τριών μονάδων της ζημίας μετά από το σχηματισμό νέα μικρορωγμής στις θέσεις των τοπικών μεγίστων στην εκτατή πίεση.

η πίεση αεροπλάνων αναλύει αλλά συνειδητοποιεί ότι μια λύση πίεσης αεροπλάνων μπορεί κοινότητα να παραχθεί από μια λύση πίεσης αεροπλάνων με την αντικατάσταση των μειωμένων μηχανικών ιδιοτήτων για τις μηχανικές ιδιότητες της ανάλυσης πίεσης αεροπλάνων. Αν και μια δισδιάστατη ανάλυση μας δίνει πολλές πληροφορίες για ρηγματώση τη ζημία, δεν μπορεί ποτέ να παραγάγει τις πληροφορίες για τα τρισδιάστατα αποτελέσματα. Μια δισδιάστατη ανάλυση δεν είναι επομένως χρήσιμη στην πρόβλεψη της διάδοσης Y-κατεύθυνσης μερικά μικρορωγμής ή στη διευκρίνιση των αποτελεσμάτων ακρών ότι μικρορωγμής αιτίας για να αρχίσει στις ελεύθερος-άκρες δειγμάτων.

11.5.. Μικρορωγμή έναρξη $[(S)/90_n]_n$ στα φύλλα πλαστικού

οι Garrett και Bailey [11] υποθέτουν ότι ρηγματώση αρχίζει τότε η πίεση X-κατεύθυνσης στις πτυχές 90° γίνεται ίση με την εγκάρσια δύναμη του ομοιοκατευθυνόμενου υλικού. Η θεωρία απλά δηλώνει ότι ρηγματώση αρχίζει τότε

$$\sigma_{x0}^{(1)} = \sigma_T, \tag{54}$$

όπου σ_T το $\rho \tau$ είναι η εγκάρσια εκτατή δύναμη ενός ομοιοκατευθυνόμενου φύλλου πλαστικού. Λύνοντας eq. (54) για την εφαρμοσμένη πίεση, λαμβάνουμε την πίεση για να αρχίσουμε ρηγματώση όπως

$$\epsilon_{inil} = \frac{\sigma_T - k_{th}^{(1)} T}{E_c^0 k_m^{(1)}}, \tag{55}$$

όπου E^0 είναι ο διαμήκης συντελεστής του άθικτου φύλλου πλαστικού. Αυτή η ανάλυση είναι ένα

πρότυπο αποτυχίας πρώτος-πτυχών παραγόμενο που χρησιμοποιεί ένα μέγιστο κριτήριο αποτυχίας πίεσης.

Αν και απλό στην έννοια, το πρότυπο δύναμης ή η θεωρία αποτυχίας πρώτος-πτυχών είναι σε φτωχή συμφωνία με τις πειραματικές παρατηρήσεις. Ένα απλό πείραμα που καταδεικνύει τη φτωχή συμφωνία είναι να μετρηθεί η πίεση για να αρχίσει η ρηγματώση για μια σειρά φύλλων πλαστικού. Εάν εκείνη η πίεση είναι σ_{lim} μπορούμε να υπολογίσουμε $\sigma_{x0}^{(1)}$ κατά την διάρκεια μικρορωγμής έχουμε χρησιμοποίηση έναρξης

Εάν η θεωρία δύναμης είναι πολυτιμη, το υπολογισμένο $\sigma_{x0}^{(1)}$ πρέπει να είναι ανεξάρτητο από τη φυλλόμορφη δομή και για όλα τα φύλλα πλαστικού πρέπει να είναι ίσο με σ . Η εύρεση είναι εκείνο η $\sigma_{x0}^{(1)}$

μικρορωγμή η έναρξη εξαρτάται έντονα από τη φυλλόμορφη δομή [19.42]. Σαν πάχος των μειώσεων πτυχών 90° , $\sigma_{x0}^{(1)}$ μικρορωγμή η έναρξη αυξάνεται.

Το Crossman και WANG [42] αναγνωρίζουν ότι $\sigma_{x0}^{(1)}$ στην αποτυχία είναι επίσης διαφορετικός από το μηδέν και ότι ένα απλό κριτήριο δύναμης βασισμένο απλώς στο μέγεθος $\sigma_{x0}^{(1)}$ να είναι ανεπαρκές. Να ελέγξει για τη δυνατότητα ότι περισσότερος "νόθεψε" τα κριτήρια αποτυχίας, όπως τα τετραγωνικά κριτήρια αποτυχίας, να λειτουργήσει καλύτερα από το απλό κριτήριο δύναμης, Crossman και WANG [42] μέτρησαν και $\sigma_{x0}^{(1)}$ και μια $\sigma_{y0}^{(1)}$ μικρορωγμή στην έναρξη. Η εύρεσή τους είναι ότι καμία λογική πίεση - ή το πίεση-βασισμένο κριτήριο μπορεί να εξηγήσει την εξάρτηση μικρορωγμής της πίεσης έναρξης στη φυλλόμορφη δομή [42].

Ο μόνος τρόπος που μια δύναμη-βασισμένη στο μικρομηχανική της ανάλυσης ζημίας μπορεί να λειτουργήσει είναι εάν η εγκάρσια δύναμη πτυχών αντιμετωπίζεται είναι μια κανονική ή φυλλόμορφος-εξαρτώμενη ιδιοκτησία [19]. Αυτή η προσέγγιση, εντούτοις, παραβιάζει τις αρχές μιας καλής μικρομηχανικής της ανάλυσης ζημίας που περιγράφεται στην παράγραφο 1. Δηλώσαμε ότι μια μικρομηχανική της ανάλυσης ζημίας πρέπει να είναι αρκετά καθορισμένη ότι οι προβλέψεις μπορούν να γίνουν. Επειδή ένα πρότυπο που εξαρτάται από τις κανονικές ιδιότητες δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κάνει τις προβλέψεις, δεν είναι εξ ορισμού καθορισμένο.

Μερικοί έχουν υποστηρίξει ότι το πρότυπο δύναμης αποτυγχάνει επειδή μια αιτιοκρατική δύναμη χρησιμοποιείται και ότι πρέπει να αντικατασταθεί από ένα πιθανολογικό ή στατιστικό πρότυπο δύναμης [19, 33, 34, 57, 74]. υπέρ ενός στατιστικού προτύπου δύναμης, σημειώνουμε ότι $\sigma_{x0}^{(1)}$ αυξήσεις καθώς το πάχος των πτυχών 90° μειώνεται. Η αύξηση σε $\sigma_{x0}^{(1)}$ θα μπορούσε να αποδοθεί σε ένα μέγεθος έχει επιπτώσεις. Οι λεπτότερες πτυχές 90° έχουν στατιστικά τις λιγότερες ρωγμές και επομένως πρέπει να έχουν μια υψηλότερη αποτελεσματική δύναμη. Δύο πειραματικές παρατηρήσεις, εντούτοις, μιλούν ενάντια στη χρησιμοποίηση των στατιστικών προτύπων δύναμης. Αρχικά εξετάστε ρηγματώση [(S)/90_n] στα φύλλα πλαστικού εναντίον

ρηγματώση [90_n/(S)] στα φύλλα πλαστικού. Το πρώτο αποτυγχάνει από ρηγματώση στο (90_{2n}) φύλλο μεταλλού ενώ το τελευταίο αποτυγχάνει από ρηγματώση σε δύο μικρότερα (90ⁿ) φύλλα μεταλλού. Από τη στατιστική θεωρία δύναμης, ρηγματώση πρέπει να διαμορφώσει ευκολότερα [(S)/90ⁿ] s φύλλα πλαστικού από [90ⁿ/(S)]s στα φύλλα πλαστικού. Η πειραματική παρατήρηση είναι ακριβώς το αντίθετο - η πίεση για να αρχίσει ρηγματώση [90_n/(S)] στα φύλλα πλαστικού είναι χαμηλότερη από είναι [(S)/90ⁿ] s φύλλα πλαστικού [15].

Η δεύτερη πειραματική παρατήρηση που απορρίπτει τις στατιστικές θεωρίες δύναμης είναι παρόμοια με τη διασπαση $\sigma_{x0}^{(1)}$ μικρορωγμή στην έναρξη που απορρίπτει τις αιτιοκρατικές θεωρίες δύναμης. Το πείραμα είναι να υποτεθεί ότι η εγκάρσια δύναμη των πτυχών 90° ακολουθεί μια διανομή Weibull δύο-παραμέτρου και μετρά εκείνες τις παραμέτρους για τις πτυχές 90° στα διαφορετικά φύλλα πλαστικού. Τα συμπεράσματα είναι ότι οι παράμετροι Weibull εξαρτώνται από το πάχος των πτυχών 90° [19.34]. Όπως τις αιτιοκρατικές θεωρίες δύναμης, ο μόνος τρόπος που μια στατιστική θεωρία δύναμης μπορεί να λειτουργήσει είναι εάν η διανομή στην εγκάρσια δύναμη αντιμετωπίζεται ως κανονική ιδιοκτησία. Εν ολίγοις, οι στατιστικές θεωρίες δύναμης δεν παράγουν την καθορισμένη μικρομηχανική των αναλύσεων ζημίας που έχουν τις προφητικές ικανότητες.

Η αποτυχία των δύναμη-βασισμένων στην προτύπων οδήγησε Parvizi et το Al [13] για να προτείνει ένα ενεργειακό κριτήριο. Θέτουν ως αίτημα ότι πρώτο μικρορωγμή διαμορφώνει όταν υπερβαίνει η ενέργεια που απελευθερώνεται λόγω του σχηματισμού εκείνο το μικρορωγμή κάποια κρίσιμη αξία. Εάν το γ μ είναι το ποσοστό ενεργειακής απελευθέρωσης που συνδέεται με το σχηματισμό πλήρες

μικρορωγμη, το κριτήριο ενεργειακής αποτυχίας είναι ότι μικρορωγμη διαμορφώνει όταν $G_m \geq G_{mc}$ καλούμε G_{mc} ρηγματώση ανθεκτικότητα σπασίματος ή η ανθεκτικότητα σπασίματος του συστήματος σύνθετου υλικού. Από την εργασία Parvizi et του Al [13], το ενεργειακό κριτήριο έχει κερδίσει τη δημοτικότητα και έχει εμφανιστεί στα refs. [14-17, 24, 29-32, 54, 55, 58-60, 62, 69, 71].

Για να καταστήσει τις προβλέψεις βασισμένες στο ενεργειακό κριτήριο είναι απαραίτητο να υπολογιστεί το ποσοστό ενεργειακής απελευθέρωσης που συνδέεται με το σχηματισμό πρώτης μικρορωγμη

$$G_m = \frac{\partial \Omega}{\partial A} - \frac{\partial U}{\partial A}, \quad (57)$$

όπου Ω είναι εξωτερική εργασία, το U είναι ενέργεια εσωτερικής πίεσης, και το A είναι περιοχή επιφάνειας σπασίματος. Ο σχηματισμός πρώτης μικρορωγμη στο σταθερό φορτίο αναγκάζει τη συνολικών φυλλόμορφων ενέργεια μετατοπίσεων και εσωτερικής πίεσης για να αυξηθεί από το A_u και την Αστρονομική μονάδα, αντίστοιχα, και δημιουργεί τη νέα περιοχή επιφάνειας σπασίματος $\Delta A = 2t_1 W$. Το ποσοστό ενεργειακής απελευθέρωσης που οφείλεται ο σχηματισμός πρώτο μικρορωγμη είναι

$$G_m = \frac{\sigma_0 B W \Delta u - \Delta U}{2t_1 W}, \quad (58)$$

όπου σ_0 είναι η εφαρμοσμένη πίεση για να αρχίσουν ρηγματώση. Είναι βεβαίως δυνατό να υπολογιστεί το A_u και/και επομένως να υπολογιστεί το γ μ από οποιαδήποτε κατά προσέγγιση ανάλυση πίεσης. Πολλοί συντάκτες έχουν δώσει τα κατά προσέγγιση ισοδύναμα αποτελέσματα για το γ μ που υπολογίζεται από τις μονοδιάστατες αναλύσεις [11-14, 24, 58, 59, 60, 62]. Λαμβάνοντας υπόψη τις ανεπάρκειες στις μονοδιάστατες αναλύσεις που επισημαίνονται στην παράγραφο 3, εντούτοις, η εφαρμογή των μονοδιάστατων αναλύσεων σε οποιοδήποτε κριτήριο αποτυχίας είναι μόνο ιστορικού ενδιαφέροντος. Όπως προηγουμένως δηλώνεται, επικεντρωνόμαστε στη χρησιμοποίηση της διδιάστατης, ανάλυσης μηχανικών Hashin που επεκτείνεται για να περιλάβει τις θερμικές πιέσεις [65, 66, 69]. Η ανάλυση μηχανικών δίνει [75]

$$G_m = 2\sigma_{x0}^{(1)2} \alpha \sqrt{C_1 C_3} = \sigma_{x0}^{(1)2} t_1 \sqrt{C_1 (C_4 - C_2 + 2\sqrt{C_1 C_3})}, \quad (59)$$

όπου το α καθορίζεται eq. σε (42).

Από το ενεργειακό κριτήριο, πρώτης μικρορωγμη διαμορφώνει όταν $G_m \geq G_{mc}$ Λύνοντας eq. (59) για την εφαρμοσμένη πίεση, προβλέπουμε την πίεση ρηγματώση όπως

$$\sigma_{ini} = \frac{1}{k_m^{(1)} E_c} \left[\sqrt{\frac{G_{mc}}{t_1 \sqrt{C_1 (C_4 - C_2 + 2\sqrt{C_1 C_3})}}} - k_{th}^{(1)} T \right], \quad (60)$$

Αυτή η πρόβλεψη είναι σε καλύτερη συμφωνία με την πειραματική παρατήρηση από οποιοδήποτε πρότυπο δύναμης επειδή σωστά προβλέπει ότι η πίεση για να αρχίσει η ρηγματώση αυξάνεται σημαντικά καθώς το πάχος των πτυχών 90° μειώνεται [13, 75]. Η συμφωνία για τα φύλλα πλαστικού με τις πολύ παχιές πτυχές 90° δεν είναι όπως καλή. Γενικά η ενεργειακή θεωρία προβλέπει ότι η πίεση για να αρχίσει η ρηγματώση μειώνεται μακρύτερα από τι παρατηρείται πειραματικά [13]. Αν και το ενεργειακό κριτήριο δεν είναι ένα τέλειο κριτήριο αποτυχίας, εμφανίζεται να συλλαμβάνει τα περισσότερα χαρακτηριστικά γνωρίσματα των πειραματικών παρατηρήσεων και να είναι μια σημαντική βελτίωση πέρα από τις θεωρίες δύναμης.

Η ανικανότητα του ενεργειακού κριτηρίου να εγκατασταθούν όλα τα πειραματικά αποτελέσματα μικρορωγμής -έναρξης μπορεί να αφορά τις ανεπάρκειες στην ανάλυση πίεσης (π.χ., η υπόθεση της σταθερής εκτατής πίεσης X-κατεύθυνσης μέσα στις ομάδες πτυχών). Εναλλακτικά, μπορεί να οφείλεται στα πρακτικά προβλήματα που συνδέονται με τα πειράματα μικρορωγμής -έναρξης. Στα πειράματα μικρορωγμής -έναρξης, το ένα ψάχνει μικρορωγμή και λαμβάνει μόνο ένα σημείο στοιχείων ανά φύλλο πλαστικού. Για τα ατελή φύλλα πλαστικού που περιέχουν η επεξεργασία ραγίζει, αυτοί οι τύποι και τα πειράματα είναι εγγενώς ευαίσθητα στις ρωγμές και ίσως ακόμη και εξουσιασμένος από τις ρωγμές. Επειδή οι ρωγμές επεξεργασίας δεν εισάγουν τον υπολογισμό ποσοστού ενεργειακής απελευθέρωσης, καμία από τις συζητημένες θεωρίες δεν μπορεί να εξηγήσει τα αποτελέσματα που επηρεάζονται με την επεξεργασία των ρωγμών. Τα πρόσφατα πειραματικά στοιχεία προτείνουν ότι πρώτα-πρώτα μικρορωγμής συνδέονται πράγματι με τις φυλλόμορφες ρωγμές [29]. Ένα χαρακτηριστικό αποτέλεσμα παρουσιάζεται στο σχέδιο 3. Η μικρορωγμή πυκνότητα για το $[O_2/90_4]$ φύλλο πλαστικού παρουσιάζει χαρακτηριστική γρήγορη άνοδο μικρορωγμή στην πυκνότητα σύντομα κατόπιν πρώτα-πρώτα μικρορωγμής. Πρώτα-πρώτα μικρορωγμής, εντούτοις, εμφανίζονται σε μια πίεση κάτω από την προβλεφθείσα γρήγορη άνοδο μικρορωγμή στην πυκνότητα. Αυτά τα πρώτα μικρορωγμής σημειώνονται για να είναι κοντά στις προφανείς ρωγμές επεξεργασίας [29]. Αυτά τα σχόλια υπονοούν ότι τα πειράματα μικρορωγμής-έναρξης μπορούν να μην είναι τα καλύτερα πειράματα για τη μελέτη της ρηγματώσεως διαδικασίας. Τα προτιμημένα πειράματα είναι εκείνα που μετρούν την πυκνότητα μικρορωγμής ως λειτουργία του εφαρμοσμένου φορτίου. Στα πειράματα μικρορωγμής -πυκνότητας, το ένα λαμβάνει πολλά σημεία στοιχείων από ένα ενιαίο φύλλο πλαστικού. Εάν πρώτα-πρώτα μικρορωγμής προκαλούνται από τις φυλλόμορφες ρωγμές, μπορούν να αγνοηθούν και πολλά σημεία παραμένουν ακόμα για τη μελέτη της ρηγματώσεως διαδικασίας. Αν και οι πρώτες ρηγματώσεως έρευνες επικεντρώθηκαν στα πειράματα μικρορωγμής -έναρξης, οι περισσότερες πρόσφατες μελέτες περιλαμβάνουν τα πειράματα μηθροθραθκ-πυκνότητας.

11.5.1 Ρηγματώση $[90_n/(S)]_s$ στα φύλλα πλαστικού

Μια σημαντική κατηγορία φύλλων πλαστικού διαγώνιος-πτυχών που λαμβάνουν τη σημαντικά λιγότερη μελέτη είναι φύλλα πλαστικού του γενικού layout $[90_n/(S)]_s$ ή φύλλα πλαστικού που έχουν τις ομάδες πτυχών εξωτερικός-πτυχών 90° . Όπως συζητημένες νωρίτερα, οι ρηγματώσεις ιδιότητες $[90_n/(S)]_s$ των φύλλων πλαστικού διαφέρουν από εκείνους

από τα αντίστοιχα $[(S)/90_n]$ φύλλα πλαστικού. Ειδικότερα, η αρχική μικρορωγμής μορφή χαμηλότερα φορτία $[90_n/(S)]_s$ στα φύλλα πλαστικού και στη ζημία κορεσμού, η μικρορωγμή πυκνότητα $[90_n/(S)]_s$ τα φύλλα πλαστικού είναι χαμηλότερα. Επιπλέον, $[90_n/(S)]_s$ τα φύλλα πλαστικού αναπτύσσουν τρικλιτισμένο ή αντισυμμετρικό σχέδιο της ζημίας (βλ. τα σύκα. 4 και 7) που περιπλέκει την ανάλυση πίεσης και την προκύπτουσα μικρομηχανική της ανάλυσης ζημίας. Σε αυτό το τμήμα, ερευνάμε τη χρήση μιας ενέργεια-βασισμένης στο μικρομηχανικής του προτύπου ζημίας για να προβλέψουμε τη μικρορωγμή πυκνότητα ως λειτουργία του εφαρμοσμένου φορτίου για $[90_n/(S)]_s$ τα φύλλα πλαστικού.

12. Γενική συμπεριφορά των σύνθετων με την ατελή σύνδεση μεταξύ των φάσεων Ατελές συνδέοντας πρότυπο εύκαμπτος-διεπαφών

Η επίδραση της ατελούς σύνδεσης μεταξύ των ινών και της μήτρας σε ένα σύνθετο υλικό μπορεί να ενσωματωθεί με το να υποθέσει ότι ένα ενδιάμεσο στρώμα υπάρχει μεταξύ των δύο συστατικών. Κατά συνέπεια, το σύνθετο θεωρείται ως σύσταση από τρεις φάσεις, δηλ., η μήτρα, οι ίνες και τρίτη, η οποία είναι η ζώνη των ατελειών που περιβάλλουν κάθε ίνα. Το πάχος και οι υλικές ιδιότητες της ενδιάμεσης φάσης μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να περιγράψουν την ποιότητα της προσκόλλησης μεταξύ της μήτρας και της ίνας. Ο προσδιορισμός των ιδιοτήτων της ενδιάμεσης φάσης, που μπορεί να είναι ετερογενής, περιλαμβάνει προφανώς πολλές παραμέτρους, ο προσδιορισμός των οποίων μπορεί να είναι δύσκολος. Αυτή η δυσκολία μπορεί να παρακαμφθεί με την υιοθέτηση του εύκαμπτου προτύπου διεπαφών Jones και Whittier [6]. Η επίδραση της ατελούς σύνδεσης αντιπροσωπεύθηκε από αυτούς τους συντάκτες ως λεπτή ελαστική ταινία που έχει μια πίεση διατιμής που λήφθηκε για να εξαρτηθεί από τη σχετική εφαιπόμενη μετατόπιση στη διεπαφή, ενώ η κανονική πίεση δεσμών ήταν ανάλογη προς τις σχετικές κανονικές μετατοπίσεις. Αυτή η προσέγγιση μπορεί να υιοθετηθεί για να διαμορφώσει την ενδιάμεση ζημία μεταξύ των συστατικών ενός σύνθετου υλικού.

Στις καρτεσιανές συντεταγμένες (x_1, x_2, x_3) αφήστε το u

και σ_{ij} ($i, j = 1, 2, 3$) δείξτε

συστατικά τάσης διανύσματος και πίεσης μετατοπίσεων, αντίστοιχα. Στη διεπαφή/μεταξύ των φάσεων 1 και 2, ο συνηθισμένος όρος της συνοχής του διανύσματος έλξης πρέπει να ικανοποιηθεί

$$[\sigma_{ij} n_j]_I = 0, \quad (33)$$

όπου το v είναι κανονικό διανυσματικό /, και [] 7 είναι το άλμα σχετικό πέρα από ποσότητας/. Σύμφωνα με Jones και Whittier [6], το άλμα της κανονικής μετατόπισης πέρα από τη διεπαφή μπορεί να εκφραστεί όπως

$$[u_n]_I = R_n \sigma_n|_I, \quad (34)$$

όπου

$$u_n = u_i n_i n,$$

$$\sigma_n = (\sigma_{ij} n_i n_j) n,$$

όποιες είναι, αντίστοιχα, τα κανονικά διανύσματα μετατοπίσεων και έλξη, και R_n είναι μια κατάλληλη παράμετρος.

Ομοίως, τα άλματα διανυσματικό εφαπτόμενων μετατοπίσεων/δίνονται κοντά

$$[u_t]_I = R_t \sigma_t|_I, \quad (35)$$

όπου

$$u_t = u - u_n$$

και

$$\sigma_t = t^{(n)} - \sigma_n$$

είναι το εφαπτόμενο διάνυσμα μετατοπίσεων και κουρεύει το διάνυσμα έλξης, αντίστοιχα. Εδώ $t^{(n)}$ είναι το διάνυσμα έλξης ($t^{(n)} = \sigma_{ij} n_j$) και η αντίστοιχη παράμετρος δείχνεται κοντά R_t μέσα eqs. (34) και (35), R_n και R_t είναι παράμετροι περιγράφοντας τον εύκαμπτο δεσμό; R_n είναι ίσος με το πάχος ταινιών που διαιρείται με το συντελεστή των νεολαίων της ταινίας δεσμών, και R_t είναι ίσος με το πάχος ταινιών που διαιρείται με το συντελεστή διατμησης του. $R_n \rightarrow 0, R_t \rightarrow 0$ υπονοεί τέλεια συνδεδεμένος συστατικά (δηλ., τέλεια επαφή), $R_n \rightarrow 0, R_t \rightarrow \infty$ τέλεια λαδωμένη επαφή, και αντιστοιχεί στην περίπτωση των ολοκληρωμένων φάσεων. Το εύκαμπτο πρότυπο διεπαφών θα ενσωματωθεί σε διάφορες αναλύσεις μικρομηχανικής για να αντιπροσωπεύσει την ατελή σύνδεση μεταξύ των συστατικών και για να περιλάβει την επίδραση του βαθμού προσκόλλησης μεταξύ τους. Η τέλεια συνδέοντας κατάσταση λαμβάνεται ως ειδική περίπτωση. Αξίζει ότι η αδεσμευτη αντιπροσώπευση στην κανονική κατεύθυνση να είναι μη ρεαλιστική επειδή συμπεραίνει ότι η συμπεριφορά της εύκαμπτης διεπαφής κάτω από τις κανονικές εκτατές πιέσεις είναι ίδια με την απάντησή της κάτω από τις ίσες αλλά συμπιεσμένες πιέσεις. Συνεπώς, το πρότυπο πρέπει να χρησιμοποιηθεί στην περίπτωση $R_n = 0$ eq. (34), το οποίο

υπονοεί ότι η κανονική μετατόπιση είναι πάντα συνεχής. Μια άλλη δυνατότητα είναι να χρησιμοποιηθεί το πρότυπο με $R_n \neq 0$ για την εκτατή κανονική πίεση ($\langle X_{nn} \rangle > 0$), επιβάλλοντας το $\rho v = 0$ όποτε η κανονική πίεση στη διεπαφή είναι συμπεστική ($\sigma_{NN} < 0$) [21].

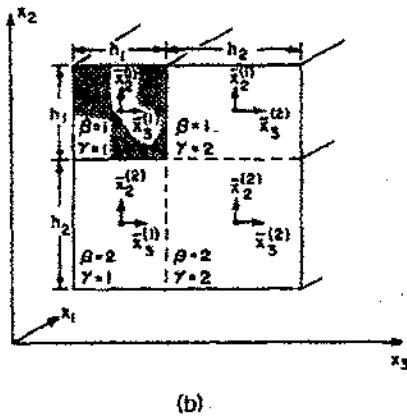
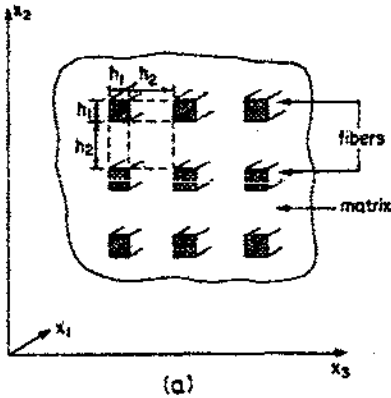
. Ίνα-ενισχυμένα υλικά

Προκειμένου να εισαχθεί μια ενδιάμεση ζημία ινώδη σε έναν σύνθετο και για να καθορίσει την επίδραση στη γενική συμπεριφορά, μια μικρομηχανική ανάλυση που περιλαμβάνει τη λεπτομερή αλληλεπίδραση μεταξύ των ινών και της ανάγκης μητρών να καθιερωθεί. Μια τέτοια ανάλυση παρουσιάστηκε από το συντάκτη σε μία σειρά των εγγράφων και αναθεωρήθηκε πρόσφατα στην παρ. [11]. Μια θεωρία μικρομηχανικής βασισμένη στην ανάλυση ενός επαναλαμβανόμενου κυττάρου σε μια περιοδική σειρά ινών που ενσωματώθηκαν σε μια μήτρα καθιερώθηκε, και η γενική συμπεριφορά του σύνθετου καθορίστηκε από τις γνωστές υλικές ιδιότητες των δύο φάσεων. Η ικανότητα της θεωρίας να δώσει την απάντηση των ελαστικών, θερμοελαστικών, βισκοελαστικότητας, και βισκοπλαστικών σύνθετων, καθώς επίσης και των αρχικών επιφανειών παραγωγής, των φακέλων δύναμης και των καμπυλών αποτυχίας κούρασής τους καταδείχθηκε στην παρ. [11]. Η ενδιάμεση ζημία μεταξύ της ίνας και της μήτρας που διαμορφώθηκαν από το εύκαμπτο πρότυπο διεπαφών ενσωματώθηκε στα eqs.

[16 ..17] για τον προσδιορισμό της επίδρασης στη γενική συμπεριφορά.

Η ανάπτυξη του προτύπου της επανάληψης των κυττάρων είναι βασισμένη στην υπόθεση ότι το ομοιοκατευθυνόμενο σύνθετο μπορεί να αντιπροσωπευθεί από τις ίνες που ευθυγραμμίζονται x_1 η κατεύθυνση και διανεμημένος τακτικά στη μήτρα, διαμορφώνοντας κατά συνέπεια μια διπλά περιοδική

σειρά, βλέπε το σχέδιο 2a. Οι ίνες έχουν μια τετραγωνική διατομή h_1^2 και τακτοποιούνται σε μια απόσταση h_2 χώρια. Λόγω αυτής της περιοδικής ρύθμισης, είναι ικανοποιητικό να εξεταστεί ένα αντιπροσωπευτικό κύτταρο όπως φαίνεται στο σχέδιο 2b. Η μικρομηχανική ανάλυση εκτελείται σε αυτό το αντιπροσωπευτικό κύτταρο. Τα τέσσερα άτομα περιγράφονται ως $\beta, \gamma = 1, 2$ και οι λεπτομερείς αλληλεπιδράσεις μεταξύ αυτών των ατομών που διαμορφώνουν τις εκτιμήσεις μικρομηχανικής που οδηγούν στον προσδιορισμό της γενικής συμπεριφοράς του ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου. Η ανάλυση μικρομηχανικής του αντιπροσωπευτικού κυττάρου του σχεδίου λίστρα αποτελείται από την εφαρμογή της συνοχής των μετατοπίσεων και των περιοχών στις διεπαφές μεταξύ των ατομών και μεταξύ των γειτονικών κυττάρων σε έναν μέσο όρο βασίζει, καθώς επίσης και εκτιμήσεις της ισορροπίας. Ένα ουσιαστικό βήμα προς την ανάλυση του ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου είναι η υπόθεση μιας γραμμικής παραλλαγής των μετατοπίσεων σε κάθε ένα άτομο από την άποψη των τοπικών συντεταγμένων η των οποίων προέλευση βρίσκεται στο κέντρο κάθε ένα άτομο [16].



σχέδιο ομοιοκατευθυνόμενο σύνθετο ινών 2. (a) στο οποίο οι ίνες ευθυγραμμίζονται στην x_1 κατεύθυνση, (b) A

αντιπροσωπευτικό κύτταρο μονάδων με τέσσερα subcells και τις αντίστοιχες τοπικές συντεταγμένες τους.

Εξετάστε τις θερμοελαστικές εγκάρσιως ιστροπικές φάσεις (δηλ., ίνες και μήτρα) με τον άξονα της ανισοτροπίας που προσανατολίζεται στο X_1 κατεύθυνση. Ο νόμος Hooke το άτομο για (β, γ) δίνεται κοντά

$$\sigma^{(\beta\gamma)} = C^{(\beta\gamma)} \epsilon^{(\beta\gamma)} - \Gamma^{(\beta\gamma)} \Delta T, \quad (49)$$

όπου

$$\sigma^{(\beta\gamma)} = [\sigma_{11}^{(\beta\gamma)}, \sigma_{22}^{(\beta\gamma)}, \sigma_{33}^{(\beta\gamma)}, \sigma_{12}^{(\beta\gamma)}, \sigma_{13}^{(\beta\gamma)}, \sigma_{23}^{(\beta\gamma)}] \quad (50)$$

είναι η πίεση, και η μήτρα ακαμψίας $C^{(\beta\gamma)}$ έχει τη μορφή

$$e^{(\beta\gamma)} = [e_{11}^{(\beta\gamma)}, e_{22}^{(\beta\gamma)}, e_{33}^{(\beta\gamma)}, 2e_{12}^{(\beta\gamma)}, 2e_{13}^{(\beta\gamma)}, 2e_{23}^{(\beta\gamma)}] \quad (51)$$

$$C^{(\beta\gamma)} = \begin{bmatrix} c_{11}^{(\beta\gamma)} & c_{12}^{(\beta\gamma)} & c_{12}^{(\beta\gamma)} & 0 & 0 & 0 \\ & c_{22}^{(\beta\gamma)} & c_{23}^{(\beta\gamma)} & 0 & 0 & 0 \\ & & c_{22}^{(\beta\gamma)} & 0 & 0 & 0 \\ & & & c_{44}^{(\beta\gamma)} & 0 & 0 \\ \text{symm.} & & & & c_{44}^{(\beta\gamma)} & 0 \\ & & & & & c_{66}^{(\beta\gamma)} \end{bmatrix} \quad (52)$$

είναι

Eq. (52), δίνεται από την άποψη των πέντε σταθερών εφαρμοσμένης μηχανικής κοντά

$$c_{11} = E_A + 4\kappa \nu_A^2,$$

$$c_{12} = 2\kappa \nu_A,$$

$$c_{22} = \kappa + \frac{1}{2} E_T / (1 + \nu_T),$$

$$c_{23} = \kappa - \frac{1}{2} E_T / (1 + \nu_T),$$

$$c_{44} = G_A,$$

$$c_{66} = \frac{1}{2}(c_{22} - c_{23}). \quad (53)$$

Εδώ E_A , ν_A είναι ο αξονικός νέος συντελεστής και η αναλογία Poisson, G_A είναι η αξονική ΔΙΑΤΜΗΣΗ

ο συντελεστής, και το E_T , ν_T είναι αντίστοιχα, ο εγκάρσιος νέος συντελεστής και η αναλογία Poisson του υλικού που καταλαμβάνει το άτομο $(\beta\gamma)$, eq. (53), K δίνεται κοντά

$$\kappa = \frac{1}{2} E_A / [\frac{1}{2}(1 - \nu_T)(E_A/E_T) - \nu_A^2]. \quad (54)$$

Eq. (49), είναι η απόκλιση της θερμοκρασίας από μια θερμοκρασία αναφοράς (στην οποία το υλικό είναι πίεση-ελεύθερο όταν η πίεσή της είναι μηδέν), και

$$\Gamma^{(\beta\gamma)} = \begin{bmatrix} c_{11}^{(\beta\gamma)} \alpha_A^{(\beta\gamma)} + 2c_{12}^{(\beta\gamma)} \alpha_T^{(\beta\gamma)} \\ c_{12}^{(\beta\gamma)} \alpha_A^{(\beta\gamma)} + (c_{22}^{(\beta\gamma)} + c_{23}^{(\beta\gamma)}) \alpha_T^{(\beta\gamma)} \\ c_{12}^{(\beta\gamma)} \alpha_A^{(\beta\gamma)} + (c_{22}^{(\beta\gamma)} + c_{23}^{(\beta\gamma)}) \alpha_T^{(\beta\gamma)} \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (55)$$

Ενδιάμεση ζημία 259

όπου $\alpha_A^{(\beta\gamma)}$ και $\alpha_T^{(\beta\gamma)}$ είναι οι αξονικοί και εγκάρσιοι συντελεστές θερμικής επέκτασης του υλικού. Όταν το εύκαμπτο πρότυπο διεπαφών ενσωματώνεται στην ανάλυση μικρομηχανικής της μεθόδου κυττάρων, η ακόλουθη συστατική σχέση πίεση-θερμοκρασίας πίεσης μπορεί να καθιερωθεί που περιγράφει τη γενική συμπεριφορά ενός ομοιοκατευθυνόμενου ινώδους σύνθετου με την ατελή σύνδεση στις διεπαφές ίνα-μητρών (βλ. την παρ. [11] για τις λεπτομέρειες)

$$\bar{\sigma} = E\bar{\varepsilon} - U\Delta T, \quad (56)$$

όπου το σ και ε είναι ο μέσος όρος τονίζει και τεντώνει στο ομοιοκατευθυνόμενο σύνθετο, αντίστοιχα, το E είναι η μήτρα ακαμψίας της αποτελεσματικής εγκάρσιως ισοτροπικής συμπεριφοράς του,

$$E = \begin{bmatrix} e_{11} & e_{12} & e_{12} & 0 & 0 & 0 \\ & e_{22} & e_{23} & 0 & 0 & 0 \\ & & e_{22} & 0 & 0 & 0 \\ & & & e_{44} & 0 & 0 \\ & & & & e_{44} & 0 \\ \text{symm.} & & & & & e_{66} \end{bmatrix}, \quad (57)$$

and

$$U = EB^{-1}\Gamma. \quad (58)$$

Η ρητή μορφή των στοιχείων των μητρών E, B και το διάνυσμα Γ δίνονται μέσα Παράρτημα 1. Πρέπει να σημειωθεί ότι τα στοιχεία του E και του U , eq. (56) εξαρτηθείτε από το βαθμό συνοχής στις διεπαφές ίνα-μητρών σε κανονικό δηλ., από την άποψη της παραμέτρου R_n και του RT που εμφανίζεται στο εύκαμπτο πρότυπο διεπαφών.

Προκειμένου να μελετηθεί η επίδραση της ατελούς σύνδεσης στην κουρά (δηλ., $R_t \neq 0$ και $R_n = 0$) στη γενική συμπεριφορά ενός ομοιοκατευθυνόμενου γυαλιού/ενός εποξικού σύνθετου, παρουσιάζουμε στο σχέδιο 3 τους προβλεφθέντες συντελεστές ενάντια στο συντελεστή της ζημίας R_t για τις διάφορες τιμές της αναλογίας όγκου ενίσχυσης $v_f = h_1^2/(h_1 + h_2)^2$ · οι νέοι συντελεστές (E) και οι αναλογίες Poisson

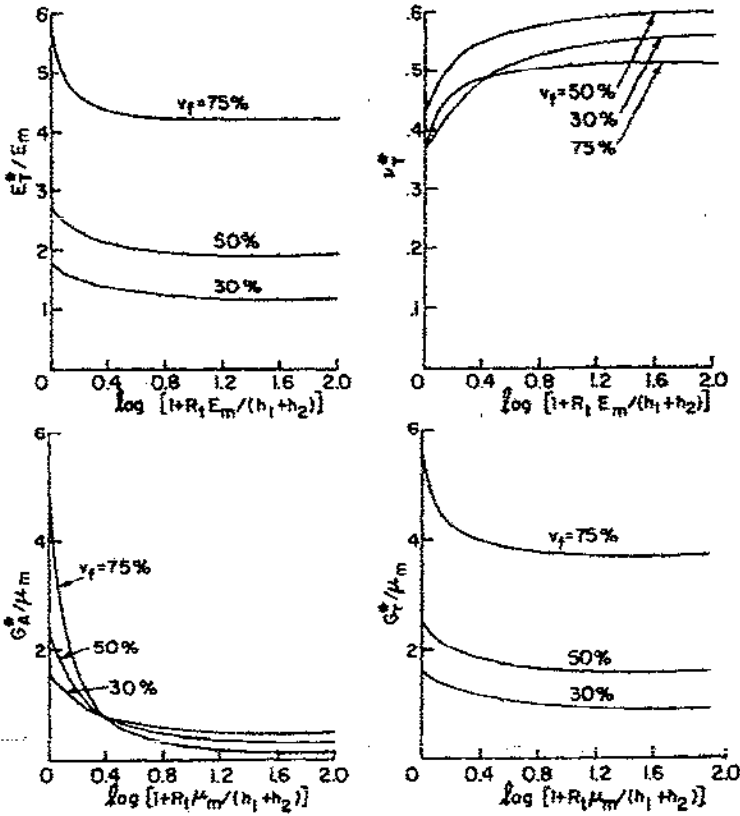
(β) της ίνας και της μήτρας (και όποιοι υποτίθεται ότι ήταν ισοτροπικοί) είναι: $E_t = 73 \text{ GPa}$, $E_m = 3.45 \text{ GPa}$, και $\nu_m = 0.35$. Είναι ενδιαφέρον να παραχθούν οι αρχικές επιφάνειες παραγωγής των ομοιοκατευθυνόμενων σύνθετων με τις ενδιάμεσες ζημίες. Οι αρχικές επιφάνειες παραγωγής για τα άθικτα σύνθετα (δηλ., με την τέλεια σύνδεση στις διεπαφές ίνα-μητρών) παρήχθησαν προηγουμένως από Pindera και Aboudi [24]. Αποδείχθηκε σε εκείνο το έγγραφο ότι η μικρομηχανική πρόβλεψη των αρχικών επιφανειών παραγωγής των σύνθετων μητρών μετάλλων συσχετίζει πολύ καλά με τη λύση πεπερασμένος-στοιχείων Dvorak et του Al [25].

Υποθέτοντας τις τέλεια ελαστικές ίνες, αρχικό να παραγάγει ενός σύνθετου μητρών μετάλλων κυβερνάται με να παραγάγει της φάσης μητρών. Αρχικό να παραγάγει της μήτρας μπορεί να καθοριστεί από [24]

$$F(\bar{\sigma}_U^{(\beta)}) = 0, \quad \beta + \gamma \neq 2, \quad (59)$$

πού $\bar{\sigma}_U^{(\beta)}$ είναι η μέση πίεση ατομου) και, για την παραγωγή Mises von

GLASS/ EPOXY



σχεδίο.3. παραλλαγή του αποτελεσματικού εγκάρσιου νέου συντελεστή, των εγκάρσιων συντελεστών αναλογίας Poisson αξονικών και εγκάρσιων διατμηση, με (στην κουρά) η παράμετρος R_1 ενός ομοιοκατευθυνόμενου γυαλιού/ενός εποξικού σύνθετου.

το κριτήριο, F δίνεται κοντά

$$F(\sigma_{ij}) = \left\{ \frac{1}{2} [(\sigma_{11} - \sigma_{22})^2 + (\sigma_{11} - \sigma_{33})^2 + (\sigma_{22} - \sigma_{33})^2] + 3(\sigma_{12}^2 + \sigma_{23}^2 + \sigma_{33}^2) \right\}^{1/2} - Y, \quad (60)$$

όπου το Y δείχνει την πίεση παραγωγής της μήτρας στην απλή ένταση. Η εξίσωση (59) εκφράζει τον όρο ότι να παραγάγει εμφανίζεται όταν το υλικό καταλαμβάνοντας τις πρώτες παραγωγές μητρών.

Ο μέσος όρος τονίζει ότι $afj Y$ μπορεί να αφορά ισχύον τονίζει το dj στο σύνθετο στην ακόλουθη μορφή,

$$\bar{\sigma}^{(ij)} = B^{(ij)} \bar{\sigma} - V^{(ij)} \Delta T, \quad (61)$$

Σχέδιο επιφάνειες παραγωγής 4, αρχικές (σ_{11} , 1 εναντίον 33) ενός ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου βορίου/αργιλίου με $\Delta T = 0$, για την τέλεια σύνδεση και την τέλεια λαδωμένη επαφή ($R_n = 0, R_t \rightarrow \infty$).

$B^{(ij)}$ και $V^{(ij)}$ μπορεί να καθοριστεί από την ανάλυση μικρομηχανικής της μεθόδου το κύτταρο, βλέπει την παρ. [24] για τις περαιτέρω λεπτομέρειες.

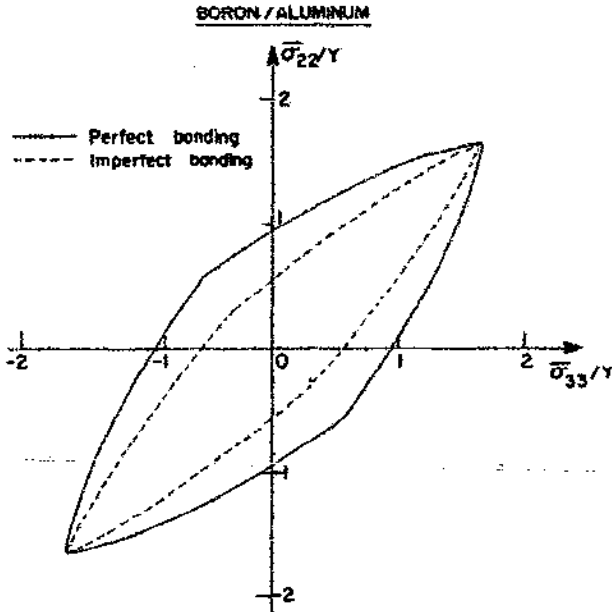
Τα σχήματα 4 και 5 παρουσιάζουν μια σύγκριση μεταξύ των αρχικών επιφανειών παραγωγών ενός ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου αργιλίου, που παράγονται βάσει του τομέα πίεσης στη μήτρα κυτταρικών, στις περιπτώσεις της τέλει σύνδεσης και της ενδιάμεσης ζημίας που διαμορφώνονται από την εύκαμπτη αντιπροσώπευση διεπαφών. Οι ελαστικές ιδιότητες της ίνας και της μήτρας (και οι δύο από τις οποίες υποτίθεται ότι ήταν ιστροπικός) είναι $E_f = 413.7 \text{ GPa}$, $\nu_f = 0.21$, $E_m = 68.9 \text{ GPa}$,

και $\nu_t = 0.3$, οι περιπτώσεις της τέλει σύνδεσης (i.e., $R_n = R_t = 0$) και τέλεια

η λαδωμένη επαφή I (i.e., $R_n = 0, R_t \rightarrow \infty$) παρουσιάζεται στον αριθμό για δύο τύπους εξωτερικών φόρτωση και ισόθερμοι όροι (το $\Delta T = 0$). σχήμα 4 εκθέτει τις αρχικές επιφάνειες παραγωγής όταν υποβάλλεται το ομοιοκατευθυνόμενο σύνθετο σε μια συνδυασμένη φόρτωση στις διαμήκεις (δηλ., ίνα) και εγκάρσιες (δηλ., κάθετος στην ίνα) κατευθύνσεις. Στο σχέδιο 5 η συνδυασμένη φόρτωση εφαρμόζεται στην εγκάρσια κάθετο κατευθύνσεων στις ίνες

12.1. Σύνθετα μητρώων μετάλλων

Στα σύνθετα μητρώων μετάλλων η ανελαστική συμπεριφορά της μήτρας πρέπει να ενσωματωθεί στον προσδιορισμό της γενικής συμπεριφοράς του σύνθετου. Επιπλέον, η δυνατότητα της ενδιάμεσης ζημίας μεταξύ των ινών και της μήτρας πρέπει να ενσωματωθεί. Για αυτόν τον σκοπό η μικρομηχανική μέθοδος κυττάρων μπορεί να υιοθετηθεί, από κοινού με το εύκαμπτο πρότυπο διεπαφών, για να προβλέψει τη γενική συμπεριφορά των σύνθετων μητρώων μετάλλων με



Σχέδιο επιφάνειες παραγωγής 5. αρχικές ($\bar{\sigma}_{22}$ εναντίον $\bar{\sigma}_{33}$) ενός ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου βορίου/αργιλίου με $\nu = 0$, για την τέλεια σύνδεση και την τέλεια λαδωμένη επαφή ($R_n = 0, R_t \rightarrow \infty$).

ατελής σύνδεση στη διεπαφή [17]. Για τις εγκάρσιως ισοτροπικές ελαστικές ίνες που προσανατολίζονται στην κατεύθυνση X λ, που ενισχύει μια ελαστοπλαστική μήτρα, οι συστατικές εξισώσεις για τη γενική συμπεριφορά του ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου μπορούν να προέλθουν από την ανάλυση μικρομηχανικής με έναν κλειστό τρόπο μορφής [17] ως εξής,

$$\bar{\sigma} = E(\bar{\epsilon} - \bar{\epsilon}^{PL}) - U\Delta T, \quad (62)$$

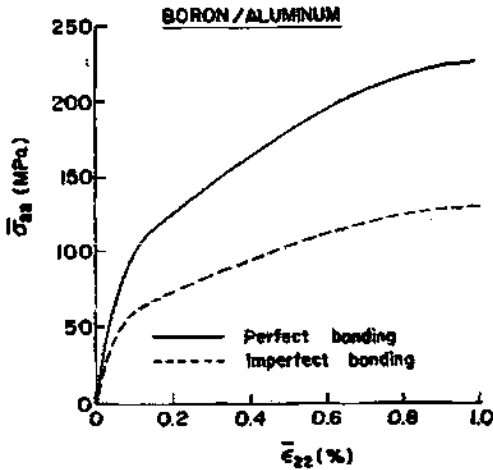
όπου E και U δίνονται από τα eqs. (57) και (58) και $\bar{\epsilon}^{PL}$ είναι η μέση πλαστική πίεση του σύνθετου, το οποίο δίνεται κοντά

$$\bar{\epsilon}^{PL} = B^{-1} H, \quad (63)$$

με το β που δίνονται στο παράρτημα 1, και τα στοιχεία $H = (H_{11}, H_{22}, H_{33}, H_{12}, H_{13}, H_{23})$ είναι λαμβάνοντας υπόψη στο παράρτημα 2 από την άποψη των πλαστικών πιέσεων της μήτρας κυττάρων ($\beta\gamma$) = (12), (21),

(22). Η διατύπωση που δίνεται σε αυτό το παράρτημα περιλαμβάνει, εντούτοις, τη γενικότερη περίπτωση των ελαστοπλαστικών ινών και της μήτρας.

Για αυτόν τον σκοπό υποτίθεται ότι η ανελαστική αντιπροσώπευση των συστατικών δίνεται από την ενοποιημένη θεωρία της πλαστικότητας Bodner και των συναδέλφων του, βλέπει την παρ. [26] για μια αναθεώρηση αυτής της θεωρίας. Αυτή η ενοποιημένη θεωρία μπορεί να χαρακτηρίσει την πλαστική συμπεριφορά ενός υλικού με την ισοτροπική εργασία-σκλήρυνση και τις θερμοκρασία-εξαρτώμενες ιδιότητες. Η ανισότροπη σκλήρυνση στην οποία η πολυδιάστατη επίδραση Bauschinger είναι ενεργός μπορεί να ενσωματωθεί επίσης στην ενοποιημένη θεωρία Bodner. Ένα ελκυστικό χαρακτηριστικό γνώρισμα αυτής της ενοποιημένης θεωρίας είναι η έλλειψη ενός κριτηρίου παραγωγής που εξαλείφει την ανάγκη να διευκρινιστούν οι όροι φόρτωσης ή εκφόρτωσης, και οι ίδιες εξισώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν άμεσα σε όλα τα στάδια της φόρτωσης και



Το σχέδιο μέσης πίεσης 6. απάντηση ενός ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου βορίου/αργιλίου υπέβαλε σε μια πίεση τη φορτώνοντας κάθετο στην κατεύθυνση ινών, για την τέλεια σύνδεση και λάδωσε τέλεια την επαφή

($R_n = 0, R_t \rightarrow \infty$).

εκφόρτωση. Σύμφωνα με αυτές τις εξισώσεις η πλαστική παραμόρφωση υπάρχει πάντα, αλλά είναι αμελητέα μικρή όταν πρέπει να είναι ουσιαστικά η υλική συμπεριφορά ελαστική. Για τα ελαστοπλαστικά συστατικά με την ιστροπική σκλήρυνση, τα ανελαστικά ποσοστά πίεσης $\bar{L}_{ij}^{(\beta\gamma)}$ από το υλικό μέσα στη δομή (βγ) δίνεται από την ιστροπική μορφή νόμου της ροής Prandtl-Reuss.

$$\bar{L}_{ij}^{(\beta\gamma)} = A_{\beta\gamma} \bar{s}_{ij}^{(\beta\gamma)}, \quad (64)$$

πού $\bar{s}_{ij}^{(\beta\gamma)}$ είναι οι αποκλίσεις του μέσου όρου συστατικών τονίζουν $\bar{\sigma}_{ij}^{(\beta\gamma)}$ τον κανόνα ροής οι λειτουργίες $A_{\beta\gamma}$ δίνονται στα refs. [11.27].

Οι παραγόμενες συστατικές σχέσεις για τα ελαστοπλαστικά σύνθετα με την ατελή σύνδεση στη διεπαφή εφαρμόστηκαν για να μελετήσουν την επίδραση της σύνδεσης στη γενική συμπεριφορά ενός σύνθετου μητρώων μετάλλων. Για αυτόν τον σκοπό μια μήτρα αργιλίου 6061-0 που ενισχύθηκε από τις ομοιοκατευθυνόμενες ίνες βορίου με 0.5 την αναλογία όγκου επιλέχτηκε. Το αργίλιο είναι ιστροπικό στην ελαστική περιοχή και λαμβάνεται για να είναι ιστροπική εργασία-σκλήρυνση στην πλαστική περιοχή. Οι υλικές σταθερές των ιστροπικών ελαστικών ινών βορίου και η ελαστοπλαστική μήτρα αργιλίου δίνονται στον πίνακα 1 της παρ. [17].

Τα αποτελέσματα δίνονται για την ισόθερμη απάντηση του ομοιοκατευθυνόμενου σύνθετου βορίου/αργιλίου που υποβάλλεται στους διάφορους τύπους φορτώσεων. Αποφασίστηκε να διευκρινιστεί η επίδραση πλήρες μεταξύ των ινών και της μήτρας στην διατμηση (δηλ., $R_t \rightarrow \infty, R_n = 0$) κοντά

σύγκριση της προκύπτουσας γενικής συμπεριφοράς του σύνθετου με την αντίστοιχη περίπτωση της τέλει σύνδεσης. Πρέπει να σημειωθεί ότι αυτή η επιλογή οι παράμετροι υπονοεί την πίεση διατμηση εξαφάνισης στη διεπαφή ίνα-μητρώων.

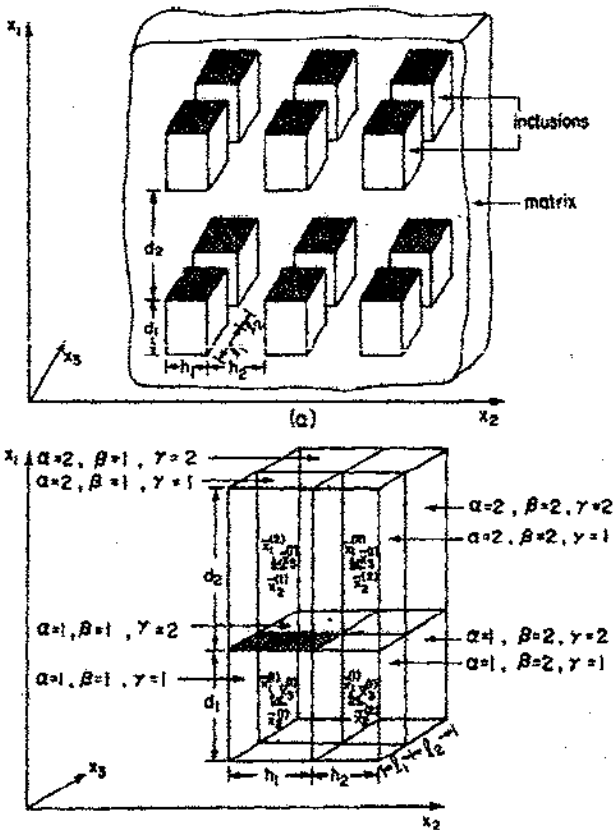
Στο σχέδιο 6 μια σύγκριση μεταξύ των μέσων εντασης-πίεσης σχέσεων υπό τους ισόθερμους όρους ($\Delta T = 0$) παρουσιάζεται όταν υποβάλλεται το σύνθετο εγκάρσιο σε κανονικόφορτώνοντας κάθετος στην

κατεύθυνση ινών (π.χ., x_2 κατεύθυνση). Σε αυτόν τον τύπο φόρτωσης $\bar{\sigma}_{22} \neq 0$ και όλη η άλλη $\bar{\sigma}_{ij}$ είναι μηδέν. Η επίδραση πλήρης στην διατμηση παρουσιάζεται σαφώς, δείχνοντας ένα έντονο ποσό επιδείνωσης ακαμψίας. Η αξία του αποτελεσματικού ελαστικού εγκάρσιου νέου συντελεστή του σύνθετου είναι $E^* = 148 \text{ GPa}$ στην περίπτωση από την τέλεια σύνδεση, και μειώνεται σε $E^* = 98 \text{ GPa}$ όταν υποτίθεται η απολύτως ατελής σύνδεση στην διατμηση. Εξετάστε την επίδραση μεταξύ της ίνας και της μήτρας στη γενική απάντηση του σύνθετου όταν υποβάλλεται στην αξονική φόρτωση διατμηση.

Εδώ, $\bar{\sigma}_{12} \neq 0$ και όλος ο άλλος Στο σχέδιο 7, μια σύγκριση μεταξύ των προκυπτουσών εντασης-πίεσης διατμησης καμπυλών του σύνθετου όταν υποτίθενται η τέλεια σύνδεση και πλήρη στην κουρά. Η υποβάθμιση της δυνατότητας του σύνθετου να στηριχτεί η πίεση διατμησης είναι αισθητή. Στην ελαστική περιοχή ο αποτελεσματικός συντελεστής διατμησης μειώνει από $G_A^* = 55.2 \text{ GPa}$ στα μη - χαλασμένη περίπτωση 8 GPa .

12.2 Κοντή-ίνα και μοριακά σύνθετα

Τα προηγούμενα τμήματα κάλυψαν τα ίνα-ενισχυόμενα και σύνθετα μητρώων μετάλλων, στα οποία οι ίνες όπου υποτίθεται ότι ήταν απείρως μακρές. Η πρόβλεψη των γενικών ιδιοτήτων των σύνθετων κοντός-ινών (συμπεριλαμβανομένων των μοριακών υλικών) είναι προφανώς δυσκολότερη δεδομένου ότι απαιτεί την εκτίμηση ενός τρισδιάστατου προτύπου. Στα refs. [12,13] μια μικρομηχανική ανάλυση παρουσιάστηκε για την πρόβλεψη αποτελεσματικές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες των σύνθετων κοντός-ινών. Το πρότυπο ήταν αρκετά γενικό και περιλαμβάνει τα σύνθετα μακρύς-ινών ως ειδική περίπτωση. Και σε αυτά τα δύο έγγραφα η σύνδεση μεταξύ των ινών και τη μήτρα υποτίθεται ότι ήταν τέλεια. Οι προβλεφθείσες ιδιότητες συγκρίθηκαν με άλλες προσεγγίσεις και η καλή συμφωνία λήφθηκε,



Σχέδιο σύνθετο υλικό 8. (α) Α με τους ορθογώνιους συνυπολογισμούς παραλληλεπίπεδων, (β) αντιπροσωπευτικό κύτταρο μονάδων Α με οκτώ subcells και τις αντίστοιχες τοπικές συντεταγμένες τους.

όποιος υποστήριξε την ισχύ της προσέγγισης για ένα σύνθετο πρότυπο. Μια γενίκευση της ανάλυσης για να περιλάβει την πιθανή ενδιάμεση ζημία μεταξύ των σύντομων ινών (συνυπολογισμοί) και της μήτρας παρουσιάστηκε στην παρ. [16] με την ενσωμάτωση του εύκαμπτου προτύπου διεπαφών.

Ο της τριβής νόμος Coulomb για τη διαμόρφωση της ενδιάμεσης ζημίας στα σύνθετα

Σε ένα πρόσφατο έγγραφο [35] μια μικρομηχανική ανάλυση των ινωδών σύνθετων παρουσιάζεται, η οποία ενσωματώνει ένα ενδιάμεσο πρότυπο μεταξύ της ίνας και της μήτρας του της τριβής τύπου Coulomb. Αυτή η διαμόρφωση της διεπαφής υποθέτει μια τέλεια σύνδεση (τέλεια επαφή) μέχρι μια κρίσιμη πίεση διατμησης, επάνω από την οποία τα συστατικά επιτρέπονται για να γλιστρήσουν. Η κρίσιμη ενδιάμεση πίεση διατμησης καθορίζεται από τις κανονικές πιέσεις να ενεργήσουν και εξαρτώνται από εάν αυτές οι πιέσεις είναι εκτατές ή συμπιεστικές. Η παρουσία συμπιεστικών πιέσεων αυξάνει την κρίσιμη αξία, ενώ οι εκτατές πιέσεις την μειώνουν. Αυτό υπονοεί ότι κάτω από τις συμπιεστικές πιέσεις οι υψηλότερες πιέσεις διατμησης είναι απαραίτητες για την αποτυχία δεσμών, όπως συγκρίνεται παρουσία των εκτατών πιέσεων. Ο της τριβής νόμος Coulomb περιλαμβάνει δύο παραμέτρους: ο συντελεστής της συνοχής που αποτελεί τη δύναμη διατμησης του δεσμού, και το συντελεστή της τριβής. Αυτές οι παράμετροι μπορούν να καθοριστούν από τις ενδιάμεσες δυνάμεις ίνα-μητρώων. Οι μέθοδοι μετρήσεων των ενδιάμεσων δυνάμεων αναφέρθηκαν από Broutman [36],

Ebert και Wright [37], Chamis [38], το Hull [39], και Chua και Piggott [40], παραδείγματος χάριν. Μια διαδικασία πεπερασμένων-στοιχείων που ενσωματώνει τη δυνατότητα της αποτυχίας δεσμών ίνα-μητρών προτάθηκε από Owen και Lyness [41]. Η παραγόμενη μικρομηχανική ανάλυση στην παρ. [35] παρουσιάζει τις συστατικές σχέσεις για τη γενική συμπεριφορά των ομοιοκατευθυνόμενων σύνθετων οι των οποίων φάσεις είναι αρχικά στην τέλεια επαφή η μια με την άλλη. Σε ένα μεταγενέστερο στάδιο της φόρτωσης, η ατελής σύνδεση μεταξύ της ίνας και η μήτρα εμφανίζονται (σύμφωνα με τον της τριβής νόμο Coulomb) που επιτρέπει ολίσθηση και ασυνέχεια πίεσης πέρα από τη διεπαφή. Για αυτόν τον σκοπό δείξτε από σ_{nnl} την πίεση διατμησης σε μια διεπαφή/. Το κριτήριο αποτυχίας Coulomb σε αυτήν την διεπαφή κυβερνείται από την απόλυτη αξία της κρίσιμης πίεσης διατμησης σ_{nl}^c στο j που δίνεται κοντά (85) που σ_{nnl} είναι η κανονική πίεση στη διεπαφή. Eq. (85), c δείχνει το συντελεστή η συνοχή που αποτελεί τη δύναμη διατμησης του δεσμού στη διεπαφή, και/είναι ο συντελεστής της τριβής. Εάν σε μια διεπαφή $l, |\sigma_{nnl}| < c - f\sigma_{nnl}$ έπειτα ο δεσμός δεν αποτυγχάνει και η συνοχή τα ποσοστά της εφαπτόμενης μετατόπισης επιβάλλονται σε εκείνη την διεπαφή, δηλ., το άλμα του ποσοστού της εφαπτόμενης μετατόπισης στη "διεπαφή είναι μηδέν, (86) Διαφορετικά, η αποτυχία δεσμών εμφανίζεται, και ο ενδιάμεσος όρος λαμβάνει τη μορφή

$$\sigma_{nl} = (c - f\sigma_{nnl}) \operatorname{sgn}[\dot{u}_l] H(c - f\sigma_{nnl}) \quad (87)$$

όπου το χ είναι η λειτουργία μονάδων Heaviside.

Ο όρος $\operatorname{sgn}[\dot{u}_l]$ Eq. (87) εξασφαλίζει ότι η πίεση διατμησης στη διεπαφή κατευθύνεται κατά μήκος της σχετικής μετάφρασης των συστατικών στη διεπαφή. Η στιγμιαία αύξηση της ολίσθησης είναι στην ίδια κατεύθυνση με την πίεση διατμησης. Ο όρος Heaviside εξασφαλίζει ότι, για τα εκτατά πιέσεων σπλή, που υπερβαίνουν η αξία c/f , της πίεσης διατμησης πρέπει να εξαφανιστώ. Αυτή η τελευταία κατάσταση οδηγεί σε μια τέλεια λαδωμένη διεπαφή στην οποία οι κανονικές μετατοπίσεις είναι συνεχείς ενώ τα περιοχές διατμησης είναι μηδέν.

Μπορεί να παρατηρηθεί από τα eqs. (85)—(87) ότι η παρουσία μιας συμπιεστικής ενδιάμεσης κανονικής πίεσης ($\sigma_{nnl} < 0$) αυξάνει τη δύναμη του δεσμού. πιθανότητα του περιστατικού της αποτυχίας δεσμών, αφ' ετέρου, παρουσία αυξήσεων μιας των εκτατών ενδιάμεσων κανονικών ($\sigma_{nnl} > 0$) πίεσης. Αναφερόμενο στη μέθοδο κυττάρων για τη μικρομηχανική ανάλυση των ίνα-ενισχυμένων υλικών, σχέδιο 2, βγάζει [35] ότι οι μέσες μετατοπίσεις x_2 και x_3 τις κατευθύνσεις σε κάθε ατομο είναι ίσες η μια με την άλλη. Αυτές οι μετατοπίσεις δείχνονται κοντά και w_3 , αντίστοιχα. Στην κατεύθυνση της ίνας x_1 , αφ' ετέρου, δύο ανεξάρτητες μέσες μετατοπίσεις υπάρχουν στη μήτρα και τις ίνες, οι οποίες δείχνονται κοντά $w_1^{(m)}$ και $w_1^{(f)}$ αντίστοιχα. Αυτή η κατάσταση πραγματοποιείται όταν σπάζουν το δεσμό μεταξύ της ίνας και της μήτρας και κάθε υλικό έχει τη μετατόπισή του στην κατεύθυνση ιών. Αυτές οι μετατοπίσεις οδηγούν στα μέσα τμήματα πίεσης στις φάσεις: $\bar{\sigma}_{11}^{(f)}$, $\bar{\sigma}_{11}^{(m)}$, $\bar{\sigma}_{22}$, $\bar{\sigma}_{33}$, $\bar{\sigma}_{12}^{(f)}$.

Ομοίως, οι μέσες πιέσεις είναι

Οι ακόλουθες εντασης-πίεσης σχέσεις στις κανονικές κατευθύνσεις μπορούν να καθιερωθούν,

$$\begin{bmatrix} \bar{\sigma}_{11}^{(f)} \\ \bar{\sigma}_{11}^{(m)} \\ \bar{\sigma}_{22} \\ \bar{\sigma}_{33} \end{bmatrix} = a \begin{bmatrix} \bar{\epsilon}_{11}^{(f)} \\ \bar{\epsilon}_{11}^{(m)} \\ \bar{\epsilon}_{22} \\ \bar{\epsilon}_{33} \end{bmatrix} \quad (88)$$

Τα στοιχεία της 4×4 μήτρας a δίνονται στο παράρτημα 3. Φαίνεται εύκολα από eq.

(88) ότι οι γενικές μέσες πιέσεις $\bar{\epsilon}_{11}$, $\bar{\epsilon}_{22}$, $\bar{\epsilon}_{33}$ μόνοι τους δεν θα καθορίσουν

ο γενικός μέσος όρος τονίζει $\bar{\sigma}_{11}$, $\bar{\sigma}_{22}$, $\bar{\sigma}_{33}$ σε αντιδιαστολή με την κατάσταση που υπάρχει τέλεια συνδεμένα σύνθετα όπου $\bar{\epsilon}_{11} = \bar{\epsilon}_{11}^{(f)} = \bar{\epsilon}_{11}^{(m)}$ και eq. (78) μειώνει [11]

$$\begin{bmatrix} \bar{\sigma}_{11} \\ \bar{\sigma}_{22} \\ \bar{\sigma}_{33} \end{bmatrix} = B \begin{bmatrix} \bar{\epsilon}_{11} \\ \bar{\epsilon}_{22} \\ \bar{\epsilon}_{33} \end{bmatrix} \quad (89)$$

Τα στοιχεία της συμμετρικής 3×3 μήτρας B δίνονται στο παράρτημα 1. Θα είναι υπέθεσε ότι τα σύνθετα συστατικά αρχικά τέλεια συνδέονται, και η ατελής σύνδεση που κυβερνάται από το κριτήριο αποτυχίας του Coulomb εμφανίζεται σε ένα επόμενο στάδιο της φόρτωσης. Συνεπώς, συστατικό eq. (89) ισχύει αρχικά, ακολουθούμενος σε ένα μεταγενέστερο στάδιο από eq. (88).

Για την αξονική εντασης-πίεσης διατμησης σχέση που έχουμε αυτήν στο στάδιο της εφαρμογής μιας εξωτερικής αξονικής φόρτωσης πίεσης διατμηση $\bar{\sigma}_{12}$ στο σύνθετο, που είναι αρχικά σε μια κατάσταση των τέλεια συνδεμένων φάσεων, eq. (56) ισχύει ($\Delta T = 0$), σε ένα μεταγενέστερο στάδιο φθάνει στο του

η κρίσιμη αξία που δίνεται από eq. (87), και $\bar{\sigma}_{12}^{(m)}$ καθορίζεται από

$$\bar{\sigma}_{12}^{(m)} = (V\bar{\sigma}_{12} - \nu_{11}\bar{\sigma}_{12}^{(f)})/\nu_w \quad (90)$$

Η ανάλυση της άλλης αξονικής φόρτωσης πίεσης διατμησης $\bar{\sigma}_{13}$ είναι παρόμοια με αυτήν $\bar{\sigma}_{12}$ και δεν χρειάζεται να επαναληφθεί. Η παρόμοια επεξεργασία μπορεί επίσης να δοθεί στην εγκάρσια φόρτωση διατμηση.

Στην παρ. [35] η μικρομηχανική ανάλυση των σύνθετων με την ενδιάμεση ζημία, που διαμορφώθηκε από την της τριβής ολίσθηση Coulomb, εφαρμόστηκε σε ένα $Ti-15-3$ τιτάνιο

μήτρα κραμάτων που ενισχύεται από τις ομοιοκατευθυνόμενες ίνες πυριτίου SCS 6 καρβιδίου, με το μέρος όγκου ινών 0,325. Αυτός ο τύπος σύνθετου μητρώων μετάλλων ερευνήθηκε από Johnson et al [42] για να αξιολογήσει την καταλληλότητα του για τα υπερηχητικά οχήματα. Οι ιδιότητες των ινών και η μήτρα δίνονται στον πίνακα 1 της παρ. [35].

Το Johnson et al [42] ανίχνευσαν ένα γόνατο στην πλοκή της εγκάρσιας εντασης-πίεσης καμπύλης (δηλ., $\bar{\sigma}_{22}$ εναντίον $\bar{\epsilon}_{22}$) του ομοιοκατευθυνόμενου ελάσματος για 151-193 MPa, αρκετά κάτω από πίεση παραγωγής του υλικού μητρώων ($Y = 689.4 \text{ MPa}$), επιβεβαίωσαν ότι αυτή η συμπεριφορά μπορεί να αποδίδεται σε μια αποτυχία της διεπαφής ίνα-μητρώων.

Σχέδιο 12. αρχικές επιφάνειες παραγωγής ενός ομοιοκατευθυνόμενου πυριτίου carbid/ty σύνθετου τιτανίου με την της τριβής ολίσθηση Coulomb μεταξύ των φάσεων, που υποβάλλονται στις συνδυασμένες εγκάρσιες κανονικές φορτώσεις.

η εγκάρσια εντασης-πίεσης καμπύλη του ομοιοκατευθυνόμενου εμφανίζεται μακριά κάτω από την πίεση παραγωγής μητρώων, η επίδραση στις αρχικές επιφάνειες παραγωγής μπορεί να μελετηθεί σε σύγκριση με τις αντίστοιχες επιφάνειες όταν υποτίθεται η τέλεια σύνδεση μεταξύ των φάσεων. Στο σχέδιο 12 τέτοιες επιφάνειες παραγωγής του ομοιοκατευθυνόμενου παρουσιάζονται. Σαφώς φαίνεται ότι η κυριότητα ιδιοκτησία των επιφανειών παραγωγής των σύνθετων με την τέλεια σύνδεση χάνεται παρουσία του υποτιθέμενου μηχανισμού.

12.3. Δυναμική απάντηση των σύνθετων με την ενδιάμεση ζημία

Τα. Περιοδικά τα υλικά

Προς το παρόν η επίδραση μιας ενδιάμεσης ζημίας στη διάδοση των κυμάτων στο α περιοδικά το υλικό μελετάται. Μια ακριβής επεξεργασία δίνεται στα πλαίσια της τρισδιάστατης δυναμικής ελαστικότητας γιατί η απλούστερη περίπτωση των SH κυμάτων που διαδίδουν στην κατεύθυνση της διάταξης σε στρώματα του α περιοδικά το μέσο με την ατελή σύνδεση μεταξύ των στρωμάτων που αντιπροσωπεύθηκαν από το εύκαμπτο πρότυπο διεπαφών. Η ανάλυση είναι πολυτιμη για τα μακροχρόνια μήκη κυμάτων έναντι της μικροϋπολογιστής-διάστασης του σύνθετου (που αγνοεί έτσι τα αποτελέσματα διασποράς). Η ακριβής ανάλυση οδηγεί σε δύο διαφορετικά κύματα διαδίδοντας στις διαφορετικές ταχύτητες φάσης [43]. Στην ειδική περίπτωση τέλει σύνδεσης μεταξύ των στρωμάτων, αφ' ετέρου, μια ενιαία ταχύτητα κυμάτων λαμβάνεται. Κατά συνέπεια, λόγω του ενδιάμεσου

πρότυπου ζημίας που ένας πρόσθετος τρόπος διάδοσης λαμβάνεται σε σύγκριση με την άθικτη περίπτωση με την τέλεια σύνδεση.

12.4. Ίνα-ενισχυμένα υλικά

Η επίδραση της ενδιάμεσης ζημίας μεταξύ των ινών και της μήτρας στα ίνα-ενισχυμένα υλικά δυναμικής απάντησης μπορεί να μελετηθεί με τη διαμόρφωση του σύνθετου με τη μέθοδο κυττάρων. Για αυτόν τον σκοπό το εύκαμπτο πρότυπο δεσμών μπορεί να υιοθετηθεί για να αντιπροσωπεύσει την ενδιάμεση ζημία μεταξύ των συστατικών. Η δυναμική συμπεριφορά ενός τέτοιου σύνθετου αναλύθηκε από Benveniste και Aboudi [43] στο όριο των μακροχρόνιων μηκών κυμάτων (που αγνοούν έτσι τα αποτελέσματα διασποράς). Το φαινόμενο μιμήθηκε σε αυτήν την αναφορά με την επιβολή της συνοχής των κανονικών μετατοπίσεων στη διεπαφή ίνα-μητρώων [δηλ., $R_n = 0$ eq. (34)], επιτρέποντας την ελεύθερη επαπτόμενη ολίσθηση εκεί

Οι ταχύτητες των-ΕΙΠΠΕΔΩΝ (x_1, x_2) κυμάτων που διαδίδουν σε ένα ίνα-ενισχυμένο υλικό με το υιοθετημένο πρότυπο δίνεται στα πλαίσια της παρούσας θεωρίας από τις ρίζες eq. (116). Τα

αποτελέσματα δίνονται για την ίνα βορίου $(\lambda_f = 114.9 \text{ GPa}, \mu_f = 172.35 \text{ GPa}, \rho_f = 2630 \text{ kg/m}^3)$
 ενισχύοντας την εποξική μήτρα $(\lambda_m = 2.96 \text{ GPa}, \mu_m = 1.27 \text{ GPa}, \rho_m = 1190 \text{ kg/m}^3)$

Στο σχέδιο 15, οι τρεις ταχύτητες κυμάτων c_1, c_2, c_3 που ομαλοποιούνται όσον αφορά μια ταχύτητα που καθορίζεται

από $c_m = [\mu_m(3\lambda_m + 2\mu_m)/(\lambda_m + \mu_m)\rho_m]^{1/2}$ δίνεται ενάντια στην κατεύθυνση της διάδοσης Η γωνία θ ορίζεται ως η γωνία μεταξύ της κατεύθυνσης της διάδοσης και

Σχέδιο 15. Οι τρεις ταχύτητες κυμάτων για ένα ίνα-ενισχυμένο υλικό με εναντίον της κατεύθυνσης διάδοσης για τα μέρη όγκου ινών $v_f = 0.3, 0.5$ και 0.8

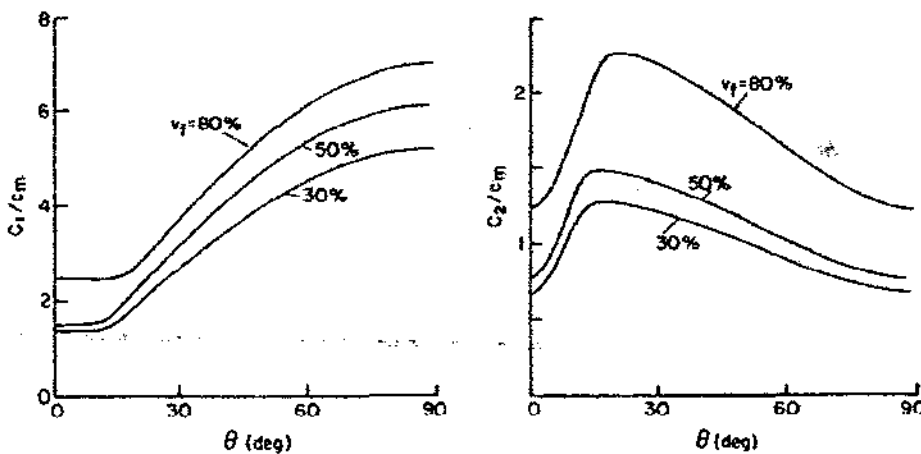
η κατεύθυνση κανονική στις ίνες, δηλ., $\theta = \cos^{-1} n_2$. αποτελέσματα δίνεται για τρεις τιμές μέρος όγκου ινών: $v_f = 30, 50$, και 80% .

Είναι ενδιαφέρον να αντιπαραβληθούν οι ανωτέρω περιγραφείσες καμπύλες με τους αντιστοιχώ στην περίπτωση της τέλειας σύνδεσης. Για τα τέλεια συνδεδεμένα σύνθετα το χαμηλότερο πρότυπο συνέχειας διαταγής δίνεται από την αποτελεσματική θεωρία συντελεστών με τις ταχύτητες κυμάτων που καθορίζονται από τους αποτελεσματικούς συντελεστές και η μέση πυκνότητα $\bar{\rho}$ για τα-ΕΙΠΠΕΔΑ κύματα που περιγράφονται ανωτέρω, υπάρχει μόνο C1 ΚΑΙ C2 δύο ταχυτήτων κυμάτων για το τέλεια συνδεδεμένο σύνθετο. Χρησιμοποιώντας τους ισοδύναμους συντελεστές που δίνονται στην παρ. [11], αυτές οι ταχύτητες καθορίζονται εύκολα για μια δεδομένη αξία θ . στο σχέδιο που 16 οι δύο ταχύτητες κυμάτων C_1, C_2 παρουσιάζονται

ενάντια σε θ , για τις ανωτέρω επιλεγμένες τιμές της ενίσχυσης ινών.

Έτσι φαίνεται ότι το υιοθετημένο πρότυπο για ένα υλικό ίνα-ενίσχυσης προβλέπει έναν πρόσθετο τρόπο διάδοσης κυμάτων όπως σημειώθηκε από Drumnheller [46] μέσα 1973 στην περίπτωση ενός τοποθετημένου σε στρώματα μέσου.

Για την ειδική περίπτωση των-ΕΙΠΠΕΔΩΝ κυμάτων που διαδίδουν την κάθετο στις ίνες (δηλ., στο σύνθετο με, υπάρχουν δύο κύματα με οι ταχύτητες. Μπορεί εύκολα να αποδειχθεί ότι ένας από αυτούς είναι ένα κύμα διαστολης ($w_2 \neq 0, w_1^{(f)} = w_1^{(m)} = 0$)



Σχέδιο 16. Οι δύο ταχύτητες κυμάτων στο τέλεια συνδεδεμένο ίνα-ενισχυμένο υλικό εναντίον της κατεύθυνσης διάδοσης για τα μέρη όγκου ινών $v_f = 0.3, 0.5$ και 0.8 .

με μια ταχύτητα $c_1 = (a_{33}/\bar{\rho})^{1/2}$. αυτή η ταχύτητα είναι στην πραγματικότητα αυτή του κύματος διαστολης

διάδοση της καθέτου στις ίνες σε ένα τέλεια συνδεδεμένο σύνθετο. Κατά συνέπεια, ο τρόπος διαστολης καθέτου διάδοσης στις ίνες δεν επηρεάζεται από τον υιοθετημένο μηχανισμό. Το άλλο κύμα είναι ένα κύμα διατμησης ($w_1^{(m)} \neq 0, w_1^{(f)} = w_2 = 0$) διαδίδοντας με μια ταχύτητα

όποιος είναι βεβαίως διαφορετικός από αυτόν του κύματος διατμηση που διαδίδει την κάθετο στις ίνες σε ένα τέλεια συνδεδεμένο σύνθετο. Όσον αφορά στα-ΕΠΠΕΔΑ κύματα που διαδίδουν στην κατεύθυνση των ινών ($\theta = 90^\circ$), μπορεί να είναι

εύκολα έλεγξε ότι των τριών υπάρχοντων κυμάτων δύο είναι διαστολής και άλλο ένα είναι ένα κύμα διατμηση. Τα δύο κύματα διαστολής με την ταχύτητα c_1 και c_3 αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικές αναλογίες $w_1^{(n)}/w_1^{(m)}$ ενώ $w_2 = 0$. το τρίτο κύμα είναι ένα κύμα διατμηση: ($w_2 \neq 0, w_1^{(n)} =$

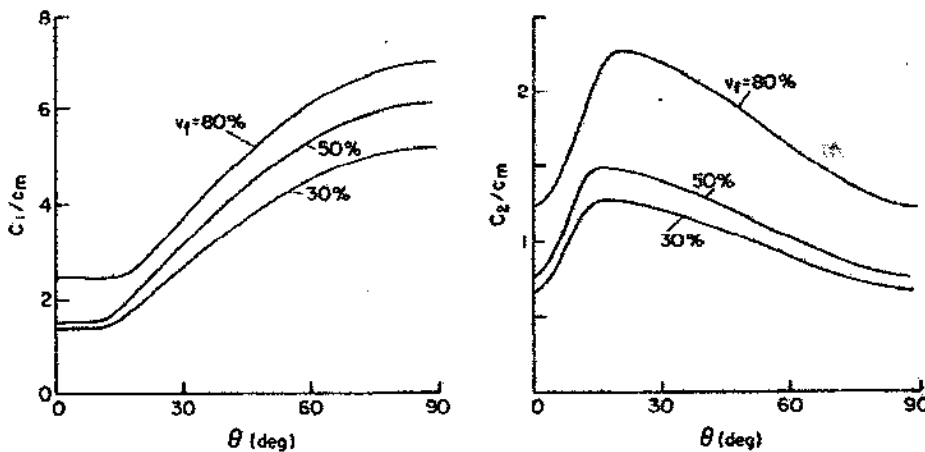
με τη διάδοση μια ταχύτητα που δίνεται από $C_2 = (\eta_2/\bar{\rho})^{1/2}$. το διαπιστώνεται ότι

τέλεια συνδεδεμένο σύνθετο υπάρχουν δύο-ΕΠΠΕΔΑ κύματα διαδίδοντας στην κατεύθυνση ινών: μια θερμική μεταβολή διαστάσεων και ένα κύμα διατμηση με τις ταχύτητες C_1 και C_2 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτών των ταχυτήτων είναι διαφορετικές από εκείνοι που λαμβάνονται στο σύνθετο με.

Η πόλωση των κυμάτων που διαδίδουν σε οποιαδήποτε κατεύθυνση με τις ίνες $0^\circ < \theta < 90^\circ$ μπορεί να βρεθεί από την τυποποιημένη διαδικασία του προσδιορισμού τρόπου. Τα αποκτηθέντα κύματα δεν θα είναι ούτε καθαρό dilatational ούτε καθαρή διατμηση σε εκείνη την περίπτωση.

Κοντή-ίνα και μοριακά σύνθετα

Το πρότυπο που περιγράφεται στο σχέδιο ε για την ανάλυση της κοντός-ίνας και των μοριακών σύνθετων μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μελετήσει τη δυναμική απάντηση των σύνθετων υλικών με την ενδιάμεση ζημία μεταξύ των συστατικών. Αυτή η προσέγγιση ακολουθήθηκε στην παρ. [18] για τη μελέτη της διάδοσης κυμάτων στα χαλασμένα σύνθετα όπου το εύκαμπτο πρότυπο διεπαφών χρησιμοποιήθηκε για την αντιπροσώπευση της ατελούς σύνδεσης. Το Aboudi [19] χρησιμοποίησε το ίδιο σύνθετο πρότυπο για τη μελέτη της επίδρασης της ενδιάμεσης ζημίας επάνω



Σχέδιο 16. Οι δύο ταχύτητες κυμάτων στο τέλεια συνδεδεμένο ίνα-ενισχυμένο υλικό εναντίον της κατεύθυνσης διάδοσης για τα μέρη όγκου ινών $v_f = 0.3, 0.5$ και 0.8 .

με μια ταχύτητα $c_1 = (a_{33}/\bar{\rho})^{1/2}$. αυτή η ταχύτητα είναι στην πραγματικότητα αυτή του κύματος διαστολής

διάδοση της καθέτου στις ίνες σε ένα τέλεια συνδεδεμένο σύνθετο. Κατά συνέπεια, ο τρόπος διαστολής καθέτου διάδοσης στις ίνες δεν επηρεάζεται από τον υιοθετημένο μηχανισμό.

Το άλλο κύμα είναι ένα κύμα διατμησης ($w_1^{(m)} \neq 0, w_1^{(n)} = w_2 = 0$) διαδίδοντας με μια ταχύτητα όποιος είναι βεβαίως διαφορετικός από αυτόν του κύματος διατμηση που διαδίδει την κάθετο στις ίνες σε ένα τέλεια συνδεδεμένο σύνθετο.

Όσον αφορά στα-ΕΠΠΕΔΑ κύματα που διαδίδουν στην κατεύθυνση των ινών ($\theta = 90^\circ$), μπορεί να είναι

εύκολα έλεγξε ότι των τριών υπάρχοντων κυμάτων δύο είναι διαστολής και άλλο ένα είναι ένα κύμα διατμηση. Τα δύο κύματα διαστολής με την ταχύτητα c_1 και c_3 αντιστοιχούν σε δύο διαφορετικές αναλογίες $w_1^{(n)}/w_1^{(m)}$ ενώ $w_2 = 0$. το τρίτο κύμα είναι ένα κύμα διατμηση: ($w_2 \neq 0, w_1^{(n)} =$

με τη διάδοση μια ταχύτητα που δίνεται από $C_2 = (\eta_2/\bar{\rho})^{1/2}$. το διαπιστώνεται ότι

τέλεια συνδεδεμένο σύνθετο υπάρχουν δύο-ΕΠΠΕΔΑ κύματα διαδίδοντας στην κατεύθυνση ινών: μια θερμική μεταβολή διαστάσεων και ένα κύμα διατμησης με τις ταχύτητες C_1 και C_2 αντίστοιχα. Οι τιμές αυτών των ταχυτήτων είναι διαφορετικές από εκείνοι που λαμβάνονται στο σύνθετο με.

Η πόλωση των κυμάτων που διαδίδουν σε οποιαδήποτε κατεύθυνση με τις ίνες $0^\circ < \theta < 90^\circ$ μπορεί να βρεθεί από την τυποποιημένη διαδικασία του προσδιορισμού τρόπου.

4. ΝΕΥΡΩΝΙΚΑ ΔΙΚΤΥΑ , ΕΛΕΓΧΟΣ ΚΑΙ ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΒΛΑΒΩΝ

Τα τεχνητά νευρικά δίκτυα ίσχυσαν για τα πολυμερή σύνθετα: μια αναθεώρηση

Περίληψη

Εμπνευσμένη από το βιολογικό νευρικό σύστημα, μια τεχνητή νευρική προσέγγιση δικτύων (ANN) είναι ένα συναρπαστικό μαθηματικό εργαλείο, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να μιμηθεί μια ευρεία ποικιλία των σύνθετων επιστημονικών και προβλημάτων εφαρμοσμένης μηχανικής. Μια ισχυρή λειτουργία ANN καθορίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος από τις διασυνδέσεις μεταξύ των τεχνητών νευρώνων, παρόμοιων με εκείνους που εμφανίζονται στα φυσικά αντίστοιχα βιολογικών συστημάτων τους. Επίσης στα πολυμερή σύνθετα, ένα ορισμένο ποσό πειραματικών αποτελεσμάτων απαιτείται για να εκπαιδεύσει ένα καλά σχεδιασμένο νευρικό δίκτυο. Αφότου έχει μάθει να λύνει το δίκτυο τα υλικά προβλήματα, τα νέα στοιχεία από την παρόμοια περιοχή μπορούν έπειτα να προβλεφθούν χωρίς εκτέλεση πάρα πολλών, μακροχρόνια πειράματα. Ο στόχος ANNs είναι επίσης να εφαρμοστεί αυτό το εργαλείο για τις συστηματικές μελέτες παραμέτρου στο βέλτιστο σχέδιο των σύνθετων υλικών για τις συγκεκριμένες εφαρμογές. Στην παρούσα αναθεώρηση, οι διάφορες αρχές της νευρικής προσέγγισης δικτύων για την πρόβλεψη ορισμένων ιδιοτήτων των πολυμερών σύνθετων υλικών συζητούνται. Αυτοί περιλαμβάνουν τη ζωή κούρασης, απόδοση ένδυσης, απάντηση κάτω από τις συνδυασμένες καταστάσεις φόρτισης, και τις δυναμικές μηχανικές ιδιότητες. Επιπλέον, η προσέγγιση ANN έχει εφαρμοστεί στις σύνθετες βελτιστοποιήσεις επεξεργασίας.

1. Εισαγωγή

Σήμερα, η εφαρμογή των πολυμερών σύνθετων ως υλικά εφαρμοσμένης μηχανικής έχει γίνει κατάσταση του αρθ. Για να σχεδιάσουν τα χαρακτηριστικά του πολυμερούς σώματος τα σύνθετα είναι το σημαντικότερο πλεονέκτημα. Προκειμένου να εκπληρωθεί ένας ειδικός στόχος της εφαρμογής εφαρμοσμένης μηχανικής, π.χ. σχετικά με μια ή περισσότερες μετρήσιμες υλικές ιδιότητες, τα πολυμερή σύνθετα μπορούν να σχεδιαστούν με την επιλογή της σωστής σύνθεσης και την επιλογή της κατάλληλης διαδικασίας κατασκευής, όπως σχηματικά διευκρινίζονται στο σχέδιο 1. Υπάρχουν πολλές δυνατότητες να δημιουργηθούν τα πολυμερή σύνθετα που περιέχουν τα διαφορετικές υλικά πληρώσεως ή/και τις ενισχύσεις (σχέδιο 2) [1]. Επιπλέον, όχι μόνο τα διαφορετικά είδη αλλά και οι διάφορες ιδιότητες του υλικού μητρών και των υλικών πληρώσεως/των ενισχύσεων, καθώς επίσης και των προσανατολισμών ινών και, σε περίπτωση συνεχών σύνθετων ινών, των φυλλόμορφων παραμέτρων μπορούν να εξεταστούν. Για ειδικό παράδειγμα, το σχέδιο 3 επεξηγεί τις γενικές αρχές για το συστηματικό σχέδιο της ένδυσης για ανθεκτικά πολυμερή σύνθετα [2]. Κατ' αρχάς, η μήτρα πρέπει να έχει την αντίσταση υψηλής θερμοκρασίας και την υψηλή συνεκτική δύναμη. Για να μειώσουν την προσκόλληση και τον της τριβής συντελεστή, τα εσωτερικά λιπαντικά όπως οι νιφάδες από γραφίτη ενσωματώνονται συχνά. Οι κοντές ίνες γυαλιού ή άνθρακα χρησιμοποιούνται για να αυξήσουν την αντίσταση ερπυσμού, τη σκληρότητα και τη συμπίεστική δύναμη της πολυμερούς μήτρας, και τα πρόσθετα υλικά πληρώσεως που ενισχύουν τη θερμική αγωγιμότητα είναι επίσης μεγάλου πλεονεκτήματος.

Στη διαδικασία κατασκευής, μερικές βασικές παράμετροι, π.χ. θεραπεύοντας τις θερμοκρασίες και κατασκευαστικός την ταχύτητα, που κυβερνούν την τελική ποιότητα των σύνθετων, πρέπει να αναλυθούν επίσης. Η έρευνα ιδιοκτησίας διαδραματίζει έναν βασικό ρόλο στην επιστήμη υλικών για να αξιολογήσει τα σύνθετα που σχεδιάζονται για τις ειδικές εφαρμογές εφαρμοσμένης μηχανικής. Και τα τρία στάδια που παρουσιάζονται στο σχέδιο 1 δεν είναι χωρισμένα, αλλά διασυνδεδεμένα, και η ολοκλήρωση μπορεί να συνοψιστεί ως σύνθετο σχέδιο, επεξεργασμένος τις σχέσεις βελτιστοποίησης και ιδιοκτησίας (όπως υποδεικνύεται πρόσθετα στο σχέδιο 1). Οι πρώτοι δύο τομείς αντιστοιχούν στην

αλληλεπίδραση μεταξύ των επιλεγμένων συνθέσεων ή της διαδικασίας κατασκευής και τις ιδιότητες που ερευνώνται, ενώ ο τελευταίος αφορά συσχετισμούς μεταξύ μερικών απλών μετρημένων παραμέτρων (π.χ. πίεση συντελεστών, δύναμης και αποτυχίας) και των πιο σύνθετων ιδιοτήτων (π.χ. κούραση, ένδυση, συνδυασμένοι φόρτωση και ερπυσμός). Η κατανόηση όλων αυτών των σχέσεων είναι σημαντική στην επιστήμη σύνθετων υλικών, προκειμένου να καλυφθούν οι απαιτήσεις για τις ιδιαίτερες εφαρμογές εφαρμοσμένης μηχανικής.

Η διαμόρφωση αυτών των σχέσεων περιλαμβάνει γενικά την ανάπτυξη ενός μαθηματικού εργαλείου που προέρχεται από τα πειραματικά στοιχεία μόλις καθιερωθεί μπορεί σημαντικά να μειώσει την πειραματική εργασία που περιλαμβάνεται στο σχεδιασμό των νέων πολυμερών σύνθετων. Για αυτόν τον λόγο, τα τεχνητά νευρικά δίκτυα (ANNs) έχουν εισαχθεί πρόσφατα στον τομέα των πολυμερών σύνθετων. Εμπνευσμένος από το βιολογικό

το νευρικό σύστημα, ANNs μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να λύσει μια ευρεία ποικιλία των σύνθετων επιστημονικών και προβλημάτων εφαρμοσμένης μηχανικής. Όπως τα βιολογικά αντίστοιχά τους, ANNs μπορεί να μάθει από τα παραδείγματα, και επομένως μπορεί να εκπαιδευθεί για να βρεί τις λύσεις των σύνθετων μη γραμμικών, πολυδιάστατων λειτουργικών σχέσεων χωρίς οποιοσδήποτε προγενέστερες υποθέσεις για τη φύση τους περαιτέρω, το δίκτυο χτίζεται άμεσα από τα πειραματικά στοιχεία από τις οργανωμένες ικανότητές του. Αν και δεν υπάρχουν πολλές δημοσιεύσεις για τη χρήση ANNs στον πολυμερή σύνθετο τομέα μέχρι τώρα, η διαθέσιμη βιβλιογραφία καλύπτει τουλάχιστον τα διάφορα θέματα, από την πρόβλεψη κούρασης για να φορέσει την προσομοίωση, και από τον έλεγχο της διαδικασίας κατασκευής στην ανάλυση της σύνθετης θεραπείας. Δείχνει ότι η προσέγγιση ANNs μπορεί να υιοθετηθεί κατάλληλα σε όλες τις προσομοιώσεις των αλληλεπιδράσεων που διευκρινίζονται στο σχέδιο 1. Είναι, επομένως, πολύ πολύτιμο να συνοψιστούν και να ανακεφαλαιωθούν οι εξελίξεις και οι εφαρμογές ANNs, που είναι η πρόθεση της παρούσας αναθεώρησης, προκειμένου να προωθηθεί η ευρύτερη εκτίμηση της χρήσης αυτού του πιθανού μαθηματικού εργαλείου στην έρευνα πολυμερών σύνθετων.

2. Τεχνητά νευρικά δίκτυα

2.1. Τι είναι τεχνητά νευρικά δίκτυα;

Τα τεχνητά νευρικά δίκτυα είναι υπολογιστικά συστήματα που μιμούνται τη μικροδομή (νευρώνες) ενός βιολογικού νευρικού συστήματος. Τα πιο βασικά συστατικά ANNs διαμορφώνονται μετά από τη δομή του εγκεφάλου, και επομένως ακόμη και η ορολογία δανείζεται από τη νευρολογία. Είναι απαραίτητο να δοθεί μια θεμελιώδης περιγραφή του φυσικού νευρικού συστήματος σε αυτήν την παράγραφο που είναι διαθέσιμη σε πολλά εγχειρίδια [3-7]. Το πιο βασικό στοιχείο του ανθρώπινου εγκεφάλου είναι ένας συγκεκριμένος τύπος κυττάρου, ο οποίος παρέχει σε μας τις δυνατότητες να αναφερθεί, να θεωρηθεί, και να εφαρμοστεί η προηγούμενη εμπειρία στην κάθε δράση μας. Αυτά τα κύτταρα είναι γνωστά ως νευρώνες, και κάθε ένας από αυτούς τους νευρώνες μπορεί να συνδέσει με μέχρι 200.000 άλλους νευρώνες. Η δύναμη του εγκεφάλου προέρχεται από τους αριθμούς αυτών των βασικών συστατικών και τις πολλαπλάσιες συνδέσεις μεταξύ τους. Όλοι οι φυσικοί νευρώνες έχουν τέσσερα βασικά συστατικά, τα οποία είναι δενδρίτες, , νευρίτες, και συνάψεις. Βασικά, ένας βιολογικός νευρώνας λαμβάνει την εισαγωγή από άλλες πηγές, τους συνδυάζει με κάποιο τρόπο, εκτελεί μια γενικά μη γραμμική λειτουργία στο αποτέλεσμα, και έπειτα τα αποτελέσματα το τελικό αποτέλεσμα. Τα βιολογικά νευρικά δίκτυα κατασκευάζονται με έναν τρισδιάστατο τρόπο από τα μικροσκοπικά συστατικά. Αυτοί οι βιολογικοί νευρώνες φαίνονται ικανοί σχεδόν των απεριόριστων διασυνδέσεων.

Εμπνευσμένα από τους βιολογικούς νευρώνες, ANNs αποτελούνται από τα απλά στοιχεία που λειτουργούν παράλληλα. Βασικά, όλα ANNs έχουν μια παρόμοια τοπολογική δομή. Μερικοί από τους νευρώνες διασυνδέουν με τον πραγματικό κόσμο για να λάβουν την εισαγωγή του, και άλλοι νευρώνες παρέχουν στον πραγματικό κόσμο την παραγωγή του δικτύου. Όλο το υπόλοιπο των νευρώνων είναι κρυμμένο από την άποψη. Όπως στη φύση, η λειτουργία δικτύων καθορίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος από τις διασυνδέσεις μεταξύ των νευρώνων, οι οποίοι δεν είναι απλές συνδέσεις, αλλά μερικές μη γραμμικές λειτουργίες. Κάθε εισαγωγή σε έναν νευρώνα έχει έναν παράγοντα βάρους της λειτουργίας που καθορίζει τη δύναμη της διασύνδεσης και έτσι της συμβολής εκείνης της διασύνδεσης στους ακόλουθους νευρώνες. Τα ANNs μπορούν να εκπαιδευθούν για να εκτελέσουν μια ιδιαίτερη λειτουργία με τη ρύθμιση των τιμών αυτών των παραγόντων βάρους μεταξύ των νευρώνων, είτε από τις πληροφορίες από έξω από το δίκτυο είτε από τους νευρώνες οι ίδιοι σε απάντηση στην εισαγωγή. Αυτό είναι το κλειδί στη δυνατότητα ANNs να επιτευχθεί η εκμάθηση και η μνήμη.

Για αυτόν τον λόγο, ANNs καθορίστηκαν από Aleksander και Morton [3] ως μαζικά παράλληλοι-διανεμημένοι επεξεργαστές φιαγμένος επάνω από απλές μονάδες επεξεργασίας, ο οποίος

έχει μια φυσική ροπή για την αποθήκευση της εμπειρικής γνώσης και να καταστήσει την διαθέσιμη για τη χρήση. Μοιάζει με τον εγκέφαλο από δύο απόψεις:

η γνώση αποκτιέται από το δίκτυο από το περιβάλλον της μέσω μιας διαδικασίας εκμάθησης.

Οι δυνάμεις σύνδεσης διά-νευρώνων, γνωστές ως συναπτικά βάρη, χρησιμοποιούνται για να αποθηκεύσουν την επίκτητη γνώση.

2.2. Διαδικασία κατάρτισης backpropagation ANNs

Το πολυστρωματικό νευρικό δίκτυο είναι το ευρύτετα εφαρμοσμένο νευρικό δίκτυο, το οποίο έχει χρησιμοποιηθεί στην μεγαλύτερη μέρος της έρευνας που αναθεωρείται σε αυτό το έγγραφο. Ένας back-propagation αλγόριθμος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκπαιδεύσει αυτά τα πολυστρωματικά ανατροφοδοτημένα δίκτυα με τις διαφορετικές λειτουργίες μεταφοράς για να εκτελέσει την προσέγγιση λειτουργίας, την ένωση σχεδίων, και την ταξινόμηση σχεδίων. Back-propagation όρου αναφέρεται στη διαδικασία από την οποία τα παράγωγα του λάθους δικτύων, όσον αφορά τα βάρη δικτύων και τις προκαταλήψεις, μπορούν να υπολογιστούν. Η κατάρτιση ANNs από backpropagation περιλαμβάνει τρία στάδια [4]: (I) ανατροφοδοτηση του σχεδίου κατάρτισης εισαγωγής, (II) ο υπολογισμός και backpropagation του σχετικού λάθους, και (III) η ρύθμιση των βαρών. Αυτή η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί με διάφορες διαφορετικές στρατηγικές βελτιστοποίησης.

Το σχέδιο 4 εξηγεί σχηματικά μια πολυστρωματική ανατροφοδοτημένη διαμόρφωση ANN στο ανώτερο μέρος του. Μπορεί να φανεί ότι ANNs κατασκευάζονται συμβατικά με τρία στρώματα, δηλ. εισάγονται, παραγωγή και κρυμμένα στρώματα. Τα κρυμμένα στρώματα μπορούν να περιέχουν ένα ή περισσότερα στρώματα για την πρακτική αίτησή του. Κάθε στρώμα έχει τους διαφορετικούς αριθμούς νευρικών στοιχείων. Όπως στη φύση, η λειτουργία δικτύων καθορίζεται κατά ένα μεγάλο μέρος από τις συνδέσεις μεταξύ αυτών των στοιχείων. Όταν εστιάζουμε σε ένα νευρικό στοιχείο, όπως

$$E = \sum_{p=1}^P (d_p - o_p)^2 \quad (2)$$

$$X_j^{(n+1)} = F \left(\sum_i W_{ji}^{(n)} X_i^{(n)} \right) \quad (1)$$

where $F(x)$ is the tan-sigmoid function $F(x) = \frac{1}{1 + e^{-x}}$

$$W_{ji}^{(n)}(t+1) = W_{ji}^{(n)}(t) + \Delta W_{ji}^{(n)}(t) \quad (3)$$

with its correction

$$\Delta W_{ji}^{(n)}(t+1) = -\eta \frac{\partial E}{\partial W_{ji}^{(n)}} + \mu \Delta W_{ji}^{(n)}(t), \quad (4)$$

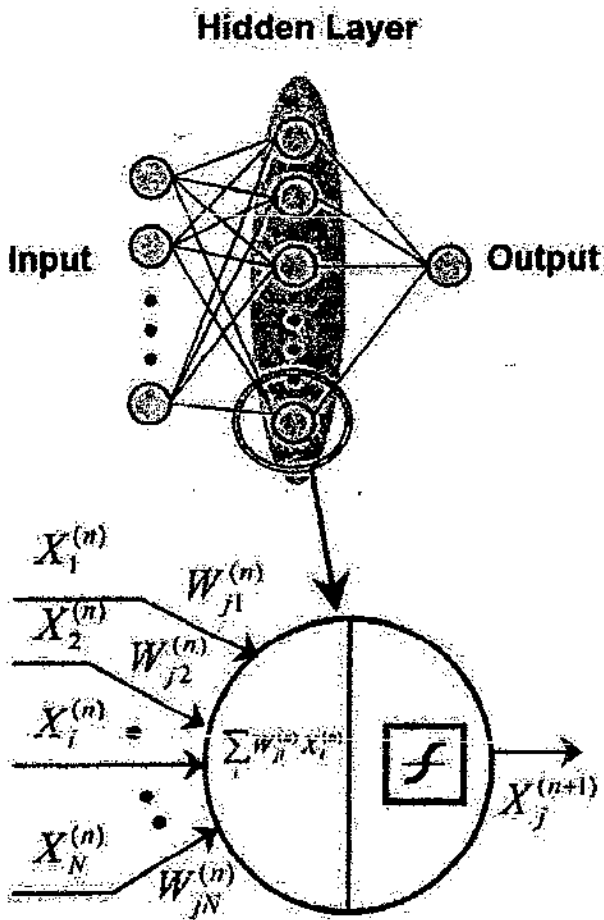


Fig. 4. Artificial neural network configuration (upper part). The lower part gives a schematic description of the relationship between the input and output vectors of one neuron.

σχηματικά συρμένη στο χαμηλότερο μέρος του σχεδίου 4, η σχέση μεταξύ της εισαγωγής διανυσματικό X^j και η παραγωγή διανυσματικό X^{j+1} αυτού του στοιχείου μπορούν να περιγραφούν ως εξής: ή άλλη μη γραμμική λειτουργία μεταφοράς, π.χ. κούτσουρο-σημοσιδ λειτουργία, και $X_j^{(n+1)}$ είναι παραγωγή της μονάδας j στο $(n+1)$ th στρώμα, $W_{ji}^{(n)}$ είναι ένα βάρος από τη μονάδα i στο n th στρώμα στη μονάδα j μέσα $(n+1)$ th στρώμα. Ένα διάνυσμα εισαγωγής παρουσιάζεται στις μονάδες του στρώματος εισαγωγής. Οι μονάδες στο επόμενο στρώμα υπολογίζουν ένα σταθμισμένο ποσό της εισαγωγής, και της παραγωγής το αποτέλεσμα μιας μη γραμμικής λειτουργίας στο ποσό. Η διαδικασία εκμάθησης είναι βασισμένη σε μια αναζήτηση κλίσης, με ένα ο πιο ελάχιστα τακτοποιημένο ποσό optimality κριτήριο των λαθών μεταξύ των προβλεφθεισών και επιθυμητών τιμών:

Το συνολικό τακτοποιημένο ποσό λάθος ϵ υπολογίζεται κατά μέσο όρο σε όλα τα σχέδια στο σύνολο κατάρτισης, στο οποίο το δ είναι η παραγωγή στόχων (προβλεφθείσα) για/το σχέδιο τ και το ρ είναι η πραγματική παραγωγή (που μετρείται). Στη διαδικασία ελαχιστοποίησης, τα βάρη όλων των συνδέοντας κόμβων ρυθμίζονται έως ότου επιτυγχάνεται το επιθυμητό επίπεδο λάθους ή ο μέγιστος αριθμός κύκλων επιτυγχάνεται. Ο αλγόριθμος εκμάθησης που χρησιμοποιείται εδώ για τα βάρη είναι όπου W_j^i (τ) είναι το σήμα κατάρτισης της σωστής απάντησης στο βήμα εκμάθησης i , AW_j^i (τ) είναι η διόρθωση του βάρους στο βήμα εκμάθησης i , ρ είναι το ποσοστό εκμάθησης, και το FI είναι ο παράγοντας ορμής. το ρ είναι μια μικρή παράμετρος για να ρυθμίσει τη διόρθωση κάθε φορά, και μειώνει μια ταλάντωση και βοηθά τη γρήγορη σύγκλιση. Οι κατάλληλες τιμές αυτών των παραμέτρων βοηθούν την εκμάθηση δικτύων.

Για να αποφύγει την παραγωγή σε μια μικρή σειρά, μια γραμμική λειτουργία μεταφοράς υιοθετείται μεταξύ κρυμμένο και του στρώματος παραγωγής. Θεωρείται ότι το γραμμικοδίκτυο δύο-στρώματος μπορεί να αντιπροσωπεύσει οποιαδήποτε λειτουργική σχέση μεταξύ της εισαγωγής και της παραγωγής εάν το γραμμικοστρώμα έχει αρκετούς νευρώνες. Οι λεπτομέρειες για τη θεωρία και τα μαθηματικά πίσω από τα νευρικά δίκτυα μπορούν να βρεθούν πρόσθετα σε διάφορα εγχειρίδια [3-7].

Οι καταλληλότερες εφαρμογές για ANNs έχουν τα ακόλουθα χαρακτηριστικά [8]:

μια μεγάλη βάση δεδομένων είναι διαθέσιμη.

είναι δύσκολο να βρεθεί μια ακριβής λύση στο πρόβλημα από τις υπάρχουσες μαθηματικές προσεγγίσεις.

το σύνολο δεδομένων είναι ελλιπές, θορυβώδες ή σύνθετο.

Μερικές ιδιότητες των πολυμερών σύνθετων, δηλ. κούραση, ένδυση, και ερπυσμός, έχουν όλα αυτά τα χαρακτηριστικά και είναι επομένως υλική συμπεριφορά παραδείγματος που είναι κατάλληλα για τη νευρική ανάλυση δικτύων.

2.3. Πέρα από-εγκατάσταση του προβλήματος [9]

Τα πολυστρωματικά ανατροφοδοτημένα νευρικά δίκτυα θεωρούνται για να είναι σε θέση να αντιπροσωπεύσουν οποιαδήποτε λειτουργική σχέση μεταξύ της εισαγωγής και της παραγωγής εάν υπάρχουν αρκετοί νευρώνες στα κρυμμένα στρώματα. Εντούτοις, πάρα πολλοί νευρώνες στα κρυμμένα στρώματα μπορούν να προκαλέσουν ένα άλλο πρόβλημα, αποκαλούμενη πέρα από-συναρμολόγηση. Το λάθος στο σύνολο κατάρτισης οδηγείται σε μια πολύ μικρή αξία λόγω της ισχυρής διαδικασίας εκμάθησης ANN, αλλά όταν παρουσιάζεται το νέο στοιχείο στο δίκτυο το λάθος είναι μεγάλο. Το δίκτυο έχει απομνημονεύσει

$$B = 1 - \frac{\sum_{i=1}^M (O_i^{(h)} - O_i^{(t)})^2}{\sum_{i=1}^M (O_i^{(h)} - O_i)^2} \quad (5)$$

παραδείγματα κατάρτισης, δικτύου αυτό που δεν μαθαίνεται για να γενικεύει στις νέες καταστάσεις. Σαφώς όταν η πέρα από-συναρμολόγηση εμφανίζεται, το δίκτυο δεν θα γενικεύσει καλά. Η ιδανική μέθοδος για τη γενίκευση δικτύων είναι να χρησιμοποιηθεί ένα δίκτυο που είναι ακριβώς αρκετά μεγάλο να παρέχει μια επαρκή τακτοποίηση. Όσο μεγαλύτερο ένα δίκτυο είναι, τόσο πιο σύνθετος είναι οι λειτουργίες που το δίκτυο μπορεί να δημιουργήσει. Επομένως, εάν χρησιμοποιούμε ένα αρκετά μικρό δίκτυο, δεν θα έχει αρκετή δύναμη να εγκαταστήσει τα στοιχεία. Δυστυχώς, είναι δύσκολο να είναι γνωστό εκ των προτέρων πόσο μεγάλο ένα δίκτυο πρέπει να είναι για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Υπάρχουν δύο μέθοδοι για τη γενίκευση: συστηματοποίηση και νωρίς παύση. Η μέθοδος συστηματοποίησης, όπως την Μπεϋζιανή συστηματοποίηση, περιλαμβάνει την τροποποίηση της λειτουργίας απόδοσης, η οποία επιλέγεται κανονικά για να είναι το ποσό των τετραγώνων των λαθών δικτύων στο σύνολο κατάρτισης. Στην Μπεϋζιανή συστηματοποίηση, τα βάρη και οι προκαταλήψεις του δικτύου υποτίθεται ότι ήταν τυχαίες μεταβλητές με τις διευκρινισμένες διανομές. Οι παράμετροι συστηματοποίησης συσχετίζονται με τις άγνωστες διαφορές που συνδέονται με αυτές τις διανομές, και αυτές οι παράμετροι μπορούν να υπολογιστούν χρησιμοποιώντας τις στατιστικές τεχνικές. Νωρίς να σταματήσει αφορά μια τρίτη ομάδα συνόλου δεδομένων (ένα σύνολο δεδομένων επικύρωσης εκτός από το σύνολο δεδομένων κατάρτισης και το σύνολο δεδομένων δοκιμής), η οποία χρησιμοποιείται για να ελέγξει τη διαδικασία κατάρτισης. Όταν τις αυξήσεις λάθους επικύρωσης για έναν διευκρινισμένο αριθμό επαναλήψεων λόγω της πέρα από-εγκατάστασης, η κατάρτιση σταματούν νωρίς, και τα βάρη και οι προκαταλήψεις επιστρέφονται στο ελάχιστο του λάθους επικύρωσης.

2.4. Εφαρμογή ANNs στην επιστήμη σύνθετων υλικών

Για την έρευνα υλικών, ένα ορισμένο ποσό πειραματικών αποτελεσμάτων απαιτείται πάντα πρώτα για να αναπτύξει ένα αποδοτικό νευρικό δίκτυο, συμπεριλαμβανομένης της αρχιτεκτονικής του, των λειτουργιών κατάρτισης, των αλγορίθμων κατάρτισης και άλλων παραμέτρων, που ακολουθούνται με τη μέθοδο διαδικασίας και αξιολόγησης κατάρτισης. Αφότου έχει μάθει να λύνει το δίκτυο τα προβλήματα βασισμένα σε αυτά τα σύνολα δεδομένων, τα νέα στοιχεία από την ίδια περιοχή γνώσης μπορούν έπειτα να τεθούν στο εκπαιδευμένο νευρικό δίκτυο, προκειμένου ρεαλιστικές λύσεις παραγωγής. Η διαδικασία ANNs για την έρευνα υλικών μπορεί, επομένως, να συνοψιστεί από την άποψη των ακόλουθων σταδίων:

συλλογή βάσεων δεδομένων: ανάλυση και προεπεξεργασία των στοιχείων.

κατάρτιση του νευρικού δικτύου: αυτό περιλαμβάνει την επιλογή της αρχιτεκτονικής, των λειτουργιών κατάρτισης, των αλγορίθμων κατάρτισης και των παραμέτρων του δικτύου.

δοκιμή του εκπαιδευμένου δικτύου: για να αξιολογήσει την απόδοση δικτύων.

χρήση του εκπαιδευμένου ANNs για την προσομοίωση και την πρόβλεψη.

Το μέγιστο πλεονέκτημα ANNs είναι η δυνατότητά του να διαμορφώσει σύνθετο μη γραμμικό, πολυδιάστατο λειτουργικό

οι σχέσεις χωρίς οποιεσδήποτε προγενέστερες υποθέσεις για τη φύση των σχέσεων, και το δίκτυο χτίζονται άμεσα από τα πειραματικά στοιχεία από τις self-organizing ικανότητές της. Εντούτοις, οι περιορισμοί της μεθόδου ANN είναι οι ακόλουθοι:

τα στοιχεία κατάρτισης της βάσης δεδομένων πρέπει να έχουν μια στενή σχέση με τις προβλέποντας παραμέτρους.

τα ικανοποιητικά στοιχεία κατάρτισης για σύνθετο ANNs είναι απαραίτητα.

ANNs είναι καθαρώς φαινομενολογικά και δεν παράγουν εγγενώς μια μηχανιστική κατανόηση του διαμόρφωσης της διαδικασίας. Εντούτοις, καλά εκπαιδευμένο ANNs μπορεί να συμβάλει στην ανάπτυξη μιας μηχανιστικής κατανόησης του προβλήματος εξεταζόμενου.

2.5. Αξιολόγηση της μεθόδου ANN

Ένα σύνολο δεδομένων των αποτελεσμάτων μέτρησης θα διαιρεθεί συνήθως σε σύνολο δεδομένων κατάρτισης και σύνολο δεδομένων δοκιμής. Το σύνολο δεδομένων κατάρτισης χρησιμοποιείται για να ρυθμίσει τα βάρη όλων των συνδέοντας κόμβων έως ότου επιτυγχάνεται το επιθυμητό επίπεδο λάθους. Έκτοτε, η απόδοση δικτύων αξιολογείται με τη χρησιμοποίηση του συνόλου δεδομένων δοκιμής. Η ποιότητα της πρόβλεψης μπορεί κανονικά να χαρακτηριστεί από το μέσο τετραγωνικό λάθος ρίζας (RMSE) των προβλεφθεισών τιμών από τα πραγματικά μετρημένα στοιχεία. Όσο μικρότερο το RMSE του συνόλου δεδομένων δοκιμής είναι, ο υψηλότερος είναι η προφητική ποιότητα.

Σαν βελτίωση, ο συντελεστής του προσδιορισμού β (επίσης αποκαλούμενο το ρ^2 συντελεστή σε μερικές δημοσιεύσεις) έχει εισαχθεί για να αξιολογήσει την ποιότητα ANNs, που καθορίζεται κοντά όπου $0(\rho >)$ είναι το προβλεφθέν χαρακτηριστικό ιδιοκτησίας, το W είναι η μετρημένη αξία, το θ είναι η μέση αξία θW , και το μ είναι ο αριθμός στοιχείων δοκιμής. Ο συντελεστής β περιγράφει την τακτοποίηση της μεταβλητής καμπύλης προσέγγισης παραγωγής της ANN στην πραγματική μεταβλητή καμπύλη παραγωγής στοιχείων δοκιμής. Οι υψηλότεροι συντελεστές β δείχνουν μια ANN με τις καλύτερες ικανότητες προσέγγισης παραγωγής.

Για να αποφύγει οποιαδήποτε τεχνητή επιρροή στην επιλογή των στοιχείων δοκιμής, μια τυχαία τεχνική μπορεί να εφαρμοστεί στην επιλογή, και η ολόκληρη διαδικασία επαναλαμβάνεται ανεξάρτητα για πολλές φορές (π.χ. 50 φορές). Κατόπιν η διανομή των τιμών β καταγράφεται και το ποσοστό $5^{>0.9}$ υπολογίζεται, δεδομένου ότι αυτή η αξία προσδιορίζεται ως υψηλή προφητική ποιότητα, δηλ. λιγότερο από 15% του RMSE είναι μεταξύ των προβλεφθεισών τιμών και μετρημένα. Είναι σαφές ότι όσο υψηλότερο το ποσοστό $5^{>0.9}$ είναι, ο καλύτερος είναι η ποιότητα.

2.6. Διαμόρφωση ANN

Δεδομένου ότι η ANN 1 διαμόρφωση έχει μια μεγάλη επιρροή στην προφητική ποιότητα, οι διάφορες ρυθμίσεις έχουν εξεταστεί στην προηγούμενη εργασία. Είναι απαραίτητο να καθοριστεί ένας απλός κώδικας για να περιγράψει τη διαμόρφωση ANN, ως εξής:

$$N_{in} - [N_{h1} - N_{h2} - N_{h3}]e - N_{out} \quad (6)$$

9115105M

όπου το v και A^{\wedge} είναι έξω οι αριθμοί στοιχείων παραμέτρων εισαγωγής και παραγωγής, αντίστοιχα, και το ϵ είναι ο αριθμός κρυμμένων στρωμάτων. Τα H_1 , H_2 και H_3 είναι αριθμοί νευρώνων

σε κάθε κρυμμένο στρώμα, αντίστοιχα. Παραδείγματος χάριν, το 7-[21]η-λ σημαίνει ένα ένα κρυμμένο στρώμα ANN με επτά εισαγμένους και μιας παραγωγής τις παραμέτρους, με το κρυμμένο στρώμα που περιλαμβάνει 21 στοιχεία (νευρώνες) 9-[15-10-5] 3 - το λ δείχνει εννέα εισαγμένη και μια παραγωγή ANN, με 15 ..10 και πέντε νευρώνες, αντίστοιχα, σε τρία κρυμμένα στρώματα.

3. Τεχνητά νευρικά δίκτυα για τα πολυμερή σύνθετα

3.1. Ζωή κούρασης

Η κούραση είναι ένα από τα πιο περίπλοκα προβλήματα για τα σύνθετα ινών, και οι μηχανισμοί αποτυχίας ακόμα δεν γίνονται κατανοητοί καλά. Οι εκτενείς δοκιμές πρέπει να πραγματοποιηθούν λόγω της απουσίας ενός καθορισμένου με σαφήνεια κριτηρίου αποτυχίας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει την αποτυχία κούρασης στα πολυμερή σύνθετα.

3.1.1. Ομοιοκατευθυνόμενα σύνθετα (UD)

Assaf και Kadi [11] εφάρμοσε την προσέγγιση ANN για να προβλέψει τη ζωή κούρασης της ίνας γυαλιού UD/twp εποξικών σύνθετων. UD τα σύνθετα δείγματα ινών προετοιμάστηκαν με τους προσανατολισμούς γωνίας 0 ..19 ..45 ..71, και 90°, και εξέτασαν κυκλικά υπό τον όρο ελέγχου φορτίων με το ρ - αναλογίες 0,5, 0 και -1. Μόνο ./-αξία, η μέγιστη πίεση και η γωνία προσανατολισμού ινών χρησιμοποιήθηκε ως

Η εισαγωγή ANN, και η παραγωγή ήταν ο αριθμός κύκλων στην αποτυχία κούρασης. Η βάση δεδομένων περιείχε 92 μετρημένα αποτελέσματα. Μια αρχιτεκτονική 3-[12]λ ANN εφαρμόστηκε που παρουσίασε πολύ ικανοποιητική προφητική ποιότητα, στην οποία το RMSE ήταν λιγότερο από 20%. Ο αντίστοιχος συντελεστής συσχέτισης, πιθανώς παρόμοιος με την 5-αξία που καθορίστηκε στο προηγούμενο τμήμα, αντιστοιχούσε σε μια αξία ελαφρώς υψηλότερη από 90%. Φαίνεται ότι ο προσανατολισμός ινών στα σύνθετα UD διαδραματίζει έναν βασικό ρόλο στην απόδοση κούρασης. Η εφαρμογή του προσανατολισμού ινών ως εισαγωγή βελτιώνει την προφητική ποιότητα ANN σημαντικά, ακόμη και με ένα σχετικά μικρότερο σύνολο δεδομένων 92, έναντι των 400 που αναφέρονται στην παρ. [8] για τα φύλλα πλαστικού δοκιμασμένα. Προκειμένου να βελτιωθεί η ακρίβεια πρόβλεψης, άλλοι τύποι των ANNs, δηλ. μορφωματικός, οργανωνονται ξανα, και τα δίκτυα ανάλυσης κύριων τμημάτων, εξετάστηκαν σε μια πιο πρόσφατη δημοσίευση [12] χρησιμοποιώντας την ίδια βάση δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην παρ. [11]. Είναι κρίμα που, βασισμένος στο επιτυχώς εκπαιδευμένο ANNs, οι συντάκτες δεν έδωσαν περαιτέρω προφητικά αποτελέσματα για την κούραση άλλων προσανατολισμών ινών, δεδομένου ότι αυτοί δεν μετρήθηκαν στις μελέτες τους. Κατ' αυτό τον τρόπο έχασαν το σημαντικότερο πλεονέκτημα της νευρικής προσέγγισης δικτύων στο σύνθετο σχέδιο, ότι καλά εκπαιδευμένο ANNs μπορεί να προβλέψει τις ιδιότητες παραγωγής των νέων υλικών πριν κατασκευάζει/εξετάζει τα πραγματικά σύνθετα.

3.1.2. Φυλλόμορφα σύνθετα

Τρεις παράμετροι κούρασης, μέγιστη πίεση, η ελάχιστη πίεση και πιθανότητα της αποτυχίας, και τέσσερις μονοτονικές μηχανικές ιδιότητες, εκτατή δύναμη, η δύναμη συμπίεσης, η εκτατή πίεση αποτυχίας και ο εκτατός συντελεστής, επιλέχτηκαν ως εισαγωγές ANN, οι οποίες εφαρμόστηκαν για να προβλέψουν τη ζωή κούρασης των σύνθετων ως παραγωγή. Μια 7-[2λ]λ αρχιτεκτονική ANN βελτιστοποιήθηκε τελικά με την αξιολόγηση των αλλαγών σε RMSE της παραγωγής δικτύων με τον αριθμό νευρώνων στο κρυμμένο στρώμα. Η περαιτέρω προσπάθεια πραγματοποιήθηκε για να μειώσει το μέγεθος του συνόλου δεδομένων κατάρτισης, και η ικανοποιητική πρόβλεψη επιτεύχθηκε. Ήταν το συμπέρασμά τους ότι το ANNs (α) μπορεί να εκπαιδευθεί τουλάχιστον για να διαμορφώσει τη συμπεριφορά κούρασης σταθερός-πίεσης καθώς επίσης και άλλες τρέχουσες μεθόδους ζωή-πρόβλεψης, και (β) μπορεί να παρέχει τις ακριβείς αντιπροσωπεύσεις αναλογίας επιφάνειας μεσαίος-ζωής για τα σύνθετα ινών άνθρακα από ένα αρκετά μικρό πειραματικό σύνολο δεδομένων. Δυστυχώς, από τα αποτελέσματά τους η προφητική δυνατότητα για την ελάχιστο-ζωή ήταν λιγότερο ικανοποιητική και μη-συντηρητική.

Μόλις λήφθηκε μια καλά εκπαιδευμένη ANN, η δυνατότητα για τη ζωή κούρασης των νέων υλικών θα μπορούσε να αναλυθεί. Σαν δεύτερο βήμα αυτού του εγγράφου, τα δείγματα δύο άλλων υλικών, ενός πέμπτου φύλλου πλαστικού CFRP (HTA/982) και ενός φύλλου πλαστικού GFRP (ε- Glass/913) της παρόμοιας δομής, εξετάστηκαν όσον αφορά τις μηχανικές και ιδιότητες κούρασής τους. Οι μονοτονικές μηχανικές ιδιότητες αυτών των νέων υλικών χρησιμοποιήθηκαν ως δεδομένα εισόδου στο καλά εκπαιδευμένο ANNs για την πρόβλεψη της ζωής κούρασης, και τα προφητικά αποτελέσματα

συγκρίθηκαν με τα σχετικά πειραματικά στοιχεία. Και οι δύο περιπτώσεις δεν ήταν ικανοποιητικές το μέσο RMSE ήταν της τάξης 100% για το CFRP και του 170% για το GFRP. Είναι σαφές ότι η χρήση fatigue-life CFRF των στοιχείων για να προβλέψει τις κούραση-ζωές των υλικών GFRP, ή αντίστροφα, δεν συστήνεται λόγω των διαφορών στις μηχανικές και ιδιότητες κούρασης CFRP και GFRP. Αυτό το παράδειγμα καταδεικνύει ότι ακόμη και μια καλά εκπαιδευμένη ANN μπορεί μόνο να χρησιμοποιηθεί για να προβλέψει τα νέα στοιχεία από την ίδια περιοχή γνώσης.

Σαν πρωτοποριακό παράδειγμα της πρόβλεψης κούρασης των πολυμερών σύνθετων που χρησιμοποιούν ANNs, αυτό το έγγραφο δίνει ένα χαρακτηριστικό παράδειγμα για τις σχέσεις ιδιοκτησίας που παρουσιάζονται στο σχέδιο 1. Οι συντάκτες προσπάθησαν να καθιερώσουν τις σχέσεις μεταξύ μερικών σχετικά απλών σύνθετων ιδιοτήτων, μονοτονικές μηχανικές ιδιότητες, με μια σύνθετη ιδιοκτησία, η ζωή κούρασης. Επειδή οι μονοτονικές ιδιότητες είναι ευκολότερες να λάβουν από τα στοιχεία κούρασης, η επιτυχής πρόβλεψη θα μπορούσε να ωφελήσει στη μείωση του αριθμού πειραμάτων κούρασης. Είναι η άποψη των κριτικών που μερικές βασικές παράμετροι, που μπορούν σημαντικά να επηρεάσουν τη συμπεριφορά κούρασης των σύνθετων φύλλων πλαστικού, έχαναν στην επιλεγμένη εισαγωγή ANN. Από την εμπειρία των κριτικών, να είναι χρήσιμο να προσθέσει μερικές ιδιότητες των ινών και της τακτοποιημένης εποξικής μήτρας, π.χ. η εκτατή δύναμη των ινών, και της ανθεκτικότητας σπασίματος καθώς επίσης και μερικών στοιχείων κούρασης για τη μήτρα, προκειμένου να βελτιωθεί η προφητική ποιότητα. Η δομή του λαϊκός-UPS μπορεί επίσης έντονα να έχει επιπτώσεις στη ζωή των φύλλων πλαστικού, η οποία αναγνωρίστηκε επίσης από τους συντάκτες.

Τα προφητικά αποτελέσματα ANN Aymerich και Serra [10] επιβεβαίωσαν ότι οι ιδιότητες των βασικών στοιχείων (έλασμα) και ο προσανατολισμός τους μέσα στο φύλλο πλαστικού έχουν επιπτώσεις έντονα στην απόδοση κούρασης των σύνθετων φύλλων πλαστικού. Επομένως, η ακολουθία συσσώρευσης μπορούν να περιγραφούν από τις παραμέτρους ενώ μια ενιαία παράμετρος [45] προσδιορίζει το φύλλο πλαστικού θεωρήθηκε ως εισαγμένη ANN μεταβλητή, μαζί με τον αριθμό κύκλων στην αποτυχία, προκειμένου να προβλεφθεί η δύναμη κούρασης όπως η παράμετρος παραγωγής ANN, τέσσερις έως δώδεκα νευρώνες χρησιμοποιήθηκε σε ένα κρυμμένο στρώμα, και ο backpropagation αλγόριθμος εφαρμόστηκε.

3.1.3. Συνοπτικά σχόλια

Συμπερασματικά, μερικές επιτυχίες έχουν επιτευχθεί χρησιμοποιώντας ANN στην πρόβλεψη της ζωής κούρασης των πολυμερών σύνθετων. Εντούτοις, η συμπεριφορά κούρασης είναι ακόμα έτσι περίπλοκη ότι το πρόβλημα απαιτεί περισσότερη προσπάθεια προτού να μπορέσει η ANN να χρησιμοποιηθεί με περισσότερη εμπιστοσύνη. άλλες δημοσιεύσεις στην πρόβλεψη κούρασης στα διάφορα μεταλλικά κράματα που χρησιμοποιούν την προσέγγιση ANN [13-15] συστήνονται στη σύνθετη κοινότητα ως περαιτέρω αναφορές για να βελτιώσουν αυτήν την τεχνική για τα προβλήματά τους.

3. τριβολογικές ιδιότητες

Ένα συνολικό σύνολο δεδομένων 72 ανεξάρτητων μετρήσεων ένδυσης χρησιμοποιήθηκε για να εκπαιδεύσει και να εξετάσει το νευρικό δίκτυο. Το σύνολο δεδομένων προήλθε από τη διάβρωση των δοκιμών με τις διάφορες υλικές συνθέσεις (πολυαμίδιο 4,6 σύνθετα μητρών που ενισχύονται με τις κοντές ίνες άνθρακα/γυαλιού, PTFE, ή/και το γραφίτη) κάτω από τη διαφορετική ένδυση μετρώντας τους όρους. Μια δομημένη 10-[25]λ ANN εφαρμόστηκε με την παραγωγή του όγκου ένδυσης) που οι εισαγωγές ήταν μηχανικές ιδιότητες και καταστάσεις δοκιμής, δηλ. συμπίεση δύναμη, συντελεστής συμπίεσης, συμπίεση πίεση στην αποτυχία, εκτατή δύναμη, εκτατή πίεση στην αποτυχία, δύναμη αντίκτυπου, περιβαλλοντική εξεταστική θερμοκρασία, αρχικό φορτίο, μέσο φορτίο και μέση ταχύτητα. Μια αυτοματοποιημένη "Μπεϋζιανή" συστηματοποίηση ενός back-propagation αλγορίθμου επιλέχθηκε, ο οποίος έχει την ικανότητα αυτόματα να προσδιορίσει το βέλτιστο μέγεθος του τεχνητού νευρικού δικτύου στα κρυμμένα στρώματά του. Το σχέδιο και η κατάρτιση του νευρικού δικτύου εκτελέστηκαν χρησιμοποιώντας τη "νευρική εργαλειοθήκη δικτύων" MATLAB [9]JA τυχαία επιλεγμένη το σύνολο δεδομένων δοκιμής χρησιμοποιήθηκε στη αξιολόγηση.

Η βάση δεδομένων περιείχε (1) τις υλικές συνθέσεις (μέρη όγκου της μήτρας, των κοντών ινών γυαλιού, των βασισμένων στην πίσσα ινών άνθρακα, των ΠΑΝ ινών άνθρακα, και του PTFE και των από γραφίτη υλικών πληρώσεως), τις μηχανικές ιδιότητες των σύνθετων που μελετήθηκαν (συντελεστής και δύναμη συμπίεσης, δύναμη αντίκτυπου, κ.λπ., όλα στις σχετικές εξεταστικές θερμοκρασίες), και (3) τους εξεταστικούς όρους (θερμοκρασία, κανονική δύναμη και ταχύτητα ολίσθησης) ως παράμετροι εισαγωγής τα χαρακτηριστικά ένδυσης όπως το συγκεκριμένο ποσοστό ένδυσης ή ο της τριβής συντελεστής επιλέχθηκαν ως δεδομένα εξόδου. Αρχικά, η επιρροή των διαφορετικών ομάδων

παραμέτρων εισαγωγής αναλύθηκε. Ο πίνακας 1 δίνει το εισαγωγή και

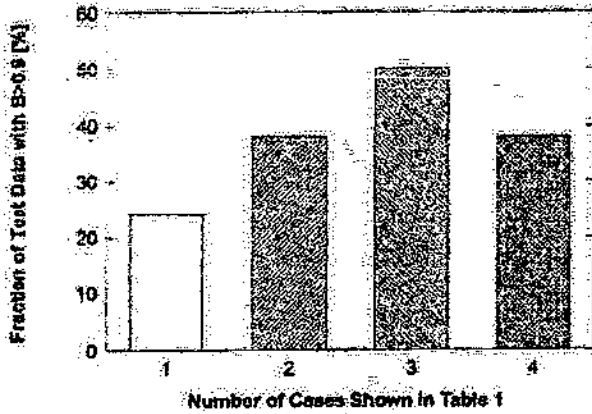


Fig. 5. Dependence of the percentage of test data $B \geq 0.9$ on the various ANN input and output data described in Table 1 [18].

οι παράμετροι παραγωγής σε διαφορετικές περιπτώσεις, για τις οποίες τα αποτελέσματα των προφητικών ιδιοτήτων αναλύονται στο σχέδιο $S^4[18]$ σε όλες αυτές τις περιπτώσεις, 88 στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για την παραμονή κατάρτισης $ansfne$ 15 για τη δοκιμή. Πάλι, ο Μπεύζιανός αλγόριθμος εφαρμόστηκε. Μπορεί να φανεί ότι η προσθήκη του όγκου μητρών ως εισαγωγή στην περίπτωση του αριθ. 2 αποτελεσματικά βελτιώνει την ποιότητα έναντι αυτού του αριθ. 1, στο οποίο μόνο οι μηχανικές ιδιότητες ενσωματώθηκαν. Η διαμόρφωση ANN χρησιμοποιούμενη εδώ ήταν του εντύπου 9-[25]λ, δηλ. κατείχε τις έξι υλικά συνθέσεις και τρία μετρώντας τους όρους ως εισαγωγή, και το συγκεκριμένο ποσοστό ένδυσης ως παραγωγή. Έβγαλε ότι αυτό ήταν μια ιδανική κατάσταση για το σύνθετο σχέδιο (λόγω της καλά εκπαιδευμένης ANN χρησιμοποιούμενης), δεδομένου ότι επέτρεψε σε μια πρόβλεψη ιδιοκτησίας για να γίνει από τον υπολογιστή χωρίς κατασκευή των πραγματικών σύνθετων. Αυτό το $argover$ ισχύει, φυσικά, μόνο για την ίδια περιοχή γνώσης με το σύνολο δεδομένων κατάρτισης.

Υπάρχουν πολλές παραλλαγές του backpropagation αλγόριθμου λόγω των διαφορετικών μεθόδων για τον αλγόριθμο καθόδου κλίσης. Οι ακόλουθοι αλγόριθμοι κατάρτισης [9] ερευνήθηκαν, συμπεριλαμβανομένης της Μπεύζιανής συστηματοποίησης (BR), του συζευγμένου αλγόριθμου κλίσης ποωελλ- Beale (CGB), της quasi-Newton μεθόδου BFGS (BFG), του προσαρμοστικού ποσοστού εκμάθησης (GDX), και λεβενπεργ- Marquardt του αλγόριθμου (LM). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι και οι αλγόριθμοι BR και CGB που οδηγήθηκαν σε μια υψηλή προφητική ποιότητα, δηλ. σχεδόν 40% του β βρέθηκαν για να είναι ≥ 0.9 για τη σχετική διαμόρφωση ANN. Επιπλέον, το BR είναι ένας καλύτερος αλγόριθμος για να καθορίσει τις βέλτιστες παραμέτρους συστηματοποίησης σε μια αυτοματοποιημένη μόδα. Εντούτοις, αυτό το πλεονέκτημα συνδυάζεται με μια αργή ταχύτητα υπολογισμού. CGB είναι, αφ' ετέρου, ένας γρήγορος και υψηλός ποιοτικός αλγόριθμος κατάρτισης για αυτήν την περίπτωση. Και οι δύο αλγόριθμοι επομένως εξετάστηκαν στην περαιτέρω εργασία.

Όχι μόνο ο αλγόριθμος κατάρτισης αλλά και η διαμόρφωση έχουν μια ισχυρή επιρροή στην προφητική ποιότητα ANN. Με βάση τον αλγόριθμο CGB, οι διάφορες διαμορφώσεις ANN αναλύθηκαν, και τα αποτελέσματα ήταν

συγκρινόμενος, 9-[15-10-5]3 - το λ εξέθεσε ένα άριστο αποτέλεσμα, που δείχνει ότι 66% των στοιχείων δοκιμής είχε έναν συντελεστή β στη σειρά από 0,9 έως 1,0. Εντούτοις, από την πολυπλοκότητα της διαμόρφωσης γίνεται επίσης σαφές ότι η απόδοση ένδυσης των σύντομων σύνθετων ινών έχει μια πολύ σύνθετη σχέση με τις παραμέτρους εισαγωγής που επιλέγονται. Ο αριθμός στοιχείων κατάρτισης επηρεάζει σίγουρα την προφητική ποιότητα επίσης. Όταν ο αριθμός στοιχείων κατάρτισης μειώθηκε από 88 έως 43 χρησιμοποιώντας τον ίδιο αλγόριθμο κατάρτισης CGB και την ίδια διαμόρφωση ANN 9-[15-10-5]3 - λ, οι προφητικές ιδιότητες μειώθηκαν σημαντικά. Η εξάρτηση

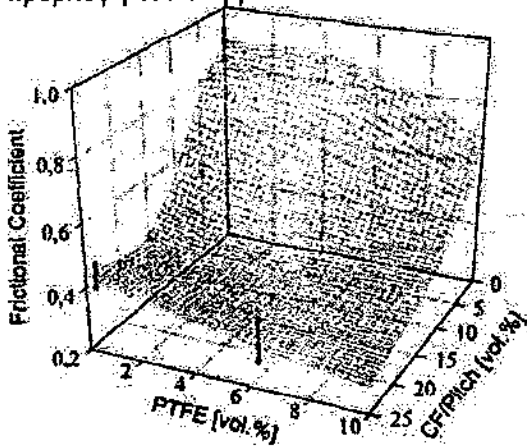
παρουσιάζεται στο σχέδιο 6 για το ποσοστό των στοιχείων δοκιμής με 5-αξία $\wedge 0.9$ ως λειτουργία του αριθμού στοιχείων κατάρτισης. Τα αποτελέσματα εγκαταστάθηκαν από την ορμούμενη γραμμή, και γίνεται σαφές ότι όσο μεγαλύτερο το σύνολο δεδομένων κατάρτισης, ο καλύτερος είναι η προφητική ποιότητα.

η ποιότητα και βελτιώθηκε σαφώς όταν συγκρίνεται με αυτήν της παρ. (το λ 6J/se εκείνη την περίπτωση, οι υλικές συνθέσεις δεν ήταν χρησιμο ένα μέρος των στοιχείων tjoesnput. Το Theiflbrease στον αριθμό στοιχείων, που συμβάλλουν επίσης σε αυτήν την βελτίωση την τρέχων-κατάσταση δείχνει ότι τα προφητικά αποτελέσματα εκθέτουν μια άριστη αντιστοιχία στα πραγματικά μετρημένα στοιχεία. Σύκα. έκθεμα 7 και 8 υπό μορφή τρισδιάστατης πλοκής τα προφητικά αποτελέσματα για το συγκεκριμένο ποσοστό ένδυσης και τον της τριβής συντελεστή

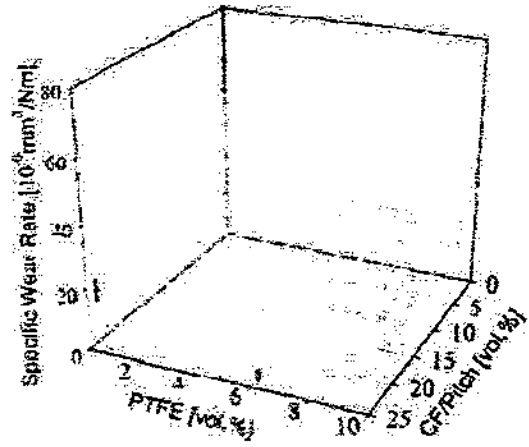
σαν τη λειτουργία PTFE - και πιασών $\Theta\Phi$ - ποσότητα %, κατά χρησιμοποίηση των έξι υλικών συνθέσεων και τριών που μετρούν τους όρους ως παραμέτρους εισαγωγής. Έναντι των πραγματικών αποτελεσμάτων της δοκιμής (σημεία με τους φραγμούς λάθους στα σύκα. 7 και 8), τα προφητικά αποτελέσματα είναι πολύ αποδεκτά. Επομένως, μόλις ληφθεί μια καλά εκπαιδευμένη ANN, τα νέα στοιχεία μπορούν να προβλεφθούν χωρίς εκτέλεση πάρα πολλών, πειράματα μακρύς-διάρκειας, έτσι ώστε μια ANN μπορεί σημαντικά να μειώσει το χρόνο που απαιτείται για να σχεδιάσει τα νέα πολυμερή σύνθετα για ειδικούς λόγους. Είναι σαφές ότι η προφητική ποιότητα θα μπορούσε να βελτιωθεί περαιτέρω με τη διεύρυνση των συνόλων δεδομένων κατάρτισης, υιοθέτηση των υλικών συνθέσεων ως δεδομένα εισόδου, και βελτιστοποίηση της διαμόρφωσης ANN.

3.2.2. Διαβρωτική ένδυση των πολυμερών σωμάτων

Πρόσφατα, Zhang et al [19] αυτή η προσέγγιση για να εξετάσει τα διαβρωτικά ωφειαρ-στοιχεία για τρία πολυμερή σώματα, δηλ. πολυαιθυλένιο (PE), πολυουρεθάνιο (PUR), και ένας εποξικός που τροποποιείται από το hygrothermally αποσυντεθειμένο πολυουρεθάνιο (EP -EP-PUR). Η γωνία αντίκτυπου για τη στερεά διάβρωση μορίων και μερικές χαρακτηριστικές ιδιότητες (υλικές συνθέσεις για την περίπτωση του EP -EP-PUR επίσης) επιλέχθηκαν ως μεταβλητές εισαγωγής ANN για την πρόβλεψη του διαβρωτικού ποσοστού ένδυσης. Φαίνεται ότι η ταξινόμηση σπουδαιότητας



Σχέδιο της τριβής συντελεστής 8. ενός πολυαμιδίου 4,6 (PA4.6) σύνθετο ως λειτουργία PTFE - και σύντομη βλ.-όγκου περιεκτικότητα σε. Τα πειραματικά σημεία στοιχείων και τους διασκορπίζουν δίνονται από τους μαύρους φραγμούς, ενώ το υπόλοιπο του τρισδιάστατου αεροπλάνου υπολογίστηκε από μια τεχνητή νευρική προσέγγιση δικτύων (διαμόρφωση δοκιμής διάβρωσης, που μετρά τους όρους: εξεταστική θερμοκρασία $T=20$ °C κανονική δύναμη $\varphi = 10$ v ταχύτητα β ολίσθησης = 0,04 m/s) [17].



Πίνακας 2

Ταξινόμηση σπουδαιότητας των μεταβλητών εισαγωγής στη διαβρωτική ένδυση εποξικού που τροποποιείται από το hygrothermally αποσυντεθειμένο πολυουρεθάνιο (EP -EP-PUR) που προβλέπεται από ANN "[19]

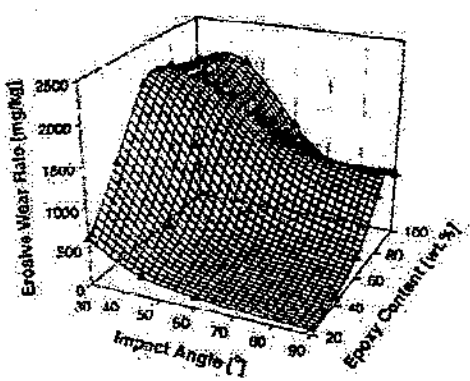


Fig. 9. Eroasive wear rate of an epoxy modified by hygrothermally decomposed polystyrene (EP-PUR) as a function of epoxy weight content and impact angle of solid particle. Dots are experimental data, whereas the rest of the 3-D plane was calculated by an artificial neural network approach (erodent: corundum, size = 60-120 μm, mass flow rate = 0.015 kg/s, velocity = 70 m/s) [19].

οι χαρακτηριστικές ιδιότητες στο διαβρωτικό ποσοστό ένδυσης θα μπορούσαν να προσφέρουν κάποιες πληροφορίες για τις οποίες η ιδιοκτησία έχει μια ισχυρότερη σχέση στην ένδυση των πολυμερών σωμάτων. Για παράδειγμα, για το πολυμερές EP -EP-PUR σύστημα, το ποσό βάρους του PUR ποίκιλε από 0 ..20 ..40 ..60 80%. Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες εξεταζόμενες περιλαμβάνουν την πυκνότητα, σημαίνουν τη μοριακή μάζα μεταξύ των διασυνδέσεων, της θερμοκρασίας μετάβασης γυαλιού ($\tau \gamma$), του rubbery συντελεστή οροπέδιων και της θερμοκρασίας αρχής, της πυκνότητας διασυνδέσεων, και της ενέργειας σπασίματος. Τέσσερις διαβρωτικές γωνίες αντίκτυπου, 30 ..45 ..60, και 90°, χρησιμοποιήθηκαν. Επομένως, ολόκληρο το σύνολο δεδομένων για το EP -EP-PUR περιείχε 80 ανεξάρτητες ομάδες στοιχείων. Η διάρκεια δοκιμής ήταν 60 s για όλες τις μετρήσεις διάβρωσης. Προκειμένου να ερευνηθούν οι συσχετισμοί μεταξύ του διαβρωτικού ποσοστού ένδυσης και των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων αυτών των πολυμερών σωμάτων, κάθε χαρακτηριστική ιδιοκτησία χρησιμοποιήθηκε μόνο με τους απαραίτητους όρους διάβρωσης ως μεταβλητές εισαγωγής για την κατάρτιση της ANN. Οι ιδιότητες αναλύθηκαν από το ποσοστό $5^{*}0.9$, που χρησιμοποιήθηκαν για να ταξινομήσουν τη σημασία αυτών των χαρακτηριστικών ιδιοτήτων στη διαβρωτική ένδυση, όπως συνοψίζονται στον πίνακα 2. Είναι σαφές ότι το υλικό περιεχόμενο συνθέσεων, δηλ. εποξικός και βάρους PUR, παρουσιάζει ισχυρότερο συσχετισμό με την απόδοση ένδυσης. Αυτό είναι σε συμφωνία με τα παρόμοια αποτελέσματα που βρίσκονται πρόβλεψη ANN των τριβολογικών ιδιοτήτων των σύντομων ενισχυμένων ίνα πολυμερών σύνθετων. Η πυκνότητα έχει τη δεύτερη σημαντικότερη θέση λόγω της

ισχυρής σχέσης της στη σύνθεση. Σημάνετε τη μοριακή μάζα μεταξύ του εκθέματος διασυνδέσεων ($\mu \gamma$) και ενέργειας σπασίματος ($\gamma \gamma$) μια παρόμοια ποιότητα, η οποία μπορεί να εξηγηθεί από την εξάρτηση του $\gamma \gamma$ στο μλ.12. Η συνδυασμένη επίδραση της πυκνότητας και του $\mu \gamma$ μπορεί να μειώσει επιρροή της rubbery πυκνότητας συντελεστών και διασυνδέσεων οροπέδιων στη διαβρωτική συμπεριφορά ένδυσης.

Είναι ιδανικό όταν μόνο χρησιμεύουν η υλική σύνθεση και οι εξεταστικοί όροι ως τα δεδομένα εισόδου ANN. Για παράδειγμα, το σχέδιο 9 παρουσιάζει σε μια τρισδιάστατη πλοκή προβλεφθέντα αποτελέσματα για το ποσοστό διάβρωσης ως λειτουργία του εποξικού περιεχομένου βάρους και τη γωνία αντίκτυπου. Έναντι των πραγματικών αποτελεσμάτων της δοκιμής (τα σημεία στο σχέδιο 9), τα προβλεφθέντα αποτελέσματα είναι πολύ αποδεκτά.

3.2.3. Πρόσθετες αναφορές

Δύο πρόσθετες αναφορές μπορούν να είναι περαιτέρω βοήθειας στην κατανόηση των προβλημάτων ένδυσης των υλικών χρησιμοποιώντας ANN.

3.3. Συνδυασμένη κατάσταση φόρτωσης

Μια ANN έχει εφαρμοστεί επίσης από το Lee et al [22] στην αποτυχία στη συνδυασμένη φόρτωση των σύνθετων σωλήνων. Οι διαξωνικές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν με τον άνθρακα διαγώνιος-πτυχών/τους εποξικούς σύνθετους σωλήνες κάτω από συνδυασμένο torsion και την αξονικές ένταση/τη συμπίεση μέχρι την αποτυχία. Η δύναμη και η πίεση αποτυχίας ερευνήθηκαν κάτω από τις διάφορες διαξωνικές αναλογίες φόρτωσης. Στο σύνολο, 43 μετρημένα σημεία στοιχείων λήφθηκαν για την κατάρτιση του σχεδιασμένου ANNs. Η αξονική πίεση και η πίεση κουράς ενέργησαν ως εισαγωγή ANN, ενώ η παραγωγή ήταν ένα διάλυμα αποτυχίας, f_y , που καθορίστηκε κοντά

$$\Phi B = J\sigma_j + 1 \quad (7)$$

όπου $< X \varphi$ είναι η εκτατά/συμπίεστικά δύναμη αποτυχίας και το RF είναι η torsional δύναμη αποτυχίας.

Η κατασκευή του ANNs αναλύθηκε, και ένα δύο κρυμμένο στρώμα ANN (2-[5-5]2-λ) με πέντε νευρώνες σε κάθε στρώμα επλέχτηκε τελικά με μια ικανοποιητική προφητική ποιότητα του χαμηλότερου μέσου τετραγωνικού λάθους ρίζας (RMSE). Μια σύγκριση των προφητικών αποτελεσμάτων ANN με την παραδοσιακή θεωρία κριτηρίου αποτυχίας τσαη- Wu πραγματοποιήθηκε επίσης, όπως φαίνεται στο σχέδιο 10. Είναι σαφές ότι η πρόβλεψη που χρησιμοποιεί ANNs έχει το μικρότερο RMSE μεταξύ των προτύπων εξεταζόμενων.

Το έγγραφο που αναφέρθηκε παρουσίασε μερικά ενδιαφέροντα αποτελέσματα, τα οποία το καθιστούν σαφές ότι ANNs προσφέρουν μια καλή δυνατότητα για την πρόβλεψη των στοιχείων αποτυχίας των πολυμερών σύνθετων υπό τους διαφορετικούς όρους φόρτωσης. Εντούτοις, από την άποψη των κριτικών, ένα σημαντικό πρόβλημα ANN πρέπει ακόμα να εξεταστεί, το οποίο δεν αναφέρθηκε από τους συντάκτες. Το πρόβλημα είναι πέρα από-κατάλληλο όπως συζητείται στην παράγραφο 2.3. Σε αυτό το έγγραφο, όλα τα μετρημένα στοιχεία χρησιμοποιήθηκαν για την κατάρτιση του ANNs, και κανένα φρέσκο στοιχείο δεν αφέθηκε για τη δοκιμή. Όταν η πέρα από-συναρμολόγηση εμφανίζεται, το λάθος

το σύνολο κατάρτισης μπορεί να οδηγηθεί σε μια πολύ μικρή αξία λόγω της ισχυρής ικανότητας συναρμολογήσεων ANNs, αλλά όταν παρουσιάζεται στη συνέχεια το νέο στοιχείο στο δίκτυο, το λάθος μπορεί να είναι μεγάλο.

3.4. Δυναμικές μηχανικές ιδιότητες

Μια προσέγγιση ANN έχει προταθεί για τα σύνθετα προβλήματα της κούρασης, της ένδυσης και της συνδυασμένης αποτυχίας φόρτωσης που συζητούνται νωρίτερα. Εντούτοις, είναι επίσης ενδιαφέρον για την εξέταση μερικών σχετικά απλών υλικών προβλημάτων, τα οποία θα βοηθήσουν για να καταλάβουν τα χαρακτηριστικά ANNs για τις πολυμερείς σύνθετες εφαρμογές. Για παράδειγμα, Zhang et al [23] παρείχαν μια πρόβλεψη ANN βασισμένη στα αποτελέσματα μέτρησης των δυναμικών μηχανικών ιδιοτήτων (συντελεστής και απόσβεση αποθήκευσης) των σύντομων ενισχυμένων ίνα σύνθετων σε μια σειρά θερμοκρασίας από -150 °C σε 150 °C. Μια σειρά βασισμένων σύνθετων που συνδυάστηκαν με το διαφορετικό περιεχόμενο του πουαιθεροκετονη και που ενισχύθηκαν με τα διάφορα ποσά κοντών ινών (CF) άνθρακα εξετάστηκε σε αυτήν την εργασία. Η δυναμική μηχανική θερμο-ανάλυση (DMTA) υιοθετήθηκε χρησιμοποιώντας μια τρεις-σημείο-κάμπτοντας διαμόρφωση.

Τρεις υλικές συνθέσεις ZEI και σύντομο περιεχόμενο του όγκου) και οι διάφορες θερμοκρασίες μέτρησης επλέχθηκαν ως παράμετροι εισαγωγής ANN, και οι γραμμικές βισκοελαστικές ιδιότητες (συντελεστής

ή/και ελάττωση αποθήκευσης) ενέργησαν ως μεταβλητές παραγωγής. Εικοσι πέντε νευρώνες τακτοποιήθηκαν στο κρυμμένο στρώμα, και ο Μπεϋζιανός αλγόριθμος συστηματοποίησης επλέχθηκε που μπορεί αυτόματα να προσδιορίσει το βέλτιστο μέγεθος και τη δομή στο κρυμμένο στρώμα. Ο συνολικός αριθμός στοιχείων ήταν μέχρι 480, αποτελούμενος από οκτώ είδη υλικών με τα σημεία μέτρησης σε κάθε 5° πέρα από τη συνολική σειρά θερμοκρασίας. Αυτό το σύνολο δεδομένων διαιρέθηκε σε σύνολο δεδομένων κατάρτισης και σύνολο δεδομένων δοκιμής. Ο αριθμός στοιχείων κατάρτισης ήταν αρχικά ερευνημένος, δεδομένου ότι επηρεάζει έντονα την προφητική ποιότητα. Το σχέδιο 11 δίνει το ποσοστό των 5-αξιών στοιχείων δοκιμής στη σειρά $5 > 0.9$ [που υπολογίζεται από Eq. (5)] σε σύγκριση με τον αριθμό στοιχείων κατάρτισης. Τα σημεία αναφέρονται στα υπολογισμένα αποτελέσματα για το συντελεστή αποθήκευσης και την απόσβεση (παράγοντας απώλειας), αντίστοιχα. Μπορεί σαφώς να φανεί ότι μια αύξηση στον αριθμό στοιχείων κατάρτισης βελτιώνει την προφητική ποιότητα και για το συντελεστή αποθήκευσης και για την απόσβεση, αλλά ο αριθμός που απαιτείται για να φθάσει σε μια τέλεια προφητική ποιότητα είναι διαφορετικός για αυτές τις δύο παραμέτρους παραγωγής. Για να πλησιάσει 100% των στοιχείων δοκιμής με μια προφητική ποιότητα $\beta > 0.9$, ανάγκες μόνο 40 τυχαία επιλεγμένα στοιχεία κατάρτισης για το δυναμικό συντελεστή. Εντούτοις, για μια παρόμοια ποιότητα στην πρόβλεψη του παράγοντα απόσβεσης, περισσότερα από 120 στοιχεία κατάρτισης απαιτούνται. Από αυτό μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι ο συντελεστής έχει μια ισχυρότερη σχέση στη θερμοκρασία και την υλική σύνθεση από τον παράγοντα απόσβεσης. Με άλλα λόγια, η μη γραμμική εξάρτηση των χαρακτηριστικών απόσβεσης είναι μεγαλύτερη από αυτή του συντελεστή αποθήκευσης. Επομένως, μια ANN απαιτεί περισσότερη εμπειρία στην εκμάθηση της πύθ σύνθετης μη γραμμικής σχέσης για την απόσβεση από αυτή για το συντελεστή.

Στο σχέδιο 11, η εξάρτηση του μέρους των στοιχείων δοκιμής με $5 > 0.9$ στον αριθμό στοιχείων κατάρτισης για μια δύο-παραγωγή ANN (συντελεστής και ελάττωση) συγκρίθηκε επίσης με τα αποτελέσματα για μια ένας-παραγωγή ANN. Η ποιότητα του νευρικού δικτύου δύο-παραγωγής είναι χαμηλότερη από αυτή της ένας-παραγωγής ANNs για την απόσβεση όταν χρησιμοποιήθηκε ο ίδιος αριθμός στοιχείων για την κατάρτιση. Ο λόγος είναι ότι με ένα δίκτυο, τα βάρη νευρώνων ANN πρέπει να εγκαταστήσουν τις σχέσεις για όλες τις μεταβλητές παραγωγής στη διαδικασία εκμάθησης. Γι' αυτό περισσότερα στοιχεία κατάρτισης απαιτούνται για να φθάσουν σε μια παρόμοια προφητική ποιότητα σε αυτή σε μια ένας-παραγωγή ANN. Επομένως, προτού τα ικανοποιητικά στοιχεία κατάρτισης να διαθέσιμα, συνιστάται ένα δίκτυο ένας-παραγωγής να πρέπει να είναι πάντα

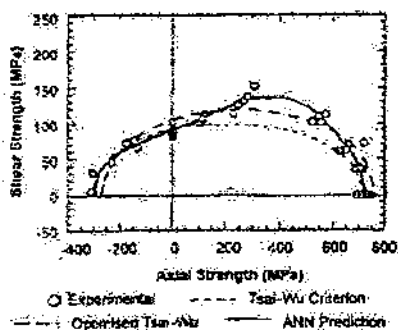


Fig. 10. Comparison of predictions with experimental data under combined axial and torsional loading of composite tubes [22].

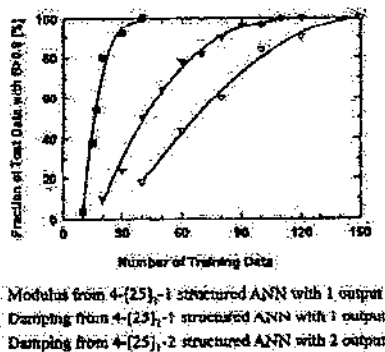


Fig. 11. Dependence of the percentage of test data with a β -value in the range of 0.9-1.0 on the number of training data for modulus and damping, respectively [23].

εξεταζόμενος πρώτος στις πρακτικές εφαρμογές των πολυμερών σύνθετων, προκειμένου να επιτευχθεί μια υψηλότερη προφητική ποιότητα.

3.5. Επεξεργασία της βελτιστοποίησης

Η οικοδόμηση των προτύπων ή των προσομοιώσεων για τις σύνθετες διαδικασίες προσφέρει πολλά οφέλη. Αυτοί περιλαμβάνουν [24]: (α) προβλέποντας την παραγωγή από τους αδοκίμαστους συνδυασμούς τιμών παραμέτρου, (β) απεριόριστος πειραματισμός και έρευνα με χαμηλότερο κόστος, (γ) βελτιώσεις διαδικασίας μέσω της μελέτης του προτύπου, (δ) του ελαχιστοποιημένου χρόνου διακοπής για τις δοκιμές, (ε) της κατάρτισης για τους χειριστές, και (F) της έρευνας για τα επικίνδυνα γεγονότα.

Ένα νευρικό δίκτυο έχει χρησιμοποιηθεί από τον Allan et το Al [24] για να προβλέψει τη δομή και τις

ιδιότητες των ινών πολυπροπυλενίου, οι οποίες θα μπορούσαν να είναι χρήσιμες να προσδιορίσουν τις παραμέτρους ελέγχου στην κατασκευή. Μερικές βασικές παράμετροι κατασκευής, δηλ. θερμοκρασίες και ταχύτητες των κυλίνδρων και των πιάτων, επιλέχθηκαν ως εισαγωγές ANN, και τα αποτελέσματα ήταν οι ιδιότητες ινών, η αντοχή, η επιμήκυνση, ο συντελεστής, η διακένωση, η διαταγή κρυστάλλου και ο προσανατολισμός, οι οποίοι αφορούν κυρίως την ποιότητα των ινών. Οι προβλέψεις βασίστηκαν σε ένα 6-[2] X - η διαμόρφωση λ ή 6-[3]λ μιας πολυστρωματικής ANN, και αρκετά που ενθαρρύνουν τα αποτελέσματα λήφθηκε που έδειξαν ότι τα ANNs ήταν σε θέση να γενικεύσουν αρκετά καλά στην προσομοίωση των διαδικασιών κατασκευής. Σε αυτήν την μελέτη, ένας οργανωμένος τύπος χαρτών Kohonen νευρικού δικτύου εφαρμόστηκε για να ταξινομήσει το μετρημένο σύνολο δεδομένων. Μια άλλη προσέγγιση σε παρόμοια κατεύθυνση εκτελέστηκε για τη βελτιστοποίηση της διαδικασίας πολυμερισμού του πολυαμιδίου 6,6 από Nascimento και Giudici [25].

Το Heider et το AI [26-28] εφάρμοσαν τη διαμόρφωση ANN για τη σε πραγματικό χρόνο προσομοίωση του αυτοματοποιημένου θερμοπλαστικού σύνθετου συστήματος ρυμούλκηση-τοποθέτησης. Και ένας παρεγκεφαλιδικός πρότυπος αριθμητικός ελεγκτής και ανατροφοδότηση ANNs εξετάστηκαν. Τα πρώτα βασισμένα στη φυσική πρότυπα αρχής, π.χ. μεταφορά θερμότητας, η σταθεροποίηση, και ο συνδέοντας όρος, χρησιμοποιήθηκαν ως εισαγωγές ANN για να προβλέψουν τα ποιοτικά αποτελέσματα μερών, π.χ. κενό περιεχόμενο, και βαθμός σύνδεσης. Η άριστη ακρίβεια επιτεύχθηκε. Επιπλέον, ANNs χρησιμοποιήθηκαν επίσης για να βελτιστοποιήσουν τους όρους διαδικασίας, π.χ. εισαγωγή θερμότητας και ταχύτητα, για να επιτύχουν την επιθυμητή ποιότητα, π.χ. κενή περιεκτικότητα σε λιγότερο από 1%, και υψηλός από 90% συνδέοντας. Αυτό επεκτάθηκε για να ενσωματώσει τα αποτελέσματα των πολλαπλάσιων περασμάτων της θερμότητας και της πίεσης και μπορεί να επιδείξει πώς οι ιδιότητες εξελίχθηκαν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. ANNs εξέθεσε επίσης την άριστη δυνατότητα να παρασχεθεί η ανατροφοδότηση γρήγορα στην πολύ σύνθετη προσομοίωση, η οποία ήταν το κλειδί για να την χρησιμοποιήσει για τον έλεγχο διεργασίας. Συμπερασματικά, αυτοί λειτουργούν τα παρουσιασμένα καλά παραδείγματα για ANNs στη σύνθετους βελτιστοποίηση και τον έλεγχο διαδικασίας.

Προκειμένου να βελτιωθούν η δυνατότητα προσέγγισης κατασκευής και η ποιότητα των θερμικών σύνθετων υλικών, διάφορες ερευνητικές προσπάθειες έχουν αφιερωθεί στην ανάπτυξη των αριθμητικών προτύπων διαδικασίας για τη λήψη της βέλτιστης θεραπείας κύκλοι. Εντούτοις, μια γρήγορη μέθοδος προσομοίωσης θεραπείας απαιτήθηκε ακόμα για το σε απευθείας σύνδεση έλεγχο διεργασίας. Το Rai και το πίσσα- Umani [29-31] πρότειναν μια προσέγγιση προσομοίωσης βασισμένη σε ένα τεχνητό νευρικό δίκτυο. Ένας χαρακτηριστικός τεσσάρων σταδίων κύκλος θερμοκρασίας θεραπείας των θερμικών σύνθετων εξετάστηκε, για τα οποία οι τέσσερις στάδιο-τέλος-θερμοκρασίες και η σταθερή σκηνική διάρκειά τους, καθώς επίσης και το φυλλόμορφο πάχος ήταν τα έξι δεδομένα εισόδου ενός πολυστρωματικού ανατροφοδοτητή δικτύου. Τα πέντε δεδομένα εξόδου του δικτύου ήταν η μέγιστη φυλλόμορφη θερμοκρασία, η μέγιστη διαφορά θερμοκρασίας, η μέγιστη κλίση, ο ελάχιστος βαθμός θεραπείας, και ο χρόνος θεραπείας. Δύο βελτιστοποίησαν τις δικτυακές αρχιτεκτονικές, 6- [25] ρ 5 και 6-[15-7]2-5 επιλέχθηκαν τελικά. Η προφητική ικανότητα αξιολογήθηκε με τη χρησιμοποίηση του δικτύου για να μιμηθεί 5000 περιπτώσεις των διαδικασιών θεραπείας με τους διάφορους κύκλους θεραπείας και το φυλλόμορφο πάχος. Αυτά τα 5000 σύνολα δεδομένων κατάρτισης και δοκιμής λήφθηκαν από τα αριθμητικά πρότυπα για τις κινητικές για ένα ευρύ φάσμα των κύκλων και των παραμέτρων θερμοκρασίας θεραπείας. Αποδείχθηκε ότι οι βέλτιστοι κύκλοι θεραπείας της πρόβλεψης ANN ήταν εύλογα ακριβείς στη σύγκριση του μέσος-τετραγωνικός-λάθους στα αποτελέσματα βασισμένα στα αριθμητικά πρότυπα διαδικασίας. Η χρήση του νευρικού δικτύου αντί των αριθμητικών προτύπων μείωσε τον υπολογιστικό χρόνο για τις προσομοιώσεις διαδικασίας από διάφορα μεγέθη, τα οποία πρόσφεραν τις δυνατότητες της σε απευθείας σύνδεση παρακολούθησης και του ελέγχου της σύνθετης θεραπείας.

Το SU et το AI [32] χρησιμοποίησαν τις προβλέψεις που έγιναν με ANNs για να ελέγξουν τη διαδικασία θεραπείας της από γραφίτη ίνας που ενισχύθηκε εποξικής. Ένα επαναλαμβανόμενο νευρικό δίκτυο (RNN) εφαρμόστηκε, το οποίο περιλαμβάνει τους νευρώνες και τις συνάψεις παρόμοιους με εκείνους ενός ανατροφοδοτητή δικτύου, εκτός από το ότι τις ροές πληροφοριών όχι μόνο στην μπροστινή κατεύθυνση αλλά και στην οπίσθια κατεύθυνση κατά μήκος των συνάψεων. Αυτό έχει ένα πλεονέκτημα όσον αφορά σε μερικές χρόνος-αντιδρασμένες παραμέτρους. Ο βαθμός θεραπείας ως νευρική παραγωγή δικτύων προβλέφθηκε από τις διάφορες παραμέτρους εισαγωγής για τους κύκλους θεραπείας, δηλ. οι διαστάσεις των σύνθετων φύλλων πλαστικού, θερμότητα της αντίδρασης θεραπείας, αρχικό περιεχόμενο ρητίνης, και προγράμματα θεραπείας. Μια δικτυακή αρχιτεκτονική του 6-[8]λ βελτιστοποιήθηκε. Δύο πρόσθετα πειράματα κατέδειξαν την αποδοτικότητα αυτής της προσέγγισης.

Τα ANNs χρησιμοποιήθηκαν επίσης από Wagner et το AI [33], καθώς επίσης και από το λι και Bridgwater

[34], για να διαμορφώσουν τις διαδικασίες εξώθησης. Έβγαλε ότι εδώ επίσης οι προβλέψεις παρουσίασαν σημαντική δυνατότητα για μια βελτιστοποίηση αυτών των διαδικασιών λόγω των χαρακτηριστικών ANNs ότι οι προσομοιώσεις είναι άμεσα βασισμένες στα πειραματικά σύνολα δεδομένων, χωρίς οποιεσδήποτε προγενέστερες υποθέσεις για τις σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών εισαγωγής και παραγωγής.

3.6. Άλλες σχετικές εφαρμογές

Οι συμβατικές μέθοδοι βελτιστοποίησης για τις σύνθετες δομές περιλαμβάνουν συνήθως την ανάπτυξη των βαθμιαίων διαδικασιών και την εφαρμογή τους σε μια μεγαλύτερη COM - puter πρόγραμμα. Η εφαρμογή των προσφορών μιας ANN προσέγγισης, αφ' ετέρου, μια νέα διαδρομή στην οποία ένας μεγάλος αριθμός απλών μονάδων επεξεργασίας συνδέεται άμεσα μέσα στη δομή δικτύων με τη βοήθεια των βαρών. Μια ANN έχει, επιπλέον, την ικανότητα να μάθει τις ελλοχεύουσες αρχές που περιλαμβάνονται στην επίλυση του προβλήματος βελτιστοποίησης, από τα παραδείγματα με τη ρύθμιση αυτών των παραγόντων βάρους. Αφότου λαμβάνεται μια καλά εκπαιδευμένη ANN, μπορεί έπειτα να χρησιμοποιηθεί για να αντιμετωπίσει τα παρόμοια προβλήματα στο βέλτιστο σχέδιο των σύνθετων δομών. Το Jayatheertha et το AI [35] πρότειναν μια εφαρμογή των τεχνητών νευρικών δικτύων στο βέλτιστο σχέδιο ενός τοποθετημένου σε στρώματα πιάτου. Ήλλη εργασία σχετικά με αυτήν την προσέγγιση περιλαμβάνει: ένα παχύ πρότυπο σύνθετος-ακτίνων για την πρόβλεψη ΔΙΑΣΤΡΩΜΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΚΟΛΛΗΣΗΣ από Valoor και Chandrashekhara [36] ο μόνος-προσαρμοστικός έλεγχος δόνησης των έξυπνων σύνθετων ακτίνων που χρησιμοποιούν επαναλαμβανόμενο ANNs από Valoor et το AI [37] η εκτίμηση της δύναμης επαφών στα σύνθετα πιάτα που χρησιμοποιούν την αντίκτυπος-προκληθείσα πίεση από Chandrashekhara et το AI [38] ο χαρακτηρισμός της ΥΨΗΛΗΣ ταχύτητα ζημίας αντίκτυπου στα προηγμένα σύνθετα πιάτα που χρησιμοποιούν τις τεχνικές πολυ-αντίληψης από Okafor et το AI [39] η αξιολόγηση της ζημίας των σύνθετων δομών που χρησιμοποιούν μια συγκεκριμένη λογική ενσωματωμένη ANN από Ramu και Johnson [40] η αποτελεσματική απάντηση των τυχαίων σύνθετων από Gotlib et το AI [41] και το λογικό σχέδιο των πολυμερών υλικών με το παράδειγμα των νέων πολυανθράκων από Ulmer et το AI [42],

Έναντι των πολυμερών σύνθετων, περισσότερη ερευνητική εργασία έχει εκτελεσθεί στα μέταλλα και άλλα υλικά με τα τεχνητά νευρικά δίκτυα. Αυτοί περιλαμβάνουν: οι προβλέψεις των διαγραμμάτων χρόνος-θερμοκρασία-μετασχηματισμού στα κράματα τιτανίου από Malinov et το AI [43] ανθεκτικότητα σπασίματος στον χάλυβα από Haque και Sudhakar [44] ανάλυση μορίων ένδυσης από Umeda et το AI [45] ταξινόμηση συντριμμίων ένδυσης από Myshkin et το AI [46] υψηλής θερμοκρασίας μηχανική συμπεριφορά του σκυροδέματος από Mukherjee και Biswas [47] σπάσιμο των τιμμενταρισμάτων από Arslan και Ince [48] μακρο-μηχανική συμπεριφορά των σύνθετων κεραμικός-μητρών από Rao και Mukherjee [49] ιδιότητες δύναμης των lateritic χωμάτων από Attoh-Okine και Fekre [50] μείωση των στοιχείων διάβρωσης από Cottis et το AI [51]. και κινηματικές σκληραίνοντας προσομοιώσεις από Huber και Tsak -makis [52.53]. Πρέπει να υπογραμμιστεί ότι οι αρχές και μερικά αποτελέσματα από αυτές τις αναφορές θα μπορούσαν επίσης να εφαρμοστούν, σε μερικές extent, στην πρόβλεψη της απόδοσης βασισμένων των στο πολυμερές σώμα σύνθετων.

4. Πρόσθετες παρατηρήσεις

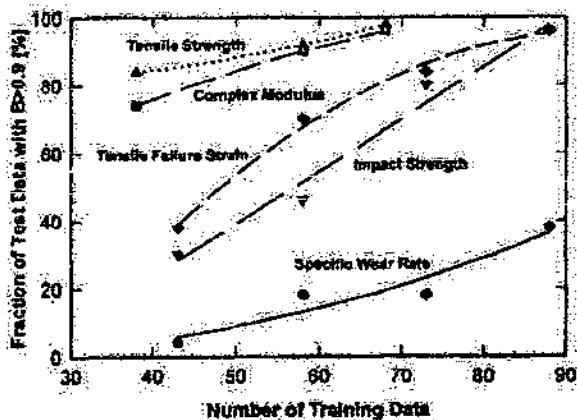
4.1. παράμετροι εισαγωγής

Οι κατάλληλα επιλεγμένες παράμετροι εισαγωγής μπορούν να βοηθήσουν για να φθάσουν σε μια ικανοποιητική προφητική ποιότητα με ένα σχετικά μικρό σύνολο δεδομένων κατάρτισης. Κατά σύγκριση των δύο παραδειγμάτων της πρόβλεψης ζωής κούρασης, την μπορεί να φανεί ότι η χρήση του προσανατολισμού ινών ως δεδομένα εισόδου είναι σε θέση να επιτύχει την αρκετά υψηλή προφητική ποιότητα με ένα σύνολο κατάρτισης μόνο 92 στοιχείων, που λαμβάνεται από τα ομοιοκατευθυνόμενα σύνθετα [10], και το αποτέλεσμα είναι ακόμα καλύτερο από αυτό που επιτυγχάνεται στην παρ. [8] με περισσότερα από 400 στοιχεία, που λαμβάνονται από τα φύλλα πλαστικού. Αδιαφιλονίκητα, η ζωή κούρασης των φύλλων πλαστικού στην τελευταία περίπτωση είναι πίο περίπλοκη από αυτός ομοιοκατευθυνόμενων, οι οποίοι θα απαιτήσουν επίσης περισσότερα στοιχεία κατάρτισης για να διδάξουν το νευρικό δίκτυο για να καταλάβουν ακριβώς τις σχέσεις πίσω. Εντούτοις, η παράμετρος σύνθεσης φαίνεται να επηρεάζει τις αποδόσεις των πολυμερών σύνθετων έντονα. Αυτό μπορεί, επιπλέον, να παρατηρηθεί σαφώς από την πρόβλεψη ένδυσης του σχεδίου 5. Για να περιλάβουν το περιεχόμενο σύνθεσης των σύντομων σύνθετων ινών ως εισαγωγή οι παράμετροι αυξάνουν την προφητική ποιότητα σημαντικά, η οποία το καθιστά σαφές ότι η επιλογή της παραμέτρου εισαγωγής διαδραματίζει έναν βασικό ρόλο στην προσέγγιση ANN.

4.2. αριθμός νευρώνων στο κρυμμένο στρώμα

Ο ισχυρός ρόλος μιας ANN οφείλεται στους νευρώνες μέσα στα κρυμμένα στρώματα, καθώς επίσης και στις σχετικές διασυνδέσεις. Θεωρείται ότι μια ANN μπορεί να αντιπροσωπεύσει οποιαδήποτε λογική σχέση μεταξύ της εισαγωγής και της παραγωγής εάν τα κρυμμένα στρώματα έχουν αρκετούς νευρώνες. Εντούτοις, για την πρακτική περίπτωση, περισσότεροι κρυμμένοι νευρώνες φέρνουν περισσότερες διασυνδέσεις, οι οποίες απαιτούν, στη συνέχεια, τα μεγαλύτερα σύνολα δεδομένων κατάρτισης για την εκμάθηση των σχέσεων. Είναι επομένως πάντα απαραίτητο να βελτιστοποιηθούν οι αριθμοί και οι διαμορφώσεις των κρυμμένων ANN στρωμάτων, όπως καταδεικνύεται από αρκετές από τις αναφορές σε αυτήν την αναθεώρηση. Μερικά πειραματικά αποτελέσματα έχουν προτείνει ότι η βέλτιστη αρχιτεκτονική ANN περιέχει μια αναλογία τριών [8] ή τεσσάρων [10] κρυμμένων νευρώνων σε κάθε κόμβο εισαγωγής των δικτύων με ένα κρυμμένο στρώμα. Εντούτοις, ένα πολυ-κρύβω-στρώμα ANN είναι μερικές φορές επίσης μεγάλου πλεονεκτήματος [17.22.26]. Η Μπεϋζιανή συστηματοποίηση προσφέρει την ικανότητα να προσδιοριστεί αυτόματα το βέλτιστο μέγεθος της ANN στο κρυμμένο στρώμα της.

Ένα περαιτέρω σημείο είναι ενδιαφέρον. Μια πολύ απλή διαμόρφωση ANN υιοθετήθηκε για να προβλέψει τη λειαντική απόδοση ένδυσης των πολυ-στρωμάτων TiN/Al₂O₃/NbN από Rutherford et al [21]. Ένα 8-[3]λ ANN επιλέχθηκε για την πρόβλεψη



η αντοχή και ένα 8-[6]λ ANN για τη σκληρότητα, βάσιαν σε μια αρχική βάση δεδομένων 42 ντύοντας τα συστήματα. Οι λεπτομέρειες για τη μέθοδο αξιολόγησης δεν περιλήφθηκαν σε αυτήν την δημοσίευση. Για να αναλύσουν την επίδραση, οι κριτικοί προσπάθησαν επίσης να χρησιμοποιήσουν μια τέτοια απλή διαμόρφωση, δηλ. 9-[4]1, με το σύνολο δεδομένων που αναφέρθηκε στην παρ. [17] για να προβλέψει το συγκεκριμένο ποσοστό ένδυσης. Στην πραγματικότητα, αυτή η διαμόρφωση έδωσε μερικές φορές τα καλά αποτελέσματα παραγωγής με μια υψηλή προφητική ποιότητα, δηλ. περίπου 40% των στοιχείων δοκιμής με τις 5-αξίες στη σειρά 0.9-1.0. Εντούτοις, η σταθερότητα δεν ήταν καλή, που σημαίνει ότι όταν επιλέχθηκε η τυχαία επιλογή των συνόλων δεδομένων δοκιμής τυχαία 50 φορές, η ποιότητα θα μπορούσε μερικές φορές να είναι πολύ φτωχή. Αφ' ετέρου, αυτό δεν ισχύει για τη διαμόρφωση ANN τριών κρυμμένων στρωμάτων [17], στην οποία οι διανομές β είναι πολύ σταθερές και μιας υψηλής προφητικής ποιότητας. Ο λόγος για την αστάθεια της απλής διαμόρφωσης ANN δεν είναι σαφής, αλλά κάποια πρέπει πάντα να θεωρήσει ότι μια ANN εμπνέεται από το βιολογικό νευρικό σύστημά μας. Στα ανθρώπινα όντα, κάποιος μπορεί να μάθει πολύ γρήγορα και να φθάσει στη σωστή λύση ακόμη και με μόνο λίγες πληροφορίες. Εντούτοις, αυτή η απλή νευρική διαμόρφωση δικτύων προσφέρει μια επιλογή με τον αρκετά σύντομο χρόνο υπολογισμού και ένα σχετικό μικρό σύνολο δεδομένων κατάρτισης, οι οποίοι θα είναι βεβαίως χρήσιμοι για την πρόβλεψη on-line να ελέγξουν των πολύ απλούστερων σχέσεων στις πρακτικές εφαρμογές. Μια παρόμοια αρχιτεκτονική έχει χρησιμοποιηθεί επίσης στην παρ. [24] για να προβλέψει τις παραμέτρους ελέγχου στην κατασκευή των ινών πολυπροπυλενίου.

4.3. Μέγεθος του συνόλου δεδομένων κατάρτισης

Το μέγεθος του συνόλου δεδομένων κατάρτισης είναι μια πολύ ευαίσθητη ερώτηση στις πρακτικές εφαρμογές. Για να μειώσει τον αριθμό των στοιχείων που απαιτούνται, πολλή προσπάθεια έχει καταβληθεί να ερευνηθεί τις επιρροές του διάφορου ANN -

και εισαγμένες παράμετροι. Εντούτοις, κάποιος πρέπει πάντα να θεωρήσει ότι το χαρακτηριστικό της

προσέγγισης ANN είναι να μιμηθούν οι σύνθετες μη γραμμικές σχέσεις μεταξύ των δεδομένων δεδομένων εισαγωγής και εξόδου, βασισμένων στα διάφορα ποσά μετρημένων συνόλων δεδομένων. Επομένως, τα στοιχεία που απαιτούνται για την κατάρτιση πρέπει επίσης να εξαρτηθούν από τις σχέσεις μιμούμενες. Το σχέδιο 12 παρουσιάζει μια σύγκριση των προφητικών ιδιοτήτων των διάφορων μηχανικών ιδιοτήτων ως αποτελέσματα ANN. Το σύνολο δεδομένων είναι το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιείται στην παρ. [17], δηλ. μόνο οι υλικές συνθέσεις και η μέτρηση των όρων χρησιμοποιήθηκαν ως εισαγωγή. Η Μπειζιανή συστηματοποίηση χρησιμοποιείται σε όλους αυτούς τους υπολογισμούς, με μια αρχιτεκτονική ένας-κρύβω-στρώματος 25 νευρώνων. Μπορεί ότι η εκτατή δύναμη και ο σύνθετος συντελεστής μπορούν μάλλον εύκολα να μιμηθούν, δεδομένου ότι λιγότεροι από 70 στοιχεία κατάρτισης απαιτήθηκαν για να φθάσουν σε μια υψηλή ποιότητα 100% για τα στοιχεία δοκιμής με ένα 5^0.9. Εντούτοις, για να επιτύχουν μια παρόμοια προφητική ποιότητα, η εκτατή πίεση αποτυχίας και η δύναμη αντίκτυπου απαιτούν περίπου 90 στοιχεία για να εκπαιδεύσουν ένα ομοίως δομημένο νευρικό δίκτυο. Η πιο περίπλοκη περίπτωση βρέθηκε για το συγκεκριμένο ποσοστό ένδυσης. 88 τα στοιχεία κατάρτισης θα μπορούσαν μόνο να παραγάγουν μια ποιότητα 38% των στοιχείων β δοκιμής - αξία για να είναι υψηλότερα από 0,9, και επομένως τα μετρημένα στοιχεία απαιτήθηκαν ακόμα για να μιμηθούν τις ιδιότητες ένδυσης στην παρούσα περίπτωση ακριβέστερα. Είναι σαφές ότι η στατική δύναμη και ο συντελεστής έχουν μια στενότερη σχέση με την υλική σύνθεση, δεδομένου ότι αυτές οι ιδιότητες μπορούν να προβλεφθούν θεωρητικά σύμφωνα με τον κανόνα των μιγμάτων. Οι σχέσεις της εκτατών πίεσης αποτυχίας και της δύναμης αντίκτυπου στις παραμέτρους εισαγωγής είναι πιο σύνθετες, και η ένδυση είναι αναμφισβήτητα η πιο περίπλοκη. Η ανάλυση δείχνει ότι ο αριθμός στοιχείων κατάρτισης διαδραματίζει έναν βασικό ρόλο στον καθορισμό της προφητικής ποιότητας ANN. Μπορεί να συναχθεί το συμπέρασμα ότι ο πιο σύνθετος η μη γραμμική σχέση μεταξύ της εισαγωγής και της παραγωγής είναι, ο μεγαλύτερος είναι το σύνολο δεδομένων κατάρτισης που απαιτείται. Γενικά θεωρείται ότι αυτά τα νευρικά δίκτυα είναι σε θέση να προσεγγίσουν οποιαδήποτε λογική λειτουργία με αρκετές παραμέτρους. Μπορεί επομένως να αναμένεται ότι στις περισσότερες περιπτώσεις των ιδιοτήτων των πολυμερών σύνθετων, μια τέλεια πρόβλεψη ANN μπορεί να επιτευχθεί εφ' όσον τα ικανοποιητικά μετρώντας στοιχεία είναι διαθέσιμα.

5. Συμπεράσματα

Εξελιγμένοι από τις νευρο-βιολογικές ιδέες, η νευρική προσέγγιση δικτύων δίνει σε ένα συγκρότημα ηλεκτρονικών υπολογιστών μια καταπληκτική ικανότητα να μάθει πραγματικά από τα δεδομένα εισόδου. Μια ANN είναι ιδανικά ταιριασμένη για τη μίμηση των σύνθετων πολυμερών σύνθετων προβλημάτων επειδή, όπως τα βιολογικά αντίστοιχά του, μπορεί να μάθει, και επομένως μπορεί να εκπαιδευθεί να βρεθούν οι λύσεις. Σε αντίθεση με τις κλασικές προσεγγίσεις στη σύνθετη διαμόρφωση, τα νευρικά δίκτυα δεν απαιτούν καμία ρητή μηχανιστική πρότυπη ή περιοριστική υπόθεση της κανονικότητας ή γραμμικός

Τα ακόλουθα συμπεράσματα μπορούν, επομένως, να προέλθουν από την παρούσα αναθεώρηση:

σύνθετο σχέδιο: Είναι ιδανικό στο πολυμερές σύνθετο σχέδιο όταν μόνο χρησιμεύουν οι υλικές συνθέσεις και οι εξεταστικοί όροι ως τα δεδομένα εισόδου ANN. Μια καλά εκπαιδευμένη ANN αναμένεται για να είναι πολύ χρήσιμη να προβλέψει τις υλικές ιδιότητες πριν κατασκευάζει/εξετάζει τα πραγματικά σύνθετα. βελτιστοποίηση επεξεργασίας: Υπάρχουν πολλές παράμετροι στις διαδικασίες κατασκευής που ελέγχουν τις τελικές ιδιότητες των πολυμερών σύνθετων. Τα ANNs θα μπορούσαν να βοηθήσουν για να μιμηθούν τις σχέσεις μεταξύ αυτών των παραμέτρων κατασκευής και της υλικής απόδοσης, οι οποίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως βάση για μια βασισμένη σε υπολογιστή βελτιστοποίηση επεξεργασίας.

ανάλυση ιδιοκτησίας: Η ανάλυση των σχέσεων μεταξύ μερικών απλών ιδιοτήτων και άλλων σύνθετων ιδιοτήτων (π.χ. η ταξινόμηση σπουδαιότητας στην παρ. [19]) θα είναι πρόσθετης βοήθειας στο σχέδιο των νέων σύνθετων υλικών. Οι απλές ιδιότητες είναι κανονικά ευκολότερες να λάβουν από σύνθετες, και επομένως η επιτυχής πρόβλεψη θα μπορούσε να ωφελήσει για να μειώσει τον αριθμό πιο σύνθετων πειραμάτων.

μέγεθος του συνόλου δεδομένων κατάρτισης: Ο απαραίτητος αριθμός στοιχείων κατάρτισης μπορεί να μειωθεί με τη βελτιστοποίηση της νευρικής δικτυακής αρχιτεκτονικής και με την επιλογή των κατάλληλων παραμέτρων εισαγωγής. Εντούτοις, ο πιο σύνθετος η μη γραμμική σχέση μεταξύ της εισαγωγής και της παραγωγής είναι, τα στοιχεία κατάρτισης απαιτούνται.

Οι εφαρμογές ANNs στα πολυμερή σύνθετα είναι ακόμα στα βασικά στάδιά τους, το οποίο σημαίνει ότι οι έρευνες για τις δυνατότητες εφαρμογής των διαφορετικών υλικών ερευνητικών τομέων και οι βελτιώσεις των προφητικών ιδιοτήτων είναι ακόμα θέματα για την περαιτέρω έρευνα. Είναι μια πρόθεση της παρούσας αναθεώρησης να προωθηθεί η ευρεία εκτίμηση της χρήσης της τεχνητής νευρικής προσέγγισης

δικτύων στην έρευνα πολυμερών σύνθετων.

Διαμόρφωση της μηχανικής συμπεριφοράς των ίνα-ενισχυμένων πολυμερών σύνθετων υλικών που χρησιμοποιούν την τεχνητή νευρική αναθεώρηση networksA

Περίληψη

Τα τεχνητά νευρικά δίκτυα (ANN) έννοιες έχουν προκύψει ως μια από τις χρήσιμες τεχνητής νοημοσύνης που χρησιμοποιούνται στις διάφορες εφαρμογές εφαρμοσμένης μηχανικής. Λόγω της μαζικά παράλληλων δομής και της δυνατότητάς τους να μάθουν από το παράδειγμα, ANN μπορεί να εξετάσει τη μη γραμμική διαμόρφωση για την οποία μια ακριβής αναλυτική λύση είναι δύσκολο να ληφθεί. ANN έχει χρησιμοποιηθεί ήδη στις ιατρικές εφαρμογές, την αναγνώριση εικόνας και λόγου, την ταξινόμηση και τον έλεγχο των δυναμικών συστημάτων, μεταξύ των άλλων αλλά μόνο πρόσφατα έχουν χρησιμοποιηθεί στη διαμόρφωση της μηχανικής συμπεριφοράς των ίνα-ενισχυμένων σύνθετων υλικών.

Αυτή η εργασία είναι μια προσπάθεια να απεικονίσει στην εργασία που γίνεται στη μηχανική διαμόρφωση των ίνα-ενισχυμένων σύνθετων υλικών που χρησιμοποιούν ANN κατά τη διάρκεια της τελευταίας δεκαετίας © το 2005 Elsevier Ltd. Τα δικαιώματα που διατηρούνται όλα.

1. Εισαγωγή

Το σχέδιο των δομών και των συστατικών που χρησιμοποιούν τα πρόσφατα αναπτυγμένα σύνθετα υλικά απαιτεί συνήθως τα εκτενή (και ακριβά) εξεταστικά προγράμματα. Ιδανικά, ο σχεδιαστής πρέπει να είναι σε θέση να αξιολογήσει ακριβώς την απόδοση ενός νέου υλικού ή ενός υπάρχοντος υλικού υπό τους μη δοκιμασμένους όρους χρησιμοποιώντας μια σχετικά μικρή βάση δεδομένων της δοκιμής results. Για αυτές τις καταστάσεις όταν είναι δύσκολο να βρεθεί μια ακριβής μαθηματικός-βασισμένη λύση και το υπάρχον στοιχείο είναι ελλιπές, θορυβώδες ή σύνθετος, το βιολογικά-παρακινημένο παράδειγμα υπολογισμού των τεχνητών νευρικών networks (ANN) έχει προκύψει ως ανώτερο εργαλείο διαμόρφωσης.

Οι ερευνητές υπολογίζουν ότι υπάρχουν 100 δισεκατομμύριο neurons στον ανθρώπινο εγκεφαλικό φλοιό.

[1]. Ο νευρώνας (νεύρο κύτταρο), που παρουσιάζεται στο σχέδιο 1, είναι η θεμελιώδης μονάδα του nervous συστήματος. Είναι μια απλή μονάδα επεξεργασίας που λαμβάνει και συνδυάζει τα σήματα από πολλούς άλλους νευρώνες. Όταν διεγείρεται επάνω από ένα ορισμένο επίπεδο κατώτατων ορίων, οι πυρκαγιές νευρώνων δηλαδή διαβιβάζει ένα ηλεκτροχημικό σήμα.

Η βιολογική λειτουργία συστημάτων είναι βασισμένη στα interconnections των νευρώνων. Το μόνο γεγονός ότι το βασικό computing στοιχείο του ανθρώπινου συστήματος επεξεργασίας πληροφοριών είναι σχετικά αργό ακόμα το γενικό operation επεξεργασίας επιτυγχάνεται σε μερικές εκατοντάδες χιλιοστά του δευτερολέπτου προτείνει ότι η βάση του βιολογικού υπολογισμού είναι ένα μικρό APIΘMO των τμηματικών βημάτων, κάθε ένα που εμφανίζεται σε μια ογκώδη παράλληλη κλίμακα. Σε αυτήν την εγγενώς παράλληλη αρχιτεκτονική, κάθε ένα από τα στοιχεία επεξεργασίας συνδέεται τοπικά και σχετικά απλώς. Ως εκ τούτου εάν κατορθώνουμε να χτίσουμε ένα τεχνητό νευρικό δίκτυο που μιμείται τον ανθρώπινο εγκέφαλο, ακόμη και κατά μόνο 0,1% επεξεργασίας συνδέεται τοπικά και σχετικά απλώς. Ως εκ τούτου εάν κατορθώνουμε να χτίσουμε ένα τεχνητό νευρικό δίκτυο που μιμείται τον ανθρώπινο εγκέφαλο, ακόμη και κατά μόνο 0,1% της απόδοσής του, θα έχουμε ακόμα μια ΑΠΣΤΕΥΤΗ μηχανή επεξεργασίας και ελέγχου πληροφοριών

Τεχνητά νευρικά δίκτυα

ANN μπορεί γενικά να είναι όπως μια δομή διάφορων διασυνδεδεμένων μονάδων [2]. Κάθε μονάδα έχει ένα χαρακτηριστικό εισαγωγής/παραγωγής (I/O) και εφαρμόζει έναν τοπική υπολογισμό ή μια λειτουργία. Η παραγωγή κάθε μονάδας καθορίζεται από το I/O χαρακτηριστικό της, το interconnection της σε άλλες μονάδες και (ενδεχομένως) εξωτερικές εισαγωγές, και την εσωτερική λειτουργία της. Το δίκτυο αναπτύσσει συνήθως μια γενική λειτουργία μέσω μιας ή περισσότερων μορφών κατάρτισης. Η θεμελιώδης μονάδα ή δομική η μονάδα της ANN καλείται τεχνητό νευρώνα (αποκαλούμενο νευρώνα από εδώ επάνω) [1]. Ο νευρώνας έχει ένα σύνολο εισαγωγών (JKj) που σταθμίζονται πριν φθάνει στο κύριο σώμα του element επεξεργασίας. Επιπλέον, έχει έναν προκατελημμένο

όρο, μια αξία κατώτατων ορίων που πρέπει να επιτευχθεί ή να ξεπεραστεί για το νευρώνα για να παραγάγει ένα σήμα, μια λειτουργία μη γραμμικότητας () εκείνες οι πράξεις στο παραχθέν σήμα (R), και μια παραγωγή (Oj). Το βασικό πρότυπο ενός νευρώνα είναι διευκρινισμένο στο σχέδιο 2.

Η εκμάθηση είναι η διαδικασία από την οποία το νευρικό δίκτυο προσαρμόζεται σε ένα ερέθισμα και τελικά (μετά από να διενεργήσει τις κατάλληλες προσαρμογές με τη ρύθμιση των συναπτικών βαρών του) παράγει την επιθυμητή απάντηση. Οι δύο σημαντικές κατηγορίες εκμάθησης σε ANN είναι εποπτευμένη

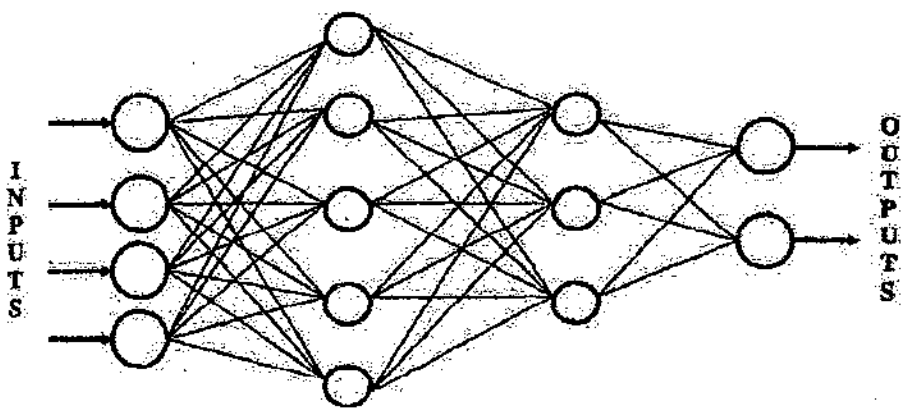
και η ανεπίβλεπτη. Στην εποπτευμένη εκμάθηση, η απάντηση παραγωγής συγκρίνεται με μια επιθυμητή απάντηση στόχων. Εάν η πραγματική απάντηση διαφέρει από την απάντηση στόχων, το δίκτυο παράγει ένα σήμα λάθους, το οποίο χρησιμοποιείται έπειτα για να υπολογίσει τη ρύθμιση που πρέπει να γίνει στα συναπτικά βάρη, έτσι ώστε η πραγματική παραγωγή ταιριάζει με την παραγωγή στόχων. Αντίθετα, η ανεπίβλεπτη εκμάθηση δεν απαιτεί μια παραγωγή στόχων. Κατά τη διάρκεια της περιόδου άσκησης, δεδομένου ότι το νευρικό δίκτυο λαμβάνει τις διεγέρσεις ή τα σχέδια εισαγωγής, αυθαίρετος τους οργανώνει στις κατηγορίες. Όταν ένα σήμα εφαρμόζεται αργότερα, το δίκτυο παρέχει μια ΑΠΑΝΤΗΣΗ δείχνοντας την κατηγορία στην οποία το ερέθισμα ανήκει. Εάν μια κατηγορία δεν μπορεί να βρεθεί για τμήμα εισαγωγής, μια νέα κατηγορία παράγεται.

4. Τεχνητή νευρική δικτυακή αρχιτεκτονική

ANN αποτελείται γενικά από διάφορα στρώματα: το στρώμα όπου τα σχέδια εισαγωγής εφαρμόζονται καλείται στρώμα εισαγωγής, το στρώμα όπου η παραγωγή λαμβάνεται είναι το στρώμα παραγωγής, και τα στρώματα μεταξύ των στρωμάτων εισαγωγής και παραγωγής είναι τα κρυμμένα στρώματα (σχέδιο 3). Μπορούν να υπάρξουν ένα ή περισσότερα κρυμμένα στρώματα, τα οποία ονομάζονται έτσι because τα αποτελέσματά τους δεν είναι άμεσα αισθητά. Η προσθήκη των κρυμμένων στρωμάτων επιτρέπει στο δίκτυο για να εξαγάγει τις στατιστικές υψηλός-διαταγής που είναι ιδιαίτερα πολύτιμες όταν το μέγεθος του στρώματος εισαγωγής είναι μεγάλο [3]. Οι νευρώνες σε κάθε στρώμα πλήρως ή μερικώς διασυνδέονται επόμενους νευρώνες στρώματος με κάθε συνδεση που έχει μια σχετική δύναμη σύνδεσης (ή το βάρος). Το σήμα εισαγωγής διαδίδει μέσω του network σε μια μπροστινή κατεύθυνση, σε μια βάση στρώμα-από-στρώματος. Αυτά τα δίκτυα αναφέρονται συνήθως ως πολυστρωματικά. Πολλές δημοσιεύσεις συζητούν την ανάπτυξη και τη θεωρία ANN (βλ. παραδείγματος χάριν [1-12]).

Ο back-propagation αλγόριθμος κατάρτισης [1.2] χρησιμοποιείται συνήθως για να ελαχιστοποιήσει iteratively την ακόλουθη συνάρτηση κόστους όσον αφορά τα βάρη διασύνδεσης και τα κατώτατα όρια νευρώνων

όπου το π είναι ο αριθμός τα σχέδια εισαγωγής κατάρτισης/παραγωγής και το ν είναι ο αριθμός κόμβων παραγωγής. το δ και θ , Το ποσοστό εκμάθησης καθορίζει ποιο ποσό της υπολογισμένης ευαισθησίας λάθους στην αλλαγή βάρους θα χρησιμοποιηθεί για τη διόρθωση βάρους. Έχει επιπτώσεις στην ταχύτητα σύγκλισης και τη σταθερότητα των βαρών ρ η εκμάθηση. Η "καλύτερη" αξία του ποσοστού εκμάθησης εξαρτάται στα χαρακτηριστικά της επιφάνειας λάθους. Για τις γρήγορα μεταβαλλόμενες επιφάνειες, ένα μικρότερο ποσοστό είναι επιθυμητό ενώ για τις ομαλές επιφάνειες, μια μεγαλύτερη αξία του ποσοστού εκμάθησης θα επιταχύνει τη σύγκλιση. Η ορμή (συνήθως μεταξύ 0,1 και 1) λειαιίνει το βάρος



Εισαγωγής στρώμα παραγωγής στρώματος πρώτα κρυμμένο δεύτερο

Κρυμμένο στρώμα στρώμα

Σχέδιο γενική διαμόρφωση 3. ενός τεχνητού νευρικού δικτύου.

η ενημέρωση και αποτρέπει τις ταλαντώσεις στο σύστημα και βοηθά το σύστημα να δραπετεύσει τα τοπικά ελάχιστα στην κατάρτιση με να καταστήσει το σύστημα λιγότερο ευαίσθητο στις τοπικές αλλαγές. Πολύς ως ποσοστό εκμάθησης, η σταθερή "καλύτερη" αξία ορμής είναι επίσης ιδιαίτερος στα συγκεκριμένα περιγράμματα επιφάνειας λάθους.

Η διαδικασία κατάρτισης είναι ολοκληρωμένο είτε όταν φθάσουν το μέσος-τετραγωνικός-λάθος (MSE), το ρίζα-μέσος-τετραγωνικός-λάθος (RMSE), ή το ομαλοποιώ-μέσος-τετραγωνικός-λάθος (NMSE), μεταξύ

των παρατηρηθέντων στοιχείων και των εκβάσεων ANN για όλα τα στοιχεία στο σύνολο κατάρτισης α προ-σπεθη- το κατώτατο όριο είτε μετά από την ολοκλήρωση ενός προ-διευκρινισμένου αριθμού εκμάθησης των εποχών.

Αν και όλα τα νευρικά πρότυπα δικτύων μοιράζονται τα κοινά λειτουργικά χαρακτηριστικά γνωρίσματα, οι απαιτήσεις εισαγωγής και οι δυνατότητες διαμόρφωσης και γενίκευσης είναι διαφορετικές. Συνεπώς, κάθε παράδειγμα θα είχε τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα ανάλογα με την ιδιαίτερη εφαρμογή και η κατάλληλη κατηγορία δικτύων με τις κατάλληλες παραμέτρους είναι ζωτικής σημασίας να εξασφαλίσει μια επιτυχή εφαρμογή. Οι ακόλουθες νευρικές κατηγορίες δικτύων έχουν χρησιμοποιηθεί στη διαμόρφωση και την προσομοίωση των ίνα-ενισχυμένων συνθετων υλικών:

Μορφωματικά νευρικά δίκτυα (MNN): Η κεντρική ιδέα πίσω από τέτοια δίκτυα είναι αποσύνθεση στόχου [2-5]. Χρησιμοποιώντας ένα MNN, ο στόχος είναι χωρισμένος μεταξύ διάφορων τοπικών νευρικών δικτύων (υποδίκτυα) μην επικοινωνώντας ο ένας με τον άλλον. Η απαίτηση γενίκευσης για κάθε νευρικό δίκτυο μειώνεται σε σύγκριση με μια ενιαία ANN που πρέπει να μάθει τον ολόκληρο στόχο. Το ελκυστικότερο σημείο της αρχιτεκτονικής MNN είναι ότι οι διαφορετικοί εμπειρογνώμονες χειρίζονται τα διαφορετικά μέρη των στοιχείων. Ένα gaining δίκτυο καθορίζει τη συμβολή κάθε υποδικτύου στη συνολική παραγωγή επίσης ποια σειρά του διαστήματος εισαγωγής κάθε δίκτυο πρέπει να μάθει.

Αυτοοργανωμένοι χάρτες χαρακτηριστικών γνωρισμάτων (SOFM): Το SOFM είναι ένας αλγόριθμος συγκέντρωσης [13] που δημιουργεί έναν χάρτη των σχέσεων μεταξύ των σχεδίων εισαγωγής. Ο χάρτης είναι μειωμένη αντιπροσώπηση των αρχικών στοιχείων. Έχει ένα ενιαίο στρώμα των κόμβων και χρησιμοποιεί μια απόσταση μετρική για να βρεί τον κόμβο παραγωγής σε ένα δεδομένο σχέδιο εισαγωγής. Οι κόμβοι παραγωγής SOFM δεν αντιστοιχούν στις γνωστές κατηγορίες αλλά στις αγνωστες συστάδες που το SOFM βρίσκει στα στοιχεία αυτοματα. Κατά τη διάρκεια της κατάρτισης, το SOFM βρίσκει τον κόμβο παραγωγής που έχει τη λιγότερη απόσταση από την κατάρτιση pattern. Αυτός έπειτα αλλάζω ο κόμβος βάρος να αυξάνω ο ομοιότητα ο εκπαιδευώ σχέδιο, και αυτός επηρεάζω ο βάρος ο γειτονικός κόμβος ακόμα κι αν αυτός έχω μόνο τυχαίος σχέση ο εκπαιδευώ σχέδιο. Τα σχέδια Different προκαλούν τους διαφορετικούς νικητές που επηρεάζουν τους διαφορετικούς γείτονες. Η γενική επίδραση είναι να κινηθούν οι κόμβοι output προς τις θέσεις που χαρτογραφούν τη διανομή των σχεδίων κατάρτισης. Μετά από να εκπαιδεύσουν, τα βάρη κάθε κόμβου διαμορφώνουν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που χαρακτηρίζουν μια συστάδα στα στοιχεία.

Ακτινωτά δίκτυα λειτουργίας βάσης (RBF): Το RBF είναι μια ταξινόμηση και ένα λειτουργικό παράδειγμα προσέγγισης που αναπτύσσονται από Powell [14]. Αυτά τα δίκτυα είναι μη γραμμικά υβριδικά δίκτυα που περιέχουν συνήθως ένα ενιαίο κρυμμένο στρώμα. Τα κέντρα και τα πλάτη των λειτουργιών ενεργοποίησης λαμβάνονται με την ανεπιβλεπτή εκμάθηση ενώ η εποπτευμένη εκμάθηση χρησιμοποιείται για να ενημερώσει τα βάρη σύνδεσης τα κρυμμένα και στρώματα παραγωγής. Υποστηρίζεται ότι αυτά τα δίκτυα μαθαίνουν γρηγορότερα από το MLP και χρειάζονται το λιγότερο αριθμό στοιχείων κατάρτισης, οι ικανότητες γενίκευσής τους είναι εντούτοις περιορισμένες [2.4].

Δίκτυα ανάλυσης κύριων τμημάτων (pca): Pca περιλαμβάνει μια μαθηματική διαδικασία που μετασχηματίζει διάφορες (ενδεχομένως) συσχετισμένες μεταβλητές σε έναν αριθμό ασύνδετων μεταβλητών αποκαλούμενων κύρια συστατικά. Το πρώτο κύριο συστατικό αποτελεί όσο το δυνατόν περισσότερο της μεταβλητότητας στα στοιχεία, και απολογισμούς κάθε τους πετυχαίνοντας συστατικών για όσο το δυνατόν περισσότερο της υπόλοιπης μεταβλητότητας

Μετά από να λάβει τα pca τμήματα, το εποπτευμένο τμήμα του network εκτελεί τη μη γραμμική διαμόρφωση χρησιμοποιώντας τη κλασσική ανατροφοδοτική μέθοδο.

4. Διαμόρφωση των ίνα-ενισχυμένων πολυμερών σύνθετων

ANN έχει χρησιμοποιηθεί πρόσφατα στην παρακολούθηση και τη διαμόρφωση της κατασκευής και του μηχανικού behavior των ίνα-ενισχυμένων σύνθετων. Μια πολύ καλή πρόσφατη εργασία αναθεώρησης από Zhang και το Friedrich [15] εξέτασε τις διάφορες αιτήσεις ANN στα πολυμερή σύνθετα, τα πολυμερή σώματα, τα μέταλλα καθώς επίσης και άλλα υλικά. Η χρήση ANN στη βελτιστοποίηση διαδικασίας κατασκευής (βλ. παραδείγματος χάριν, [16-19]) συζητείται επίσης στην αναθεώρηση από Zhang και το Friedrich. Μια άλλη εργασία άξια εδώ είναι αυτή Hajela [20] στην εργασία του, η χρησιμοποίηση ANN στον τομέα του διεπιστημονικού αεροδιαστημικού design συνοψίζεται. Η τρέχουσα εργασία είναι μια συγκεντρωμένη προσπάθεια απευθύνοντας μόνο τις αιτήσεις ANN στις μηχανικές ιδιότητες των ίνα-ενισχυμένων πολυμερών σύνθετων. Επιπλέον, μια συνοπτική αναθεώρηση της εργασίας που γίνεται χρησιμοποιώντας τα συγκεκριμένα τεχνητά νευρικά δίκτυα εισάγεται.

4.1. Στατική συμπεριφορά

Ένα από τα πρώτα έγγραφα που εξετάζουν τη διαμόρφωση των σύνθετων που χρησιμοποιούν ANN είναι Pidaparti και Palakal [21]. Ένα back-propagation νευρικό δίκτυο αναπτύχθηκε για την πρόβλεψη της μη γραμμικής stress-strain συμπεριφοράς (± 9) των από γραφίτη-εποξικών φύλλων πλαστικού. Το δίκτυο έχει ένα στρώμα input με τρεις κόμβους, δύο μέσα στρώματα, και ένα στρώμα παραγωγής με έναν κόμβο. Η διαδικασία περιέλαβε τις γνωστές ίνα-γωνίες, τις αρχικές και επαυξητικές πιέσεις για τις οποίες το εκπαιδευμένο δίκτυο θα προβλέψει τη συνολική πίεση. Μια sigmoid λειτουργία μεταφοράς με έναν συντελεστή εκμάθησης 0,7 και ένας όρος ορμής 0,85 χρησιμοποιήθηκαν στον αλγόριθμο εκμάθησης. Το σύνολο στοιχείων κατάρτισης αποτελέστηκε από 959 σημεία στοιχείων.

Το δίκτυο εκπαιδεύθηκε με την ίνα-γωνία $0^\circ, 25^\circ, 35^\circ, 45^\circ, 55^\circ, 60^\circ$, και 90° για 25.000 επαναλήψεις. Το δίκτυο εξετάστηκε έπειτα με την ίνα-γωνία 15 ..20 ..30 ..40 ..50, και 75 αφότου έχει ολοκληρωθεί η φάση κατάρτισης. Τέσσερις διαφορετικές νευρικές διαμορφώσεις δικτύων που έχουν 17 ..21 ..25, και 29 νευρώνες σε κάθε κρυμμένο στρώμα μελετήθηκαν. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι, γενικός, (3-17-17-1) και (3-25-25-1) τα δίκτυα πρόβλεψαν εύλογα

καλά για όλες τις ίνα-γωνίες εξεταζόμενες. Είναι ενδιαφέρον να σημειωθεί ότι η stress-strain αλλαγή συμπεριφοράς από j_{CH_to} ($0 < j_{CH_to}$ που μαλακώνει ($6 > 20^\circ$) ήταν επίσης προβλεφθέν BV το νευρικό δίκτυο.

Το Grimaldi et το Al [22.23] χρησιμοποίησαν ANN για την αποζημίωση θερμοκρασίας των μετρητών πίεσης που χρησιμοποιήθηκαν για να μετρήσουν την απάντηση πίεσης των σύνθετων που υποβλήθηκαν στα μηχανικά και θερμικά φορτία. ανατροφοδότηση τα δίκτυα με το ένα το στρώμα και back-propagation ο αλγόριθμος εκμάθησης χρησιμοποιήθηκε. Τα πειράματα πραγματοποιήθηκαν επάνω τα glass-epoxy σύνθετα.. Το στοιχείο output ήταν το φορτίο που λήφθηκε χαρακτηριστικά από το αναλυτικό πρότυπο του υλικού μόλις είναι γνωστή η πίεση. Η ANN αποδείχθηκε για να δώσει τα ακριβή predictions των φορτίων συνεπεία να είσαι σε θέση στο compensate για οποιοδήποτε λάθος ευθυγράμμισης μεταξύ του μετρητή πίεσης και των υλικών ινών καθώς επίσης και οποιοδήποτε λάθος βαθμολόγησης ως αποτέλεσμα του γεγονότος ότι οι μετρητές πίεσης είναι usually βαθμολογημένοι χρησιμοποιώντας τα ισοτροπικά υλικά.

Σε μια ακόλουθη εργασία, Olivito [24] επανέλαβε τα παρόμοια αποτελέσματα για ένα σύνθετο υφασμάτων άνθρακα. Χρησιμοποιώντας 104 ζεύγη των σημείων δεδομένων εισαγωγής και εξόδου, που εκπαιδεύθηκαν για 300 εποχές, έδειξε ότι χρησιμοποιώντας την αποζημίωση που πραγματοποιείται από ANN, είναι δυνατό να καταρροστούν οι καμπύλες φορτίο-πίεσης (που διασκορπίζονται αρχικά για τις διάφορες θερμοκρασίες) σε μια καμπύλη που παρουσιάζει αληθινή τάση φορτίο-πίεσης του υλικού. Αξίζει να ειπωθεί ότι η θερμοκρασία είναι ανεξάρτητη από το υλικό της δοκιμασμένης δομής και εξαρτάται μόνο από τις θερμικές ιδιότητες του μετρητή πίεσης.

4.2. Συμπεριφορά κούρασης

4.2.1. Κούραση των ελασμάτων

Τρεις πρόσφατες μελέτες από Al-Assaf και την EL Kadi [27-29] ερευνήσαν την πρόβλεψη ζωής κούρασης των εποξικών ελασμάτων χρησιμοποιώντας ANN. Στην πρώτη μελέτη [27], η δυνατότητα ANN για να προβλέψει την αποτυχία κούρασης ερευνήθηκε. Σε αυτό το πειραματικό στοιχείο πίεση-ζωής εργασίας για τα ελάσματα με πέντε γωνίες προσανατολισμού ινών ($6 = 0^\circ, 19^\circ, 45^\circ, 71^\circ$ και 90°) που υποβάλλονται σε τρεις τιμές της αναλογίας πίεσης ($\rho = \square 1 \dots 0$ και 0.5) χρησιμοποιήθηκε για να διαμορφώσει την ANN. Μια παραλλαγή των συνδυασμών παραμέτρων εισαγωγής προσπαθήθηκε για να ελαχιστοποιήσει το RMSE αποκτηθέν μεγιστοποιώντας τον αντίστοιχο συντελεστή συσχετισμού. Αυτοί περιέλαβαν τη γωνία προσανατολισμού ινών, την ελάχιστη εφαρμοσμένη πίεση, τη μέγιστη εφαρμοσμένη πίεση, την αναλογία πίεσης, τη σειρά πίεσης και τη μέση πίεση. Τα καλύτερα predictions λήφθηκαν χρησιμοποιώντας τη γωνία προσανατολισμού ινών, την αναλογία πίεσης και τη μέγιστη πίεση ως εισαγωγές η παραγωγή που είναι ο αριθμός κύκλων στην αποτυχία (το σχέδιο 6). κανονικοποίηση χρησιμοποιήθηκε για την αναλογία πίεσης, την πίεση maximum, τις γωνίες προσανατολισμού ινών και το λογαριθμο του αριθμού κύκλων στην αποτυχία. Η επίδραση του αριθμού κρυμμένων στρωμάτων καθώς επίσης και του αριθμού νευρώνων ανά στρώμα ερευνήθηκε επίσης. Διαπιστώθηκε ότι ανατροφοδότηση ANN με ένα κρυμμένο στρώμα που περιέχει δώδεκα νευρώνες ήταν το πιο κατάλληλο εξετάζοντας την ακρίβεια των προβλέψεων αποκτηθεισών καθώς επίσης και η πολυπλοκότητα του δικτύου και επεκτείνεται απαιτουμένουσπολογισμούς

4.2.2. Κούραση των φύλλων πλαστικού

Όπως συνέβη στην προαναφερθείσα εργασία του πηδα- Parti και Palakal [21], back-propagation ANN χρησιμοποιήθηκε για να διαμορφώσει την κυκλική stress-strain συμπεριφορά (± 9) των από γραφίτη-εποξικών φύλλων πλαστικού. Η εισαγωγή στο νευρικό δίκτυο περιέλαβε την ίνα-γωνία, κυκλικό αριθμό ϵ , δείκτης (1 ή 0) για τη φόρτωση και unl , την πίεση και το φορτίο παραγωγής το δίκτυο είναι η συνολική πίεση. Ένα νευρικό δίκτυο με μια διαμόρφωση (4-17-17-1) υποβλήθηκε σε ένα σύνολο στοιχείων κατάρτισης που αποτελείται από 180 σημεία στοιχείων χρησιμοποιώντας τον ίδιο όρο συντελεστή και ορμής εκμάθησης values που χρησιμοποιήθηκε για τη μονοτονική περίπτωση. Τα ομαλοποιημένα experimental στοιχεία για $9 = 0^\circ, 30^\circ$, προσανατολισμός 50° χρησιμοποιήθηκαν στην κατάρτιση του νευρικού δικτύου. Το δίκτυο σύγκλιε σε περίπου 10.000 επαναλήψεις.

Η μελέτη δείχνει ότι ένα νευρικό δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για να αντιπροσωπεύσει την κυκλική stress-strain συμπεριφορά στα σύνθετα

Το Aymerich και Serra [32] χρησιμοποίησαν back-propagation ANN για να προβλέψουν τη δύναμη κούρασης APC2, ένας ασ4-γραφίτης σε έναν θερμοπλαστικό κρυφοκοιτάζει μήτρα με μια μέση περιεκτικότητα σε ίνες των φύλλων πλαστικού γωνία-πτυχών 63%, [± 9]4s (με $9 = 0^\circ, 15^\circ, 25^\circ, 35^\circ$ και 45°) καθώς επίσης και [0/90]4j και [- 22.5/22.5/-67.5/67.5][^] εξετάστηκαν σε μια αναλογία πίεσης 0,1. Οι ακολουθίες που εξετάστηκαν βεβαίωσαν ένα ευρύ φάσμα των τρόπων αποτυχίας που κυμαίνονται από μήτρα-εξουσιασμένη σε ίνα-εξουσιασμένη συμπεριφορά. Δύο ή τρεις εισαγμένες παράμετροι (στο νευρικό δίκτυο) χρησιμοποιήθηκαν: η πρώτη παράμετρος συνδέθηκε με τον αριθμό κύκλων στην αποτυχία ενώ οι υπόλοιπες παράμετροι προσδιόρισαν την ακολουθία

φύλλο πλαστικού η παραγωγή ήταν η δύναμη κούρασης. Προκειμένου να μειωθεί ο αριθμός parameters εισαγωγής, η φυλλόμορφη γεωμετρία προσδιορίστηκε από τις γωνίες συνόλου προσανατολισμού κάθε ζεύγους των ισοροπημένων στρωμάτων: μια ενιαία παράμετρος απαιτήθηκε για να προσδιορίσει [± 35]4j laminate, αλλά το σύνολο (22.5,67.5) απαιτήθηκε για να προσδιορίσει το [- 22.5/22.5/67.5/67.5]φύλλο πλαστικού Zs. Αν και αυτό το approach έλαβε υπόψη τον προσανατολισμό των διάφορων ελασμάτων στο φύλλο πλαστικού, απέτυχε να αποτελέσει την ακολουθία πασσάλωσής τους που είναι, όπως τονίζεται από τους συντάκτες, ένας σημαντικός παράγοντας στην αποτυχία του φύλλου πλαστικού. Οι συντάκτες πρότειναν αίφνια αναπτυχθεί το πρότυπο γονιδίων μεταλλεύματος talble της λήψης της ακολουθίας συσσωρευσης

Για το στάδιο της ANN, οι διάφορες στρατηγικές χρησιμοποιήθηκαν: πρώτα, όλος εκτός από ένα από τα φύλλα πλαστικού γωνία-πτυχών χρησιμοποιήθηκε για την κατάρτιση, το δίκτυο απαιτήθηκε στο predict τη s-n συμπεριφορά της αφαιρούμενης ακολουθίας. Τα predictions που λήφθηκαν για [± 15]4j, [± 25]4j, και [± 35]φύλλα πλαστικού ξ ήταν σε καλή συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα, εκείνοι για [0]4s και [± 45]τα φύλλα πλαστικού ξS δεν ήταν. Αυτό εξηγείται από το γεγονός ότι σε αυτές τις δύο περιπτώσεις, το νευρικό δίκτυο κλήθηκε να παρεκτείνει τα αποτελέσματα πέρα από τη σειρά κατάρτισης. Μια δεύτερη στρατηγική ήταν να χρησιμοποιηθεί μόνο αποτελέσματα από τις δύο ακραίες περιπτώσεις: [0]ΓΠ. και ± 45]4s ως inbázei στο δίκτυο. Οι προβλέψεις αποκτηθείσες ήταν αποδεκτές για το [± 30]φύλλο πλαστικού ξ αλλά δεν ήταν όπως καλές για το [± 15]ξS. και [± 25]4j φύλλα πλαστικού. Αυτή η εργασία έδειξε ότι, αν και η χρήση ANN οδήγησε σε κάποια καλή πρόβλεψη ζωής κούρασης ίνα-ενισχυμένος υλικο, ένα μεγάλο σύνολο πειραματικών στοιχείων αντιπροσωπευτικών των τρόπων αποτυχίας και των φυλλόμορφων ακολουθιών είναι απαραίτητες. Ο κριτικός θα επιθυμούσε να προσθέσει ότι, για να επιτύχει τα αποδεκτά αποτελέσματα, η ANN πρέπει να έχει εκπαιδευθεί σε ένα σύνολο στοιχείων που καλύπτει τη σειρά προσανατολισμού ινών ενδιαφέροντος που δεν ήταν η περίπτωση.

Ο Lee et το Al [33] χρησιμοποίησαν τα στοιχεία κούρασης για πέντε άνθρακας-ενισχυμένα πλαστικά και ένα ενισχυμένο πλαστικό για να αξιολογήσουν την απόδοση ANN στην πρόβλεψη ζωής κούρασης των σύνθετων. Το στοιχείο χρησιμοποιούμενο λήφθηκε για [($\pm 45, 02$)2], φύλλα πλαστικού κάτω από t-t, TC και των CC τις περιπτώσεις φόρτωσης. Το λογισμικό χρησιμοποιούμενο ήταν ένα εμπορικό νευρικό εργαλείο ανάπτυξης network, NEUDESK [34]. Το νευρικό δίκτυο εκπαιδεύθηκε χρησιμοποιώντας τα στοιχεία από πάνω από 400 δοκιμές κούρασης στα άνθρακας-εποξικά υλικά πέρα από μια σειρά πέντε αναλογιών ρ από + 0,1 σε + 10. πειράματα έδειξε ότι το RMSE αλλάζει με τον αριθμό κόμβων κρυμμένο στρώμα. Η βέλτιστη αρχιτεκτονική βρέθηκε για να περιέχει μια αναλογία των κόμβων τριών κρύβω-στρωμάτων σε κάθε κόμβο εισαγωγής. Αυτό το συμπέρασμα συνήχθη επίσης κατά χρησιμοποίηση ANN σε πολλές μη-σύνθετες εφαρμογές υλικών. Όπως στην εργασία της EL Kadi και Al-Assaf [28], ποικίλοι συνδυασμοί παραμέτρων εισαγωγής προσπαθήθηκαν για να ελαχιστοποιήσουν το RMSE αποκτηθέν. Τα καλύτερα αποτελέσματα επιτεύχθηκαν χρησιμοποιώντας τη μέγιστη και ελάχιστη πιθανότητα πίεσης και αποτυχίας (σχέδιο 7). Η παραγωγή σε όλες τις περιπτώσεις ήταν το number των κύκλων στην αποτυχία. Οι συντάκτες πρότειναν ότι κατά εξέταση των νέων υλικών, την ένταση και οι δυνάμεις συμπίεσης του σύνθετου πρέπει να προστεθούν ως εισαγωγές στο δίκτυο προκειμένου να αυξηθεί

το διακριτική ικανότητα του δικτύου. Ο αριθμός αναλογιών πίεσης που χρησιμοποιήθηκαν για την κατάρτιση και την επίδρασή του στην ακρίβεια αποκτήθηκε επίσης αν και η αύξηση του αριθμού αναλογιών πίεσης βελτίωσε την ακρίβεια, το ποσοστό αυτής της αύξησης έπεσε όταν αυξήθηκε ο αριθμός αναλογιών p πέρα από τρία. Οι επιλεγμένες αναλογίες p πρέπει να περιέχουν εντούτοις τα παραδείγματα των τριών τρόπων δηλαδή, της όλος-έντασης, όλης της συμπίεσης, και της μικτών έντασης/της συμπίεσης

Τα στοιχεία από τα τέσσερα CFRP χρησιμοποιήθηκαν για να προβλέψουν τις ιδιότητες κούρασης του πέμπτου τύπου του CFRP. που οι μονοτονικές μηχανικές ιδιότητες (εκτατές και συμπιεστικές δυνάμεις) χρησιμοποιήθηκαν στην κατάρτιση. Τα αποτελέσματα ανεπαρκής δεδομένου ότι το μέσο RMSE ήταν της τάξης του 100%. Αξίζει ότι αυτό το λάθος ήταν μέσα στην κανονική διάδοση των στοιχείων για τα σύνθετα υλικά. Αφ' ετέρου, χρησιμοποιώντας το δίκτυο που εκπαιδεύεται στα στοιχεία για CFRP για να προβλέψει τη συμπεριφορά ενός παρόμοιου υλικού φτιαγμένου από γυαλί, οδηγημένος σε ένα RMSE της τάξης του 170%. Οι συντάκτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ANN μπορεί να εκπαιδευθεί για να διαμορφώσει τη συμπεριφορά κούρασης σταθερός-πίεσης τουλάχιστον καθώς επίσης και άλλες μεθόδους πρόβλεψης και μπορεί ακριβή αποτελέσματα προνίδη από τα αρκετά μικρά πειραματικά databases. Πρόσθεσαν ότι φαίνονται λίγες προοπτικές της μεταφοράς της προφητικής ικανότητας ενός δικτύου με οποιοδήποτε βαθμό ακρίβειας από μια οικογένεια των σύνθετων σε άλλη. Ο κριτικός θεωρεί ότι αυτό μπορεί να υπερνικηθεί

με τη χρησιμοποίηση ενός συνόλου δεδομένων με διάφορα διαφορετικά υλικά (πέντε ή περισσότεροι) και επιλέξετε τις αντιπροσωπευτικές μηχανικές ιδιότητες ενδεικτικές του υλικού χρησιμοποιούμενου.

Το Choi et το AI [35] χρησιμοποίησαν ένα ANN-VASJSMENO στο πρότυπο για να περιγράψουν τη διασπασμένη αύξηση χαραγμένος ασ4/3501-6 από γραφίτη εποξικά σχεδόν-ισοτροπικά [0/45/-45/90]_{3j} φύλλα πλαστικού κάτω από την ένταση-εξουσιασμένη κούραση με μια σταθερή αναλογία πίεσης 0,1. Το νευρικό δίκτυο κτίστηκε ως διανυσματικά τμήματα εισαγωγής και διασπασμένο μήκος ως παραγωγή. Η νευρική συσκευασία δικτύων διαθέσιμη σε MATLAB [36] χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση. ανατροφοδότηση με τροποποιημένο back-propagation που χρησιμοποιεί τον πιο απότομο αλγόριθμο καθόδου (ένας τροποποιημένος αλγόριθμος λεβενπεργ- Marquard Newton Gaoy' method□the) χρησιμοποιήθηκε because της γρηγορότερης σύγκλισής του και της υψηλότερης αποδοτικότητάς του. Τρία πρότυπα που έχουν δύο κρυμμένα στρώματα με 2-2, 3-2, και 4-2 νευρώνες εκπαιδεύθηκαν χρησιμοποιώντας τα στοιχεία κούρασης. Τα τρία πρότυπα συγκρίθηκαν χρησιμοποιώντας το RMSE και το πρότυπο με 3-2 νευρώνες αποδείχθηκε για να δώσει τα καλύτερα αποτελέσματα. Το ένα αναρωτιέται γιατί οι συντάκτες δεν εξέτασαν το δίκτυό τους χρησιμοποιώντας ένα κρυμμένο στρώμα και που επέλεξε δύο κρυμμένα στρώματα με έναν τέτοιο μικρό αριθμό νευρώνων ανά στρώμα. Δύο κρυμμένα στρώματα χρησιμοποιούνται μόνο όταν το σύστημα είναι πολύ σύνθετο και τα αποτελέσματα αποκτηθέντα χρησιμοποιώντας ένα κρυμμένο στρώμα δεν είναι ικανοποιητικά.

Δύο διαφορετικά σύνολα αποτελεσμάτων της δοκιμής χρησιμοποιήθηκαν για το νευρικό δίκτυο: ο πρώτος χρησιμοποιώντας όλα τα διαθέσιμα στοιχεία δοκιμής ενώ άλλος εκπαιδεύθηκε μόνο σε τρία τονίζει levels. Αν και το δεύτερο σύνολο έδωσε τα αποδεκτά αποτελέσματα, και και τα δύο σύνολα έδωσαν τις καλύτερες προβλέψεις έναντι μιας μεθόδου δύναμη-νόμου που χρησιμοποιήθηκε συχνά στην κούραση, το πρώτο σύνολο έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα δεδομένου ότι εκπαιδεύθηκε σε όλα τα υπάρχοντα στοιχεία.

Ένας γραμμικός συσσωρευτικός κανόνας αύξησης ζημίας χρησιμοποιήθηκε από κοινού με το δύναμη-νόμο και το πρότυπο ANN για να προβλέψει τη διασπασμένη αύξηση κάτω από την κούραση φάσματος σε αυτήν την περίπτωση, η αναλογία πίεσης ποίκιλε από ένα επίπεδο πίεσης στο επόμενο. Η αξία της αναλογίας πίεσης δεν λήφθηκε υπόψη στις προβλέψεις και μόνο η μέγιστη πίεση κούρασης χρησιμοποιήθηκε. Άλλη μια φορά το πρώτο πρότυπο ANN (που εκπαιδεύεται με όλα τα στοιχεία κούρασης σταθερός-εύρους) ακολούθησε το χαμηλότερο ρίζα-μέσο τετραγωνικό λάθος, από το δεύτερο πρότυπο ANN (που εκπαιδεύεται σε τρία επίπεδα πίεσης), ενώ ο δύναμη-νόμος είχε το μεγαλύτερο λάθος. Οι συντάκτες απέδωσαν τα καλά predictions αποκτηθέντα χρησιμοποιώντας την ANN στη δυνατότητα του δικτύου να συλληφθούν περισσότεροι του μη γραμμικού characteristics έναντι του απλού δύναμη-νόμου.

4.3. Δυναμικές μηχανικές ιδιότητες

Οι δυναμικές μηχανικές ιδιότητες (συντελεστής και απόσβεση αποθήκευσης) των σύντομων ίνα-ενισχυμένων σύνθετων ερευνήθηκαν από Zhang et το AI [37] σε μια σειρά θερμοκρασίας από -150 150 °C. Ο συντελεστής αποθήκευσης αντιστοιχεί στην ακαμψία του υλικού κάτω από τη δυναμική φόρτωση. Η απόσβεση χαμηλός-πίεσης είναι μια περιοχή του πολυμερούς matrix, το οποίο υπακούει τις γραμμικές βισκοελαστικές σχέσεις. Υψηλός οι πιέσεις προκαλούν microcracks, τα οποία συμβάλλουν από

την τριβή. Στα σύνθετα ινών, τα διαφορετικά υλικά συστατικά συμβάλλουν με τους διαφορετικούς τρόπους στην αποθήκευση και στα χαρακτηριστικά απόσβεσης. Μια αύξηση του ποσού ινών άνθρακα σε ένα σύνθετο θα οδηγήσει σε έναν υψηλότερο συντελεστή αποθήκευσης, αλλά έναν μειωμένο παράγοντα ελάττωσης. Η απόσβεση των πολυμερών μητρών ποικίλλει με τη θερμοκρασία, και μια φτωχή διεπαφή μεταξύ του υλικού πληρώσεως και της μήτρας θα αυξήσει σιγουρα την απόσβεση χωρίς ισχυρή εξάρτηση στη θερμοκρασία.

Οι μετρήσεις εκτελέστηκαν σε μια τριών σημείων οργάνωση δοκιμής. Το υγρό άζωτο χρησιμοποιήθηκε ως ψυκτική ουσία για να δροσίσει κάτω τα δείγματα. Η αύξηση θερμοκρασίας επιτεύχθηκε από έναν υπέρυθρο φούρνο στην αίθουσα δειγμάτων. Η σύνθεση υλικών και η μέτρηση της θερμοκρασίας ήταν οι τέσσερις εισαγμένες παράμετροι και οι γραμμικές βισκοελαστικές ιδιότητες (συντελεστής ή/και ελάττωση αποθήκευσης) ως output. Εικοσι πέντε νευρώνες τακτοποιήθηκαν στο κρυμμένο στρώμα. Μια λειτουργία μεταφοράς χρησιμοποιήθηκε στο κρυμμένο στρώμα και για να αποφύγει την παραγωγή σε μια μικρή σειρά, μια γραμμική λειτουργία μεταφοράς υιοθετήθηκε στο στρώμα παραγωγής. Η διαδικασία εκμάθησης είναι βασισμένη σε μια αναζήτηση, με ένα ο πίο ελάχιστο τακτοποιημένο κριτήριο των λαθών μεταξύ των προβλεφθεισών και επιθυμητών τιμών. Ο προγραμματισμός ANN είναι βασισμένος σε μια νευρική εργαλειοθήκη δικτύων MATLAB. Μια Μπεϋζιανή συστηματοποίηση ενός αλγορίθμου back-propagation επιλέχτηκε.

Ο συνολικός αριθμός συνόλου δεδομένων είναι μέχρι 480 (οκτώ είδη υλικών με τα σημεία μέτρησης σε κάθε 5° στη σειρά της θερμοκρασίας μεταξύ □ 150 και 150 °C). Αυτό το σύνολο δεδομένων διαιρέθηκε σε σύνολο κατάρτισης και σύνολο δοκιμής για μια σχεδιασμένη ANN. Για να λάβει ένα RMSE λιγότερο από 15% μεταξύ των προβλεφθεισών τιμών και μετρημένα, ο συντελεστής χρειάστηκε μόνο 40 τυχαία επιλεγμένα σημεία στοιχείων κατάρτισης. Μετριάζοντας, εντούτοις, χρειάστηκε περισσότερα από 120 σημεία στοιχείων κατάρτισης για το παρόμοιο προφητικό quality. Αυτό υπονοεί ότι η μη γραμμική συμπεριφορά είναι υψηλότερη από αυτή του συντελεστή αποθήκευσης. Συνήχθη το συμπέρασμα ότι ο αριθμός συνόλου δεδομένων κατάρτισης διαδραματίζει έναν βασικό ρόλο στην προφητική ποιότητα ANN και ότι, ο πίο σύνθετος η μη γραμμική σχέση μεταξύ της εισαγωγής και της παραγωγής είναι, ο μεγαλύτερος είναι το μέγεθος της δομής ANN και ο αριθμός συνόλου δεδομένων κατάρτισης που απαιτείται.

4.4 συμπεριφορά ερπυσμού

Η βισκοπλαστική συμπεριφορά των σύνθετων ήταν από Al-Haik et το Al [38] μέσω δύο διαφορετικών modeling προσπαθειών. Το πρώτο πρότυπο είναι φαινομενολογικής φύσης και χρησιμοποιεί τα πειράματα εκτατής και χαλάρωσης πίεσης για να προβλέψει την πίεση ερπυσμού. φαινομενολογικό πρότυπο κατασκευάστηκε βασισμένος overstress το βισκοπλαστικό πρότυπο. Στο δεύτερο πρότυπο, η σύνθετη βισκοπλαστική συμπεριφορά συλλαμβάνεται μέσω της νευρικής διατύπωσης δικτύων. Το πρότυπο ANN κατασκευάστηκε άμεσα από τα πειραματικά αποτελέσματα στοιχείων που επιτυγχάνονται μέσω των δοκιμών ερπυσμού που εκτελούνται στους διάφορους όρους πίεση-θερμοκρασίας.

Το σύνθετο υπό εξέταση είναι ένα PR2032 εποξικό που ενισχύει με το πυριμαχο άνθρακα και που κατασκευάζεται σε μια χέρι-λαϊκή επάνω μέθοδο με συνέπεια ένα τρεις-βαλμένο σε στρώσεις φύλλου πλαστικού. Οι εκτατές, δοκιμές ερπυσμού και χαλάρωσης διευθύνθηκαν χρησιμοποιώντας μια μηχανή MTS και μια θερμική αίθουσα με έναν ελεγκτή θερμοκρασίας για να μιμηθούν τα διαφορετικά θερμικά περιβάλλοντα. Οι δοκιμές εκτελέστηκαν για να παραγάγουν τις καμπύλες στη θερμοκρασία δωματίου. Μια άλλη εκτατή δοκιμή ήταν για ένα δείγμα που ανοιπήθηκε για 4 χ σε θερμοκρασία 35 °C χρησιμοποίηση της θερμικής αίθουσας. Αυτή η δοκιμή επαναλήφθηκε για τα δείγματα που ανοιπήθηκαν για 4 χ στις θερμοκρασίες 45 ..50 ..55 ..60 ..65, και 75 °C. Κατά τη διάρκεια της δοκιμής φορτίων, τα τυποποιημένα εκτατά δείγματα φορτώθηκαν σε ένα σταθερό ποσοστό μετατοπίσεων 2 χλ./λ. έως ότου η πίεση επιτεύχθηκε. Σε αυτό το σημείο, η σταθερή πίεση διατηρήθηκε στο δείγμα. Οι τιμές πίεσης χρησιμοποιούμενες είναι εκείνες που αντιστοιχούν στα επίπεδα πίεσης που ήταν 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, και 80% της δύναμης του σύνθετου στην αντίστοιχη θερμοκρασία δοκιμής. Η μείωση της ονομαστικής πίεσης με το χρόνο μετρήθηκε έπειτα για 2 χ σε κάθε επίπεδο πίεσης χρησιμοποιώντας το σύστημα αποκλήσεων στοιχείων. Ομοίως, σε κάθε επίπεδο θερμοκρασίας (25-75 °C), οι δοκιμές χαλάρωσης διευθύνθηκαν για έξι διαφορετικά δείγματα σε διαφορετικά επίπεδα πίεσης, 30-80% της δύναμης σε εκείνη την θερμοκρασία. Το σήμα πίεσης που μετρήθηκε από extensometer καταγράφηκε από μια απόκτηση στοιχείων system. Κάθε δείγμα εξετάστηκε για 1 χ κάτω από τις σειρές θερμοκρασίας 25-75 °C. Έξι διαφορετικά δείγματα υποβλήθηκαν

έξι που εφαρμόζονται τονίζουν με τις τιμές 30-80% της δύναμης υπό κάθε όρο θερμοκρασίας.

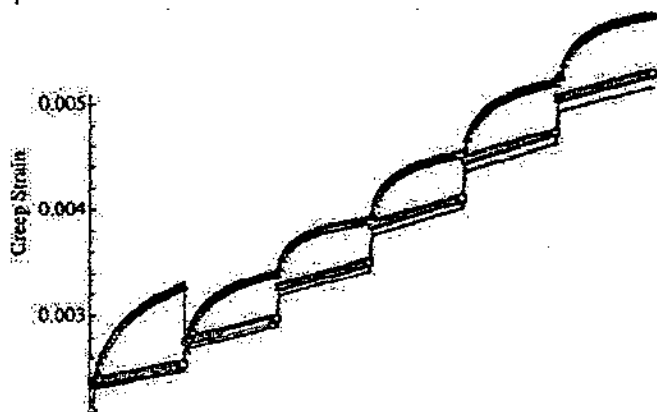
Η ομαλοποιημένη θερμοκρασία, το επίπεδο πίεσης και ο χρόνος ήταν οι παράμετροι εισαγωγής στο νευρικό δίκτυο. Οι στόχοι επιλέχθηκαν για να είναι οι αντίστοιχες τιμές της πίεσης ερπυσμού. Τα σύνολα δεδομένων παρήχθησαν για έναν συνδυασμό οκτώ θερμοκρασιών (25 ..35 ..45 ..50 ..55 ..60 ..65, και 75 °C), έξι ομαλοποιημένα επίπεδα πίεσης (30%, 40%, 50%, 60%, 70%, και 80%), και 36 φορές βήματα με την αύξηση 100 s (δηλ. 100.200... ,3600s) για έναν συνολικό αριθμό 1728 σημείων στοιχείων. Οι ξελεπιασμένες τιμές χωρίστηκαν σε τρία υποσύνολα ένα σύνολο χρησιμοποιήθηκε για την κατάρτιση (800 ζευγάρια), ένα άλλο σύνολο για την επικύρωση (400 ζευγάρια), και το τελευταίο σύνολο για τη δοκιμή της απόδοσης δικτύων (528 ζευγάρια). Ένα δύο-κρυμμένο νευρικό δίκτυο στρώματος χρησιμοποιήθηκε. Ο αριθμός νευρώνων σε κάθε κρυμμένο στρώμα λήφθηκε μέσω της κατάρτισης του δικτύου χρησιμοποιώντας έναν τυποποιημένο back-propagation αλγόριθμο με δύο παραμέτρους σχεδίου: ποσοστό εκμάθησης (α) και συντελεστής (η) ορμής. Η απόδοση διάφορων δομών των νευρικών δικτύων ερευνήθηκε από Al-Haik [39] όπου (3-6-20-1) επιτυγχάνει τη βέλτιστη απόδοση. Η κατάρτιση, η επικύρωση και η δοκιμή ήταν η χρησιμοποίηση τριών μεθόδων: το πιο απότομο back-propagation καθόδου, ο συζευγμένος αλγόριθμος κλίσης

Αντίθετα από το βισκοελαστικό πρότυπο, το εναλλακτικό πρότυπο που χρησιμοποιεί τη διατύπωση ANN με περικομμένη ο αλγόριθμος πρόβλεψε τα ακριβέστερα αποτελέσματα στους διαφορετικούς όρους πίεση-θερμοκρασίας (σχέδιο 8). Οι συντάκτες θεωρούν ότι το πρότυπο μπορεί να επεκταθεί στο account για την εκτός άξονα δοκιμή με την προσθήκη της εκτός άξονα γωνίας

Πειραματικός

- ο - νευρικό πρότυπο δικτύων - α - βισκοπλαστικό πρότυπο
0,002

Σχέδιο επικύρωση 8. των



βισκοπλαστικών και νευρικών προτύπων δικτύων (περικομμένο Newton) για την εξέλιξη ερπυσμού $\tau = 65$ °C και επίπεδα πίεσης 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, και 80% της σύνθετης δύναμης σε αυτήν την θερμοκρασία [39].

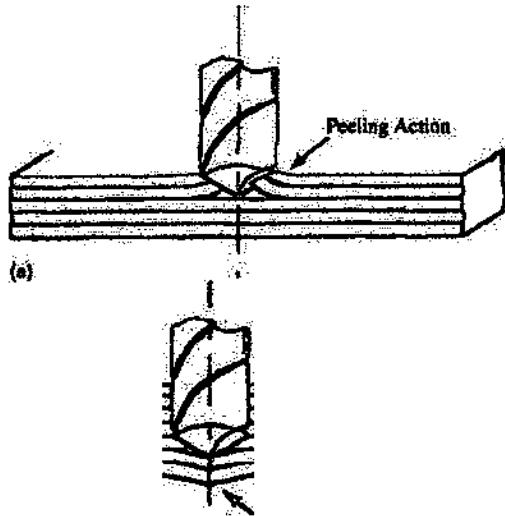
σαν τέταρτη παράμετρο εισαγωγής μαζί με τη θερμοκρασία, το χρόνο και το επίπεδο πίεσης.

4.5. Διαστρωματική αποκολληση

Ένας από τους συνήθως αντιμετωπιζόμενους τύπους ατελειών ή ζημιών στις τοποθετημένες σε στρώματα σύνθετες δομές είναι διαστρωματική αποκολληση οι διαστρωματικές αποκολλησεις μπορεί να προκληθεί από την επεξεργασία ή ίσως να υπηρεσία-προκληθεί, όπως από τη φόρτωση αντίκτυπου ή κούρασης. Η απελασματοποίηση είναι επίσης ένα πρόβλημα με την άλεση και τη διάτρηση ίνα-ενισχυμένα σύνθετα υλικά. Τα σημειωμένα προβλήματα εμφανίζονται καθώς το τρυπάνι εισάγεται (φλούδα-επάνω στο μηχανισμό) και βγαίνει (ώθηση-έξω στο μηχανισμό) το σύνθετο όπως φαίνεται στο σχέδιο 9. Πέτρα και Krishnamurthy [40] έχει εισαγάγει έναν νευρικό ελεγκτή δύναμης ώθησης δικτύων για να ελαχιστοποιήσει την διαστρωματική αποκολληση με τη διάτρηση στα σύνθετα υλικά. Χρησιμοποίησαν μια γραμμική ελαστική προσέγγιση μηχανικών σπασίματος (LEFM) για να διαμορφώσουν τους μηχανισμούς προκαλώντας την διαστρωματική αποκολληση στα σύνθετα.

Μέχρι σήμερα, η χαρακτηριστική προσέγγιση στη διάτρηση είναι να οδηγηθεί το εργαλείο σε ένα σταθερό ποσοστό τροφών. Υπό τέτοιους όρους, η δύναμη και η ροπή κοπής μπορούν να ποικίλουν σημαντικά όταν μειώνεται η ταχύτητα αξόνων ως βάθος των increases τρυπών. Αυτές οι παραλλαγές μπορούν να φθάσουν

σε τέτοιες αναλογίες ως προς τη θραύση εργαλείων αιτίας και την επόμενη ζημία στο κομμάτι προς κατεργασία. Το νευρικό σχέδιο ελέγχου δικτύων έγινε με δύο επαναλαμβανόμενα νευρικά δίκτυα με επαναλαμβανόμενους αλγόριθμους: ένας για της δυναμικής διαδικασίας (που καλούνται τη διαμόρφωση το νευρικό προσδιοριστικό) και το δεύτερο για τον έλεγχο (που καλείται το νευρικό ελεγκτή). Η κατάρτιση Therefore ήταν μια σε δύο στάδια διαδικασία: πρώτα το νευρικό προσδιοριστικό εκπαιδεύθηκε για να δεχτεί τρεις εισαγωγές: το τρέχον και προηγούμενο ποσοστό τροφών εντολής, και προηγούμενο mea



Σχέδιο τρόποι 9

επάνω, (β) ώθηση-έξω [40].

η δύναμη ώθησης. Η παραγωγή του νευρικού προσδιοριστικού ήταν η τρέχουσα δύναμη ώθησης. Το υλικό χρησιμοποιούμενο ήταν ένα από γραφίτη-εποξικό σχεδόν-ισοτροπικό [0, ±45, 90] φύλλο πλαστικού ασ4/3501-6 με 48 πτυχές και ένα κατά προσέγγιση πάχος 6,35 χιλ.. Δύο ευθεία πολυκρυσταλλικά τοποθετημένα τρυπάνια των διαμέτρων 6,65 και 8,33 χιλ. χρησιμοποιήθηκε με τις ταχύτητες αξόνων 652 και 822 περιστροφών/λεπτό. Το στοιχείο κατάρτισης λήφθηκε από τη διάτρηση με 6,65 χιλ. τρυπάνι με μια ταχύτητα αξόνων 652 περιστροφών/λεπτό και στα διάφορα ποσοστά τροφών και την καταγραφή το ποσοστό τροφών και η μετρημένη δύναμη ώθησης. Οκτώ σύνολα στοιχείων, κάθε ένα με 80 ζευγάρια στοιχείων, χρησιμοποιήθηκαν για να εκπαιδεύσουν το νευρικό προσδιοριστικό. Μετά από μόνο πέντε που εκπαιδεύουν cycles, η δύναμη ώθησης προβλέφθηκε ακριβώς από το νευρικό προσδιοριστικό.

Το νευρικό προσδιοριστικό χρησιμοποιήθηκε έπειτα για να εκπαιδεύσει το νευρικό ελεγκτή. Οι εισαγωγές στο νευρικό ελεγκτή αποτελέστηκαν από το προηγούμενο ποσοστό πληροφοριων και το τρέχον λάθος δύναμης ώθησης (η διαφορά μεταξύ της επιθυμητής και πραγματικής δύναμης ώθησης. Μόλις ολοκληρώθηκε η νευρική κατάρτιση ελεγκτών, ο ελεγκτής δύναμης ώθησης εξετάστηκε στο ίδιο φύλλο πλαστικού. Όπως φαίνεται στο σχέδιο 10, εκτός από υπερανυσώση περίπου 25%, ο ελεγκτής ήταν σε θέση να διατηρήσει τη δύναμη ώθησης μέσα σε 5% της επιθυμητής αξίας. Σχετικά οφειλόταν σε δύο λόγους: κατ' αρχάς, το ποσοστό τροφών ήταν καλά πέρα από τη σειρά των στοιχείων κατάρτισης, και δευτερόλεπτο, το ποσοστό τροφών ενημερώθηκε αρκετά αργά (κάθε τρεις επαναστάσεις αξόνων). Οι βελτιώσεις που λαμβάνονται με το νευρικό controller, το φύλλο πλαστικού τρυπήθηκε με τρυπάνι χρησιμοποιώντας ένα σταθερό ποσοστό τροφών. Σε εκείνη την περίπτωση, η δύναμη ώθησης αυξήθηκε κοντά στις επιφάνειες εισόδων και εξόδων με συνέπεια το διαστρωματική αποκολληση. Η ευρωστία του ελεγκτή καταδείχθηκε με την ποικιλία μερικών από τις παραμέτρους διάτρησης, την ταχύτητα αξόνων και τη διάμετρο τρυπανιών.

Ένα υπολογιστικό πρότυπο που χρησιμοποιήθηκε για να καθορίσει τη φυσική συχνότητα του α η ακτίνα για τα διαφορετικά μεγέθη διαστρωματική αποκολληση και οι θέσεις αναπτύχθηκαν από Okafor et το Al [41]. Η τροπική δοκιμή της στερεώνω-ελεύθερης οκτώ-πτυχής [0/90/90/90/90], γυαλί/εποξικές ακτίνες με τα διάφορα μεγέθη απελασματοποίησης διευθύνθηκε. Τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται με την τροπική δοκιμή είναι κοντά σε εκείνους που λαμβάνονται από τη θεωρία ακτίνων. Ανατροφοδοτηση α (4-10-1) back-propagation το νευρικό δίκτυο χρησιμοποιήθηκε για να αξιολογήσει το μέγεθος απελασματοποίησης στη σύνθετη ακτίνα. Το στρώμα εισαγωγής είχε τέσσερις νευρώνες, ένας γιατί κάθε μια από τις πρώτες τέσσερις τροπικές συχνότητες η ακτίνα και το στρώμα παραγωγής έχει μόνο έναν νευρώνα που προβλέπει το μέγεθος απελασματοποίησης. Οκτώ-εκατό πενήντα εισόδου-εξόδου σύνολα

στοιχείων, που

λαμβάνονται από τα αποτελέσματα προσομοίωσης για τις σύνθετες ακτίνες με την απελασματοποίηση, χρησιμοποιούνται για να εκπαιδεύσουν το δίκτυο. Σαράντα δύο εισόδου-εξόδου σύνολα στοιχείων κρατήθηκαν για να εξετάσουν τα εκπαιδευμένα νευρικά πρότυπα δικτύων. Νευρικό επαγγελματικό II λογισμικό δικτύων [42] χρησιμοποιείται. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η ANN πρόβλεψε ακριβώς ότι το αδιάστατο μέγεθος απελασματοποίησης (όσον αφορά το μήκος της ακτίνας) 0,22 και 0,82, αλλά το κάτω από-προβλεφθέν αδιάστατο μέγεθος απελασματοποίησης κάτω από 0,08. Επίσης συνήχθη το συμπέρασμα ότι το ποσοστό εκμάθησης, το ρ και ο παράγοντας ορμής, α , είχαν μια σημαντική επίδραση στη νευρική απόδοση δικτύων. Η ANN με το $\rho = 0,5$ και $\alpha = 0,6$ σύγκλινε μετά από 274.378 κύκλους κατάρτισης και έδωσε τα καλύτερα αποτελέσματα.

Το Valoor και Chandrashekhara [43] τροποποίησαν το πρότυπο που αναπτύχθηκε από Okafor et το AI [41] με να λάβουν υπόψη την επίδραση Poisson και την εγκάρσια παραμόρφωση κουράς. Άλλη μια φορά, Neuralworks ο επαγγελματίας II λογισμικό χρησιμοποιήθηκε στην ανάλυση. Η υπερβολική tangent λειτουργία χρησιμοποιήθηκε ως λειτουργία ενεργοποίησης. Τρεις διαφορετικές αναλογίες μήκος-ΒΑΘΟΥΣ ακτίνων (Lih) ήταν $Lih = 10 \dots 20$ και 100, Τρεις όροι ορίου εξετάστηκαν: στερεώνω-στερεωμένος, απλά-υποστηριγμένος, και στερεώνω-ελεύθερος. Οι ακτίνες χρησιμοποιούμενες είχαν οκτώ πτυχές [45/45*-45/-45/45], και [0/90/90/0]. Οι τροπικές συχνότητες αποκτιθείσες χρησιμοποιώντας αυτό το πρότυπο χρησιμοποιήθηκαν για να εκπαιδεύσουν ένα back-propagation νευρικό δίκτυο για να προβλέψουν τη θέση και το μέγεθος απελασματοποίησης. Το μέσο λάθος στην πρόβλεψη της θέσης και του μεγέθους διαστρωματική αποκολληση βρέθηκε για να είναι χαμηλό σε όλες τις περιπτώσεις εξεταζόμενες. Αυτό το λάθος βρέθηκε για να είναι το υψηλότερο για τα δελ-αμνηταχονς εντόπισε κοντά στο τέλος ακτίνων. Αυτό να οφείλεται σε έναν ανεπαρκή αριθμό στοιχείων κατάρτισης για τέτοια διαστρωματική αποκολληση. Η βελτιωμένη απόδοση πρέπει να επιτευχθεί με την κατάρτιση του δικτύου με περισσότερα σημεία στοιχείων.

Στις συμμετρικές δομές, το δίκτυο θα μπορούσε μόνο να προβλέψει την πιθανή θέση της διαστρωματική αποκολληση σε κάθε συμμετρικό τμήμα. Γενικά, διαπιστώθηκε ότι η νευρική προσέγγιση network που χρησιμοποιεί τις υπογραφές δόνησης είναι καλά για να προβλέψει τη θέση και το μέγεθος διαστρωματικής αποκολλησης μέσα στα μη συμμετρικά τμήματα.

Το Luo και Hanagud [44] εισήγαγαν μια νέα νευρική - διαδικασία εκμάθησης αποκαλούμενη δυναμική εκμάθησης μέθοδο καθόδου ποσοστού πύλο απότομη (DSD). Με βάση την απλή πύλο απότομη μέθοδο καθόδου (SSD), η προτεινόμενη μέθοδος βελτιώνει την ταχύτητα σύγκλισης εκμάθησης χωρίς αύξηση της υπολογιστικής επίδρασης, του κόστους μνήμης, της απλότητας αλγόριθμου ή της τοποθεσίας στον τυποποιημένο βαλμένο σε στρώσεις back-propagation αλγόριθμο κατάρτισης.

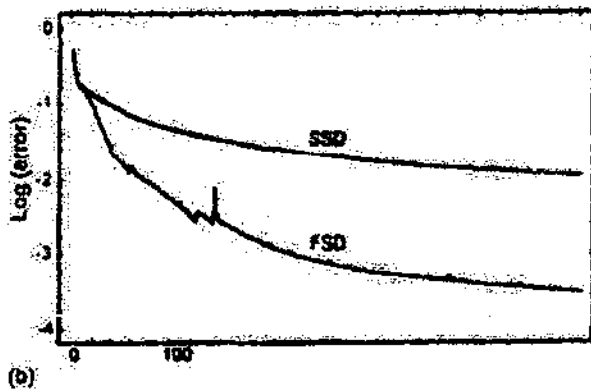
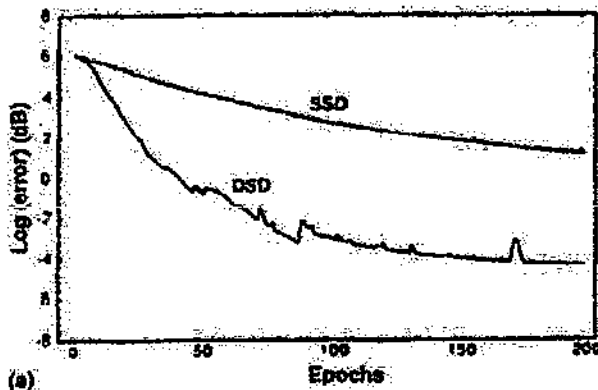
Για να καταδείξει την ανωτερότητα της νέας μεθόδου, ένα πείραμα ανίχνευσης διαστρωματική αποκολληση για τις σύνθετες ακτίνες είχε ως σκοπό. Τα δείγματα που χρησιμοποιήθηκαν για να εκπαιδεύσουν το δίκτυο κατασκευάστηκαν από [το 0/90] υφαμένο γυαλί εποξικό. Όλα τα δείγματα αποτελέσθηκαν από 12 στρώματα του πυριμαχου υλικου με τα διαστρωματική αποκολλησης στο κέντρο του μήκους του δείγματος Η λειτουργία απάντησης συχνότητας (frf) χρησιμοποιήθηκε ως δίκτυο που εισήχθη επειδή περιέχει τις πληροφορίες για τις φυσικές συχνότητες και τα τμήματα μορφής τρόπου. Η δομή α (128-30-18) ANN χρησιμοποιήθηκε με 128 εισαγμένους κόμβους με σκοπό να πάρουν τα δεδομένα εισόδου από frf του δείγματος ενώ οι κόμβοι παραγωγής που παρέχουν τις πληροφορίες απελασματοποίησης της δομής. Το σχέδιο 11a παρουσιάζει την ανωτερότητα της απόδοσης κατάρτισης της μεθόδου DSD πέρα από αυτήν της μεθόδου SSD. Μετά από την κατάρτιση, ένα άλλο σύνολο δομικής δυναμικής απάντησης από το δείγμα απελασματοποίησης τροφοδοτήθηκε το δίκτυο. Επειδή το δίκτυο ήταν εκπαιδευμένο ήδη, τα βάρη αποθηκεύονται και ένα ανατροφοδοτηση πέρασμα ενός νέου συνόλου δεδομένων μέσω του εκπαιδευμένου δικτύου είναι σχεδόν στον πραγματικό χρόνο.

Ένα δεύτερο παράδειγμα στόχευσε να ανιχνεύσει την απώλεια ακαμψίας λόγω της απελασματοποίησης (αναλογία της ακαμψίας της δομής ζημίας όσον αφορά την ακαμψία της άθικτης δομής). Σε αυτήν την περίπτωση, η παραγωγή δικτύων περιλαμβάνει πέντε σημεία που δείχνουν τις σχεικές αναλογίες ακαμψίας σε αυτές τις θέσεις. Άλλη μια φορά, η απόδοση κατάρτισης του DSD ήταν ανώτερη από αυτήν του SSD όπως φαίνεται στο σχέδιο κίνημα απελευθέρωσης. Το εκπαιδευμένο δίκτυο ήταν επίσης ικανό να ανιχνεύσει τις ζημίες παρόμοιες με εκείνους που φάνηκαν κατά τη διάρκεια της κατάρτισης και να επεκτείνει σε μερικές περιπτώσεις το domain του προσδιορισμού.

Οι συντάκτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι η περαιτέρω βελτίωση της απόδοσης κατάρτισης είναι δυνατή μέσω μιας αυτοματης βελτιστοποίησης των παραμέτρων ελέγχου κατάρτισης.

Το Seo και ο Lee [45] ερεύνησαν την ανίχνευση ζημίας ίνα-ενισχυμένα στα άνθρακακς πολυμερή (CFRP) φύλλα πλαστικού χρησιμοποιώντας τις ηλεκτρικές μετρήσεις αντίστασης και τα νευρικά networks. Από

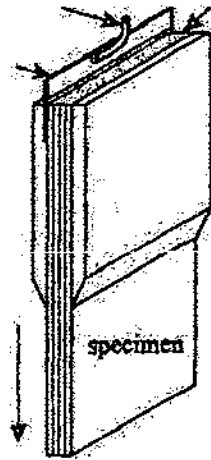
τον άνθρακα οι ίνες είναι ηλεκτρικοί αγωγοί, είναι όχι μόνο η ενίσχυση αλλά και ο αισθητήρας για την ανίχνευση ζημίας στα φύλλα πλαστικού CFRP. Αυτή η ζημία



η μέθοδος ανίχνευσης είναι διαθέσιμη με την ένωση των ηλεκτροδίων στην επιφάνεια των δομών CFRP χωρίς ειδική. Πρέπει να παρατηρηθεί ότι αν και πρόκειται ΔΥΣΚΟΛΟ να μετρήσει την ακαμψία στις πραγματικές σύνθετες δομές (επειδή και η πίεση και η πίεση φόρτωσης απαιτούνται), η ηλεκτρική αντίσταση μπορεί να μετρηθεί χρησιμοποιώντας τα απλά devices εάν τα ηλεκτρόδια παρέχονται.

Δύο τύποι συσσωρεύσεων των ακολουθιών ($[0]_8$ και $[V^k]$) χρησιμοποιήθηκε για να ερευνήσει τη διαφορά στην ηλεκτρική αλλαγή resistance λόγω των διαφορετικών μηχανισμών ζημίας όπως η θραύση ινών ενίσχυσης και το ράγισμα μητρών. Ένα παχύ πιάτο χαλκού 150 δοχείων παρεμβλήθηκε μεταξύ κάθε ετικέτας φόρτωσης και δείγματος όπως φαίνεται στο σχέδιο 12. Το πιάτο copper παρεμβλήθηκε για να εισαγάγει το ρεύμα και στο measure η αντίσταση. Οι δοκιμές εκτελέστηκαν σε μια συχνότητα φόρτωσης 4 Hz και μια αναλογία πίεσης του $v = 0,1$. Τα πέντε επίπεδα πίεσης, 75%, 70%, 65%, 60% και 55% της στατικής τελευταίας δύναμης average επιλέχθηκαν. Η παραλλαγή της ηλεκτρικής αντίστασης με τον αριθμό κύκλων παρουσίασε παρόμοια τάση ως παραλλαγή της πίεσης και του προτύπου υποβάθμισης ακαμψίας που χρησιμοποιήθηκαν για το comparison. Πρέπει να σημειωθεί εντούτοις ότι και η υποβάθμιση ακαμψίας και τα ηλεκτρικά πρότυπα ζημίας αντίστασης στηρίζονται υποθέτοντας ότι η ζημία είναι μια λειτουργία δύναμης του αριθμού κύκλων, έτσι το πρότυπο δεν μπορεί να

πιάτο χαλκού
"κατεύθυνση 0



ασημένα κόλλα

Σχέδιο 12. σχηματικό διάγραμμα του δείγματος που χρησιμοποιείται στην ανίχνευση ζημίας που χρησιμοποιεί τις ηλεκτρικές μετρήσεις και ANN αντίστασης [45].

κατά τη διάρκεια των αρχικών και τελικών περιοχών της δοκιμής κούρασης όπου αυτή η υπόθεση δεν οφείλεται έγκυρος στις απότομες αλλαγές στην ακαμψία και την ηλεκτρική αντίσταση. Η σχέση μεταξύ της ηλεκτρικών αλλαγής αντίστασης και της ζωής κούρασης ερευνάται χρησιμοποιώντας τα νευρικά δίκτυα.

Ο κόμβος εισαγωγής στην ANN είναι η ηλεκτρική παράμετρος ζημίας αντίστασης και ο κόμβος παραγωγής είναι η μείωση ζωής ή ακαμψίας κούρασης. Το δίκτυο χρησιμοποιούμενο είχε δύο κρυμμένα στρώματα. Οι προβλεφθείσες τιμές που χρησιμοποιούν το νευρικό δίκτυο παρουσίασαν καλή συμφωνία με τα πειραματικά αποτελέσματα.

Ο έλεγχος της διαστρωματικής αποκολλησης αλλά και ο αισθητήρας για την ανίχνευση ζημίας στα φύλλα πλαστικού CFRP. Αυτή η ζημία των σύνθετων φύλλων πλαστικού με τη βοήθεια ANN ερευνήθηκε επίσης από Todoroki [46]. Άλλη μια φορά, οι αλλαγές στην ηλεκτρική αντίσταση χρησιμοποιήθηκαν για να προσδιορίσουν τις ρωγμές διαστρωματικής αποκολλησης μέσα [04/904], άνθρακας/εποξικά φύλλα πλαστικού. Πολλά σύνολα στοιχείων ηλεκτρικής αναλογίας αλλαγής αντίστασης μετά από τη δημιουργία διαστρωματικής αποκολλησης λαμβάνονται από τις αναλύσεις FEM αυτά τα σύνολα στοιχείων είναι applicable για την κατάρτιση ANN. Οι πληροφορίες εισαγωγής στην ANN είναι η ηλεκτρική αναλογία αντίστασης και οι πληροφορίες παραγωγής είναι το ομαλοποιημένες μέγεθος και η θέση διαστρωματικής αποκολλησης . Ο αριθμός νευρώνων στο στρώμα εισαγωγής είναι ίσος με τον αριθμό ηλεκτρικής αναλογίας αντίστασης που είναι λιγότερο από ο αριθμός ηλεκτροδίων από ένα. Ο αριθμός νευρώνων στο μέσο στρώμα είναι 30 (αποφασισμένος από τη δοκιμή και το λάθος) και ο αριθμός νευρώνων του στρώματος παραγωγής είναι δύο (μέγεθος και θέση). Τα αποτελέσματα επιτευχθέντα χρησιμοποιώντας την ANN συγκρίθηκαν με εκείνους χρησιμοποιώντας τις επιφάνειες απάντησης (εν περιλήψει, το RSM, περιλαμβάνει τη συναρμολόγηση επιφάνειας οπισθοδρόμησης για να λάβει οι απαντήσεις, σχέδιο των πειραμάτων για να λάβει τις διαφορές minimum των απαντήσεων και των βελτιστοποιήσεων χρησιμοποιώντας την προσεγγισμένη απάντηση). Το μέγεθος αγγελιών θέσης διαστρωματικής αποκολλησης μπορεί να προσδιοριστεί από τις ηλεκτρικές αλλαγές αντίστασης για τα 4 και τα δείγματα τύπων 5-ηλεκτροδίων. Η ANN εκπαιδεύθηκε χρησιμοποιώντας 49 περιπτώσεις και η αποδοχή της διάγνωσης της ANN για τα νέα στοιχεία

εξετάστηκε χρησιμοποιώντας πέντε διαφορετικές περιπτώσεις. Σε όλη την ANN, η κατάρτιση διευθύνθηκε μέχρι 106 εποχές της κατάρτισης. Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ANN υπολόγισε την ακριβή θέση και το μέγεθος της διαστρωματικής αποκολλησης και για τους δύο τύπους δειγμάτων που χρησιμοποιήθηκαν στην κατάρτιση. Εντούτοις, τα αποτελέσματα των νέων στοιχείων που δεν χρησιμοποιήθηκαν στην κατάρτιση οδήγησαν στις φτωχές εκτιμήσεις. Αυτά τα μεγάλα λάθη παρατηρούνται συνήθως για ANN [15.29]. Οι συντάκτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ANN είναι δύσκολο να χειριστεί ως εργαλείο της διάγνωσης για να προσδιορίσει την διαστρωματικής αποκολλησης . Περισσότερα τρεξίματα θα μπορούσαν να φέρουν καλύτερη ANN αλλά το γεγονός παραμένει ότι ANN απαιτεί πολλών παραγόντων που συντονίζουν όπως οι παράμετροι κατάρτισης ή οι δομές δικτύων για να λάβει τις καλύτερες εκτιμήσεις. Το RSM δεν έχει το πρόβλημα συντονισμού και οδηγούμενος στις καλύτερες προβλέψεις. Αν και ο κριτικός να συμφωνήσει με το συντάκτη σε εκείνη την ANN απαιτήστε ειδικά όσον αφορά τον αριθμό κρυμμένων στρωμάτων και ο αριθμός νευρώνων ανά κρυμμένο στρώμα εκτός από τον τύπο δομής

ANN που χρησιμοποιεί, αυτό θα μπορούσε να υποστηριχτεί ότι οι φτωχές εκτιμήσεις ήταν ένα αποτέλεσμα του μικρού συνόλου δεδομένων που χρησιμοποιήθηκε στην κατάρτιση. Ένας άλλος λόγος για τα φτωχά αποτελέσματα αφορά εάν το σύνολο δεδομένων κατάρτισης εκτάθηκε ή όχι ολόκληρη τη σειρά συμπεριλαμβανομένης αυτής που χρησιμοποιήθηκε στη δοκιμή.

4.6. Ανίχνευση Crackdamage

Λόγω της αυξανόμενης χρήσης των σύνθετων στις εφαρμογές εφαρμοσμένης μηχανικής, η ανίχνευση των ρωγμών ή των ρωγμών στα σύνθετα υλικά γίνεται ουσιώστ σπουδαιότητας. Αν και συμβατικές υπερηχητικές τεχνικές, όπως το υπερηχητικό β - και η γ-ανίχνευση τεχνικής έχει χρησιμοποιηθεί ευρέως, πολύ συχνά τα μετρημένα σήματα δεν είναι αρκετά ικανοποιητικά να παρέχουν τη σαφή εικόνα των ρωγμών λόγω είτε της inhomogeneous φύσης του υλικού είτε πάρα πολλών αντανάκλασεων κυμάτων που παράγονται από τις διαφορετικές φυλλόμορφες διεπαφές στο σύνθετο πιάτο.

Μια μέθοδος για το μέγεθος και το βάθος ζημίας από τα αποτελέσματα γ-ανίχνευσης που χρησιμοποιούν τα νευρικά δίκτυα ήταν από Okafor και Dutta [47]. Η ζημία κατασκευάστηκε με τη διάτρηση των τρυπών του ποικίλων βάθους και της διαμέτρου στα δείγματα δοκιμής φτιαγμένα από από γραφίτη ίνα ημ7/φ5250-4 το σύνθετο (Bismaleimid). Ένα ακτινωτό νευρικό δίκτυο λειτουργίας βάσης (RBF) αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από τη γ-ανίχνευση για να προβλέψει τις παραμέτρους ζημίας (διάμετρος και βάθος των τρυπημένων με τρυπάνι τρυπών). Οι εισαγωγές στο νευρικό δίκτυο ήταν η διάμετρος και το βάθος των τρυπών όπως μετριοούνται από τα αποτελέσματα γ-ανίχνευσης. Οι παράμετροι παραγωγής ήταν η πραγματικά διάμετρος και το βάθος των τρυπών που τρυπήθηκαν με τρυπάνι στο σύνθετο πιάτο. Το δίκτυο RBF είχε 78 νευρώνες. Ογδόντα ένα σύνολα στοιχείων που λήφθηκαν από τα αποτελέσματα γ-ανίχνευσης χρησιμοποιήθηκαν για την κατάρτιση του δικτύου. Το δίκτυο σύγκλιζε μετά από 78 επαναλήψεις κατάρτισης. Δέκα σύνολα στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή του performance του δικτύου. Κατά συνέπεια, οι πραγματικές παράμετροι ζημίας προβλέφθηκαν ακριβώς χρησιμοποιώντας την ANN (βλ. τον πίνακα 2).

Το Xu et al [48] πρότειναν ένα προσαρμοστικό πολυστρωματικό πρότυπο (MLP) για την ανίχνευση των ρωγμών στα ανισότροπα πιάτα. Η απάντηση μετατοπίσεων στην επιφάνεια των πιάτων, που διεγείρεται από ένα χρόνος-αρμονικό φορτίο εισαγωγής, χρησιμοποιείται ως εισαγωγή του προσαρμοστικού προτύπου MLP. Οι παράμετροι ρωγμών που διευκρινίζουν τη θέση και το μέγεθος των ρωγμών λαμβάνονται ως παραγωγή MLP. Το πρότυπο MLP εκπαιδεύεται αρχικά χρησιμοποιώντας το δείγμα στοιχείων των διάφορων τύπων δυνατοτήτων ρωγμών και προκυπτουσών μετατοπίσεών τους responses στην επιφάνεια του πιάτου που υπολογίζεται χρησιμοποιώντας μια μέθοδο στοιχείων λουριδίων (SEM). Αυτό το εκπαιδευμένο πρότυπο MLP χρησιμοποιείται έπειτα για να αναδημιουργήσει τις παραμέτρους θέσης και μεγέθους ρωγμών στο ανισότροπο τοποθετημένο σε στρώματα πιάτο με τη σίτιση στη μετρημένη απάντηση μετατοπίσεων επιφάνειας. Αυτές οι αναδημιουργημένες παράμετροι ρωγμών λαμβάνονται στο πρότυπο SEM για να υπολογίσουν την απάντηση μετατοπίσεων στην επιφάνεια πιάτων, ώστε να εξετάσουν εάν αυτό ή όχι η απάντηση ταιριάζει με ικανοποιητικά μετρημένες. Αν όχι, το πρότυπο MLP θα περνούσε από έναν άλλο κύκλο της διαδικασίας επανεκπαίδευσης μέχρι την ικανοποιητική αντιστοιχία επιτυγχάνεται.

Ένας τροποποιημένος back-propagation αλγόριθμος εκμάθησης με ένα δυναμικά ρυθμισμένο ποσοστό εκμάθησης και έναν παράγοντα άλματος επιπροσθετα (για να ανακουφίσει την ταλάντωση και το stagnation στη διαδικασία κατάρτισης ώστε να επιταχυνθεί η σύγκλιση του προτύπου MLP) χρησιμοποιήθηκε. Η έννοια της ορθογώνιας σειράς υιοθετήθηκε για να παραγάγει τους συνδυασμούς των παραμέτρων ρωγμών για να μειώσει τον αριθμό δειγμάτων διατηρώντας την πληρότητα στοιχείων της. Ένα χαρακτηριστικό πρότυπο MLP με μια εισαγωγή, παραγωγή και δύο κρυμμένα στρώματα χρησιμοποιήθηκε. Ο αριθμός νευρώνων στην εισαγωγή και output τα στρώματα καθορίζεται από τον αριθμό κόμβων επιφάνειας στον οποίο η απάντηση μετατοπίσεων αποκτιέται και ο αριθμός παραμέτρων ρωγμών που αναδημιουργούνται. Μια μέθοδος αναπτύχθηκε για να καθορίσει τον αριθμό οπτικών νευρώνων σε κάθε κρυμμένο στρώμα, το οποίο ολοκληρώνεται συνήθως από τη δοκιμή ένα λάθος. Ο αριθμός νευρώνων ή των πρώτων και δεύτερων κρυμμένων στρωμάτων ορίστηκε αρχικά για να είναι 45 και 20 αντίστοιχα. Αυτός ο αριθμός

ρυθμίστηκε έπειτα βασισμένος στα ορισμένα κριτήρια. Το Finally ο αριθμός των 24 και των 9 λήφθηκε για πρώτα και δεύτερα κρυμμένα στρώματα αντίστοιχα.

Η τεχνική ανίχνευσης εξετάστηκε χρησιμοποιώντας το τοποθετημένο σε στρώματα πιάτο α, όπου το γ και τα γ αντιπροσωπεύουν τον άνθρακα/εποξικός και το γυαλί/τα εποξικά στρώματα, αντίστοιχα. Για τη βελτιστοποιημένη αρχιτεκτονική MLP, το κριτήριο σύγκλισης εκπληρώθηκε μετά από 7032 επαναλήψεις

κατάρτισης.

Οι πρώτες αναδημιουργίες των παραμέτρων ρωγμών λήφθηκαν αμέσως με τη σίτιση μιμούμενης απάντησης στο εκπαιδευμένο πρότυπο MLP για τέσσερις τύπους ρωγμών που βρέθηκαν στις διαφορετικές θέσεις και με το διαφορετικό μήκος. Αυτές οι αναδημιουργημένες παράμετροι ρωγμών τέθηκαν στη συνέχεια στο πρότυπο SEM για να υπολογίσουν τις απαντήσεις μετατοπίσεων επιφάνειας του πιάτου. Αυτές οι υπολογισμένες απαντήσεις βρέθηκαν για να είναι σημαντικά διαφορετικούς από τους μιμούμενους και για τις τέσσερις περιπτώσεις. Η διαδικασία επανεκπαίδευσης απαιτήθηκε έτσι. Μετά από τρεις φορές της επανεκπαίδευσης, οι απαντήσεις μετατοπίσεων από τις αναδημιουργημένες παραμέτρους ρωγμών ήταν πιθανές πολύ κοντά στις μιμούμενες και για τις τέσσερις περιπτώσεις.

Η υπερηχητική ανίχνευση και η ακουστική εκπομπή των σύνθετων σωλήνων που υποβλήθηκαν στην πολυαξονική φόρτωση ερευνήθηκαν από Prevorogovskiy et al [49]. Οι δοκιμές φέρθηκαν σε μια διαξωνική μηχανή φόρτωσης, η οποία συνδυάζει τον υπολογιστή pressurization το σύστημα με την ελεγχόμενη εκτατή φόρτωση. Οι υπερηχητικές γ-ανιχνεύσεις καταγράφηκαν πριν και μετά από τη φόρτωση για να συγκρίνουν τα επίπεδα ζημίας που καθορίστηκαν με τις μηχανικές (αποσύνθεση των ελαστικών συντελεστών), υπερηχητικές και οπτικές μεθόδους. Κατά τη διάρκεια των πειραμάτων, το pressure φόρτωσης, η αξονική δύναμη, η αξονική πίεση και η πίεση στεφανών ήταν μαζί με τις παραμέτρους ΑΕ από έξι μετατροπείς ΑΕ.

Διάφορες αρχιτεκτονικές ANN εκπαιδεύθηκαν και από τις αριθμητικά μιμούμενες και πειραματικά διαμορφωμένες πηγές ΑΕ. Οι εισαγωγές του πρώτου στρώματος είναι διαφορές των χρόνων άφιξης ΑΕ και τα αποτελέσματα από το τελευταίο στρώμα είναι συντεταγμένες πηγές ΑΕ. Ο Back-propagation αλγόριθμος βασισμένος στη νευρική εργαλειοθήκη δικτύων MATLAB χρησιμοποιήθηκε για την κατάρτιση ANN. Ο αριθμός νευρώνων ανά κρυμμένο στρώμα τέθηκε σε 15. Οι ικανότητες εντοπισμού εκπαιδευμένης ANN επικυρώθηκαν χρησιμοποιώντας ένα σύνολο 60 εξεταστικών σημείων. Οι συντάκτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι ο αλγόριθμος εντοπισμού ΑΕ βασισμένος σε ANN και που εκπαιδεύθηκε από τα στοιχεία ταχύτητας κυμάτων, εμφανίστηκε να είναι ένα κατάλληλο και ακριβές procedure για τις περίπλοκες ανισότροπες δομές.

Για τον αξιόπιστο αυτόματο έλεγχο ζημίας στα σύνθετα, είναι σημαντικό να προσδιοριστούν σχετικά με σήματα ΑΕ μιτρών και ινών τα το failure. Μια υβριδική μέθοδος που είναι α συνδυασμός πολυστρωματικού perceptron δύο δικτύων συγκεκριμένα (MLP) και self-organizing χάρτη χαρακτηριστικών γνωρισμάτων Kohonen (SOFM) εφαρμόστηκε από το φραγκό et al [50]. Ανατροφοδότηση εκμάθησης οι πολυστρωματικοί μολυβδοί ANN στη συγκέντρωση των στοιχείων για να ταξινομήσει τα στοιχεία βασισμένα στα similarities. Οι κατηγορίες θα βρεθούν από το συσχετισμό ενός ρεύματος δεδομένων εισόδου που ακολουθείται με το μαρκάρισμα των συστάδων με το κατάλληλο όνομα κατηγορίας. Μεταξύ αρκετών που συγκεντρώνονται τα νευρικά συστήματα δικτύων, SOFM βρέθηκε για να είναι η μορφή ανεπίβλεπτης εκμάθησης στη νευρική λογοτεχνία δικτύων, εφαρμόσιμη για την ταξινόμηση σημάτων ΑΕ.

Τα σήματα ΑΕ αποκτήθηκαν με έναν (ένα πολυμερές σώμα ημικρυσταλλικό) αισθητήρα ταινιών PVDF από το γυαλί τα εποξικά τοποθετημένα σε στρώματα σύνθετα τριών διαφορετικών συνόλων συσσώρευσης των ακολουθιών, [0/0], [0/90], και [±45] κατά τη διάρκεια του μονοτονική σύνδεση χρησιμοποιώντας ANN για τον αυτόματους προσδιορισμό και την ταξινόμηση των τρόπων αποτυχίας.

Τα σύνθετα δελτία με τη συσσώρευση της ακολουθίας [0/0] υποβλήθηκαν στο εκτατό φορτίο μέχρι την αποτυχία. Αυτό το εκπαιδευμένο δίκτυο χρησιμοποιήθηκε για να ταξινομήσει τα σήματα που παρήχθησαν σε τρεις κατηγορίες. Η ύπαρξη των σημαντικών γεγονότων αριθμού και σε στους τρεις μολυβδούς κατηγοριών στο συμπέρασμα που τρεις μηχανισμοί failure εμφανίστηκαν κατά τη διάρκεια της φόρτωσης (μήτρα που ραγίζει, μιτρών ινών και σπάσιμο ινών).

Παρόμοιες με τα ομοιοκατευθυνόμενα φύλλα πλαστικού, οι εκτατές δοκιμές πραγματοποιήθηκαν στο γυαλί/τα εποξικά φύλλα πλαστικού διαγώνιος-πτυχών [0/90] στην αποτυχία. Το εκπαιδευμένο δίκτυο που χρησιμοποιήθηκε το ΑΕ κάνει σήμα από [0] φύλλα πλαστικού, χρησιμοποιήθηκε για τη μελέτη. Η παραγωγή του δικτύου εκθέτει τρεις κατηγορίες σημάτων που αντιστοιχούν στους τρεις κυρίαρχους μηχανισμούς αποτυχίας που εμφανίζονται στο σύνθετο διαγώνιος-πτυχών κάτω από το tensile φορτίο (εγκάρσια μήτρα που ραγίζει, ρήξη στη μήτρα ινών και τη ρήξη ινών). Υποβάλλοντας τα [+ 45] φύλλα πλαστικού γωνία-πτυχών στα εκτατά φορτία, τα επίκτητα σήματα ΑΕ που υποβλήθηκαν σε επεξεργασία με ANN ήταν επίσης ταξινομημένα τα σήματα σε τρία στρώματα. Με βάση την ταξινόμηση του μηχανισμού ζημίας στα σύνθετα γωνία-πτυχών, ένας έως ένας συσχετισμός των μηχανισμών damage θα μπορούσε να γίνει με την υπογραφή ΑΕ τους που αντιστοιχεί στους μηχανισμούς ζημίας λόγω της μήτρας που ραγίζει σε στα μέσα του στρώματος, την τοπική διαστρωματική αποκόλληση και οι πρόοδοι του αντίστοιχα.

Από αυτά τα αποτελέσματα, οι συντάκτες κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι διάφοροι μηχανισμοί

αποτυχίας στα σύνθετα θα μπορούσαν να είναι με ANN.

4.7. Αντίκτυπος

Ο αντίκτυπος έχει ένα από τα καταστρεπτικότερα αποτελέσματα στα ενισχυμένα σύνθετα. Μια μέθοδος τη δύναμη επαφών στα τοποθετημένα σε στρώματα σύνθετα πλάτα που υποβάλλονται στο χαμηλό αντίκτυπο ταχύτητας αναπτύσσεται από Chandrashekhara et το AI [51] χρησιμοποιώντας την πεπερασμένη ανάλυση στοιχείων (FEA) και ένα νευρικό δίκτυο. Ένα πεπερασμένο πρότυπο στοιχείων βασισμένο στο α η θεωρία παραμόρφωσης κούρας υψηλός-διαταγής χρησιμοποιείται για υπολογισμό στη δύναμη σχεδίων και επαφών πίεσης για τον αντίκτυπο χαμηλός-ταχύτητας. Η ANN εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας τα αποτελέσματα από το FEA. Μόλις εκπαιδευθεί, το δίκτυο μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη σε απευθείας σύνδεση εκτίμηση της δύναμης επαφών εάν το αντίκτυπος-προκληθέν σχέδιο πίεσης μπορεί να ληφθεί πειραματικά ή αριθμητικά, η πεπερασμένη προσομοίωση στοιχείων εκτελείται χρησιμοποιώντας τον κώδικα του LS DYNA3D με τετρακόσια στοιχεία κοχλιών που χρησιμοποιούνται για να διαμορφώσουν το σύνθετο πλάτο. Τα αριθμητικά αποτελέσματα για τις ιστορίες δύναμης και πίεσης επαφών επιτυγχάνονται για τους διάφορους όρους, τη γεωμετρία πλάτων και τους boundary όρους. Για την κατάρτιση του δικτύου, τα σήματα πίεσης καθορίζονται σε τρεις διαφορετικές θέσεις στο πλάτο κοντά στη θέση αντίκτυπου.

Ένα back-propagation νευρικό δίκτυο χρησιμοποιείται στην εστίαση τη δύναμη επαφών. Το στρώμα εισαγωγής είχε έξι νευρώνες που αντιστοιχούν στις-ΕΠΠΠΕΔΕΣ κανονικές πιέσεις στις τρεις διαφορετικές θέσεις στο πλάτο. Το πρώτο κρυμμένο στρώμα έχει 20 νευρώνες, τα δεύτερα και τρίτα στρώματα έχουν 10 νευρώνες κάθε ένα. Το στρώμα παραγωγής έχει έναν νευρώνα που προβλέπει η δύναμη επαφών. Η υπερβολική λειτουργία εφαπτομένης χρησιμοποιήθηκε ως λειτουργία ενεργοποίησης. Το network σχεδιάζεται και εκπαιδεύεται χρησιμοποιώντας τη νευρική επαγγελματική II συσκευασία εργασιών. Υπάρχουν 180 εισόδου-εξόδου σύνολα στοιχείων για την κατάρτιση του νευρικού δικτύου. Για να ερευνήσουν την επίδραση των παραμέτρων κατάρτισης, τέσσερα νευρωνικά δίκτυα με τη διαφορετική αξία της εκμάθησης των ποσοστών και των συντελεστών momentum θεωρήθηκαν. Δέκα σύνολα στοιχείων χρησιμοποιήθηκαν για τη δοκιμή του εκπαιδευμένου δικτύου. Αυτά τα σήματα πίεσης παράγονται από τα πεπερασμένα αποτελέσματα προσομοίωσης στοιχείων και δεν συμπεριλαμβάνονται στα αρχικά σύνολα κατάρτισης.

4.8. Τριβολογικές ιδιότητες

Δύο κατηγορίες προτύπων χρησιμοποιούνται στην ανάλυση των τριβολογικών στοιχείων: εμπειρικά πρότυπα και φαινομενολογικά πρότυπα. Στα εμπειρικά πρότυπα, ορισμένα ποσοτικά σχέσεων μεταξύ των τριβολογικών μεταβλητών τίθενται ως αίτημα a priori. Στα φαινομενολογικά πρότυπα, αφ' ετέρου, οι ποσοτικές σχέσεις μεταξύ των τριβολογικών μεταβλητών αναπτύσσονται από τις βασικές εξισώσεις των μηχανικών συνέχειας, των μηχανικών σπασίματος, αν και τα φαινομενολογικά πρότυπα προτιμώνται από θεωρητική άποψη, είναι δύσκολο να ιδρυθούν για μια ανάλυση των πρακτικών τριβολογικών πειραμάτων. Επομένως, τα εμπειρικά πρότυπα εξουσιάζουν την ανάλυση των πρακτικών τριβολογικών πειραμάτων μέχρι σήμερα. Μια νέα προσέγγιση παρουσιάζεται από Velten et το AI [52] που ερευνήσαν τη δυνατότητα των τεχνικών ANN για να προβλέψει και να αναλύσει τη συμπεριφορά ένδυσης των απότομα ίνα-ενισχυμένων πολυμερών φερόντων υλικών.

Σε αυτήν την διατύπωση, να ανατροφοδοτήσει τρεις-στρώματος νευρικό δίκτυο με τις λογιστικές λειτουργίες μετασχηματισμού μεταξύ του κρυμμένου και στρώματος παραγωγής χρησιμοποιήθηκε. Προκειμένου το MSE, ένας back-propagation αλγόριθμος χρησιμοποιήθηκε μαζί με τον αλγόριθμο. Η έγχυση σεβεντυ-δύο φορμάρισε τα δείγματα PA46-σύνθετα που τροποποιήθηκαν με τα διαφορετικά ποσά ινών γυαλιού ή άνθρακα, PTFE ή/και γραφίτης. Οι δοκιμές διάβρωσης εφαρμόστηκαν στα δείγματα. Η απώλεια όγκου ως μέτρο για

το ποσοστό ένδυσης καθορίστηκε με το ζύγισμα της μάζας του δείγματος πριν και μετά από τη δοκιμή. Τα υλικά και οι πειραματικοί όροι χαρακτηρίστηκαν βασισμένοι στις ακόλουθες ποσότητες: συμπιεστική δύναμη, συντελεστής συστολής στην αποτυχία, εκτατή δύναμη, πίεση στην αποτυχία, δύναμη αντίκτυπου περιβαλλοντολογικής εξεταστικής θερμοκρασίας, αρχικό φορτίο, μέσο φορτίο και μέση ταχύτητα. Αυτές οι παράμετροι χρησιμοποιήθηκαν ως εισαγωγές στην ANN ενώ η μέτρηση όγκου ένδυσης ήταν η ποσότητα παραγωγής. Δεδομένου ότι ένας σχετικά μεγάλος αριθμός ποσοτήτων εισαγωγής χρησιμοποιήθηκε, ένα βήμα προεπεξεργασίας ήταν προκειμένου να προσδιοριστούν και να αφαιρεθούν οι συσχετισμοί τα συστατικά του διανύσματος εισαγωγής. Χρησιμοποιώντας μια ανάλυση κύριων τμημάτων, εκείνα τα τμήματα του διανύσματος εισαγωγής που συμβάλλει λιγότερο από 2% στο συνολικό variation στο σύνολο δεδομένων αποβλήθηκαν.

Οι προβλέψεις αποκτηθείσες χρησιμοποιώντας ένα σύνολο δεδομένων 72 μετρήσεων όγκου ένδυσης βρέθηκαν ικανοποιητικές. Η ποιότητα των προβλέψεων μπορεί να βελτιωθεί με τα αυξανόμενα διαθέσιμα σύνολα στοιχείων και με τη βελτιστοποίηση της κατασκευής δικτύων όσον αφορά την απόδοσή της (όπως η εισαγωγή των ζυγισμένων μέσων τετραγωνικών λαθών στο κριτήριο απόδοσης). Πρέπει να σημειωθεί ότι στις μη-σύνθετες εφαρμογές υλικών, για να απαιτήσει τα αποδεκτά αποτελέσματα, το μέγεθος του εξεταστικού συνόλου αναμένεται για να είναι το μισό μέγεθος του γενικού διαθέσιμου συνόλου δεδομένων. Αυτές οι προσδοκίες δεν θα ικανοποιούνταν ποτέ στη σύνθετη περιοχή λόγω η μεγάλη διασπορά στα πειραματικά στοιχεία αποκτηθέντα. Επιπλέον λόγω του υψηλού κόστους στα σύνθετα, που ελαχιστοποιεί ο αριθμός δοκιμασμένων δειγμάτων είναι σημαντικός.

Σε μια ακόλουθη εργασία, ένα Zhang et ένα Al [53] η ποιότητα των προβλέψεων με την προσθήκη των πληροφοριών για την υλική σύνθεση ως μέρος των δεδομένων εισόδου, την αύξηση του μεγέθους του συνόλου δεδομένων, και τη βελτιστοποίηση της διαμόρφωσης ANN. Ένα συνολικό σύνολο 103 ανεξάρτητων μετρήσεων ένδυσης που προέρχονται από τη διάβρωση των δοκιμών του κοντού ένα-ενισχυμένου πολυαμιδίου 4,6 σύνθετα με τις διάφορες υλικές συνθέσεις στη διαφορετική ένδυση που μετρούν τους όρους χρησιμοποιήθηκε για να εκπαιδεύσει και να εξετάσει το δίκτυο. Τα σύνθετα υλικά, οι μηχανικές ιδιότητες και οι εξεταστικοί όροι χρησιμοποιήθηκαν δεδομένου ότι οι παράμετροι εισαγωγής και τα χαρακτηριστικά ένδυσης ήταν τα δεδομένα εξόδου. Σε αυτήν την περίπτωση, 88 σύνολα δεδομένων επιλέχθηκαν τυχαία από τη βάση δεδομένων δεδομένου ότι τα σύνολα κατάρτισης, και τα άλλα 15 χρησιμοποιήθηκαν για να εξετάσουν την ANN. Μια λειτουργία μεταφοράς μαύρισμα-SIG χρησιμοποιήθηκε στο στρώμα εισαγωγής και για να αποφύγει την παραγωγή σε μια μικρή σειρά, μια γραμμική λειτουργία μεταφοράς χρησιμοποιήθηκε στα κρυμμένα στρώματα.

4.9. Έλεγχος δόνησης

Αν και έχει υπάρξει πολλοί λειτουργούν στο ενεργό control των δομικών συστημάτων, η εφαρμογή των νευρικών networks στην καταστολή δόνησης της σύνθετης έξυπνης δομής είναι ακόμα πολύ περιορισμένη. Για να επιτύχει αυτόν τον σκοπό, ο Lee [54] ανέπτυξε τρία νευρικά δίκτυα: ένας για τον προσδιορισμό δευτέρων συστημάτων, ' δεύτερος για τη σε απευθείας σύνδεση κρατική εκτίμηση, και το τρίτο για την καταστολή δόνησης.

το εποξικό γυαλί τοποθετημένο σε στρώματα με δύο ενσωματωμένους πιεζοηλεκτρικούς ενεργοποιητές και ένας πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας εξετάστηκε. Ο δεύτερος στο τέταρτο και το έβδομο στα ένατα στρώματα περιέλαβαν τα πιεζοηλεκτρικά στοιχεία, κάθε ένα για το πάχος τριών στρωμάτων. Τα πειράματα του προσδιορισμού συστημάτων πραγματοποιούνται στην έξυπνη δομή κάτω από το σφινγκτήρας-ελεύθερο condition ορίου. Ένας πιεζοηλεκτρικός ενεργοποιητής υιοθετείται για να διεγείρει το cantilever πιάτο ενώ δύο επιταχύμετρα μετρούν τη μετατόπιση και την ταχύτητα ακρών. Τα σήματα τάσης μετατοπίσεων, ταχύτητας και ενεργοποιητών ακρών χρησιμοποιούνται ως input για την κατασκευή του προτύπου δικτύων προσδιορισμού. Back-propagation α (6-7-2) το δίκτυο υιοθετείται για η λειτουργία μεταφοράς εισαγωγής/παραγωγής στην οποία ο αριθμός κρυμμένων νευρώνων επιλέχθηκε για να μειώσει τη λειτουργία λάθους μέσα σε 5%. Μετά από την ικανοποιητική κατάρτιση, το πρότυπο δικτύων προσδιορισμού επικυρώνεται από ένα σύνολο τυχαίου σήματος εκτός από εκείνους στα στοιχεία κατάρτισης μια άριστη συμφωνία φαίνεται.

Η εισαγωγή που τίθεται για την κατάρτιση του ελεγκτή επιλέγεται στην κατ' εκτίμηση σειρά δόνησης της έξυπνης δομής, και το επιθυμητό σύνολο παραγωγής υπολογίζεται από τη διαφορική εξίσωση δεύτερης διαταγής. Πεντακόσια σύνολα κατάρτισης στην πιθανή σειρά δόνησης συλλέχθηκαν στη φάση για την κατάρτιση ελεγκτών. Το back-propagation δίκτυο α (3-3-1) με το προσαρμοστικό ποσοστό εκμάθησης και τον όρο ορμής χρησιμοποιείται για να εκπαιδεύσει τον ελεγκτή. Για να ελέγξει την αποτελεσματικότητα του ελεγκτή, η κλειστή απάντηση συστημάτων βρόχων συγκρίνεται με αυτήν του προτύπου αναφοράς και βρέθηκε για να συμπεριφέρεται ως επιθυμητό πρότυπο αναφοράς της σύνθετης έξυπνης δομής. Για τα πειράματα δόνησης, δύο επιταχύμετρα που συνδέονται στην άκρη χρησιμοποιούνται για να μετρήσουν τη μετατόπιση και την ταχύτητα συστημάτων. Η αριθμητικά προσομοίωση και το πείραμα είναι σε άριστη συμφωνία.

Για τα δομικά συστήματα με διάφορους κυρίαρχους τρόπους δόνησης και σύνθετη δυναμική, ένα πολύ μεγάλο αριθμός αισθητήρων είναι θα απαιτούνταν. Δεδομένου ότι αυτό είναι πολύ ακριβός, ένας νευρικός κρατικός εκτιμητής είναι απαραίτητος. Για ο κρατικός εκτιμητής, το σύνθετο πιάτο διεγείρεται από το τυχαίο σήμα που διανέμεται ομοιόμορφα στην πιθανή σειρά δόνησης, και η μέτρηση από τα δύο τα επιταχύμετρα και ένας ενσωματωμένος πιεζοηλεκτρικός αισθητήρας λήφθηκε στην ίδια συχνότητα και εφαρμόστηκε στην κατάρτιση του νευρικού εκτιμητή και του νευρικού ελεγκτή. Συνολικά 1200 σημεία

στοιχείων συλλέγονται για την κατάρτιση του κρατικού εκτιμητή. Διαπιστώθηκε ότι με τη χρησιμοποίηση back-propagation (4-3-2) του δικτύου, με τον πιεζοηλεκτρικό αισθητήρα τα σήματα ως εισαγωγή μπορούν να δώσουν την ακριβή εκτίμηση της μετατόπισης και την ταχύτητα με τα λάθη κάτω από 5%. Ο κρατικός εκτιμητής εφαρμόζεται έπειτα στο πείραμα καταστολής δόνησης που συνοδεύεται με το νευρικό δίκτυο αποκτηθέν Ο νευρικός κρατικός εκτιμητής όχι μόνο μείωσε τον αριθμό αισθητήρων αλλά και παρέχει την αξιόπιστη εκτίμηση έτσι ώστε για να εξασφαλίσει την αξιοπιστία και την αποδοτικότητα συστημάτων.

Το Smyser και Chandrashekhara [55] χρησιμοποίησαν γραμμικό τετραγωνικό τον γκαουσιανό με τη μεθοδολογία αποκατάστασης μεταφοράς βρόχων (LQG/\$I*itr) για να σχεδιάσουν έναν γερό ελεγκτή βάσει του κρατικού διαστημικού προτύπου του συστήματος. Το κρατικό διαστημικό πρότυπο λήφθηκε χρησιμοποιώντας το superposition μεθόδου και τρόπον πεπερασμένος-στοιχείων. Το πρότυπο πεπερασμένος-στοιχείων βασίστηκε σε μια θεωρία παραμόρφωσης κουράς υψηλός-διαταγής, η οποία περιέλαβε τις πλευρικές πιέσεις. Η ακτίνα σε δέκα πεπερασμένα στοιχεία και τα δύο sensors συνδέθηκαν στις κορυφαίες και κατώτατες επιφάνειες της ακτίνας με τους ενεργοποιητές που συνδέθηκαν πάνω από τους αισθητήρες. Οι δύο παραθεμένοι ενεργοποιητές πολώθηκαν στις αντίθετες κατευθύνσεις προκειμένου να παραχθεί μόνο η κάμπτουσα στιγμή. Για όλες τις προσομοιώσεις, μια τέσσερα από γραφίτη/εποξική ακτίνα στρώματος [T300/5208 του 0/90/90/0] με τα στερεώνω-ελεύθερα conditions ορίον εξετάστηκε.

Μόλις το σχέδιο ελεγκτών ήταν πλήρες, ένας νευρικός ελεγκτής δικτύων αναπτύχθηκε για να μιμηθεί το γερό ελεγκτή. Ο νευρικός ελεγκτής δικτύων αποτελέστηκε από δύο ανατροφοδότηση νευρικά δίκτυα κάθε ένα φτιαγμένο επάνω από στρώμα εισαγωγής, κρυμμένο στρώμα και στρώμα παραγωγής. Οι εισαγωγές στο πρώτο δίκτυο είναι οι τάσεις αισθητήρων και τα κράτη ελεγκτών. Δίκτυο 1 έπειτα οι νέες προβλεφθείσες καταστάσεις του ελεγκτή. Αυτό το output είναι η εισαγωγή στο δεύτερο δίκτυο. Τα αποτελέσματα του δεύτερου δικτύου είναι οι τάσεις ενεργοποιητών που απαιτούνται για να ελέγξουν την ακτίνα. Ο αριθμός νευρώνων στα στρώματα εισαγωγής και παραγωγής καθορίζεται από τον αριθμό αισθητήρων και ενεργοποιητών στην ακτίνα. Για αυτήν την εργασία, μόνο 2 αισθητήρες και ενεργοποιητές χρησιμοποιούνται, οδηγώντας σε 12 κράτη για τον ελεγκτή. Κατά συνέπεια το δίκτυο 1 έχει 14 εισαγωγές και 2 αποτελέσματα και δίκτυο 2 έχουν 12 εισαγωγές και 2 έξω -, βάζει. Η καλύτερη σύγκλιση λήφθηκε με το δίκτυο -1 που έχουν 20 κρυμμένους νευρώνες στρώματος και το δίκτυο 2 που έχει - κρυμμένοι νευρώνες στρώματος □ 17. Τα νευρικά δίκτυα που χρησιμοποιήθηκαν για ελεγκτή να μιμηθούν το σχέδιο ελεγκτών εκπαιδεύθηκαν χρησιμοποιώντας το back-propagation αλγόριθμο λάθους.

Μόλις εκπαιδεύθηκε ο ελεγκτής ANN, το performance του εξετάστηκε για τους διάφορους αρχικούς όρους και

έναντι αυτού του ελεγκτή. Και οι δύο ελεγκτές μετρίασαν επιτυχώς τη δόνηση της ακτίνας. Η ευρωστία και των δύο ελεγκτών ήταν επίσης για μια παραλλαγή των παραμέτρων συστημάτων. Το NN controller αποδείχθηκε για να παρέχει την ευρωστία και τις ικανότητες ελέγχου ισοδύναμες με αυτήν του ελεγκτή.

Το Valoor et το Al [56] ανέπτυξαν ένα self-adapting σύστημα ελέγχου δόνησης για την αύξηση στις σύνθετες ακτίνες παρόμοιες με εκείνους χρησιμοποιούμενους μέσα. Οι αισθητήρες και οι ενεργοποιητές μπορούν να

ενσωματωθούν ή η επιφάνεια συνδεδεμένος στις διαφορετικές θέσεις κατά μήκος του μήκους της τοποθετημένης σε στρώματα σύνθετης ακτίνας. Κάθε ενεργοποιητής μπορεί να ωθηθεί ανεξάρτητα, και ομοίως κάθε παραγωγή αισθητήρων είναι ένα ανεξάρτητο voltage. Κάθε τάση αισθητήρων εξαρτάται μόνο από τη θέση, τις πιέσεις, και τις πιεζοηλεκτρικές υλικές ιδιότητες.

Όπως πριν, η προσαρμοστική νευροαρχιτεκτονική ελέγχου αποτελείται από δύο νευρικά δίκτυα: δηλαδή το δίκτυο προσδιοριστικών και το δίκτυο ελεγκτών. Κάθε δίκτυο αποτελείται από ένα στρώμα εισαγωγής, ένα κρυμμένο στρώμα και ένα στρώμα παραγωγής.

Το νευρικό προσδιοριστικό δικτύων εκπαιδεύεται off-\$I*line 3000 εισόδου-εξόδου ζευγάρια που παράγονται χρησιμοποιώντας χρησιμοποιώντας το πεπερασμένο πρότυπο element. Οι ημιτονοειδείς τάσεις ενεργοποιητών του εύρους 200 B και των συχνοτήτων ίσων με τα πρώτα δύο συχνότητες χρησιμοποιήθηκαν για την παραγωγή των στοιχείων κατάρτισης. Το προσδιοριστικό εκπαιδεύθηκε έως σότου ήταν το ομαλοποιημένο mean-square λάθος κάτω από 0,01. Μόλις εκπαιδεύθηκε το προσδιοριστικό μέσα στα αποδεκτά όρια το υβριδικό σύστημα συγκεντρώθηκε. Ο ελεγκτής DRNN ήταν εκπαιδευμένο ενώ το ίδιο το προσδιοριστικό μαθαίνει τις quasi-static αλλαγές στη δυναμική συστημάτων. Στη συνέχεια, οι προσομοιώσεις δοκιμής πραγματοποιήθηκαν για να μελετήσουν την απόδοση και το robustness του συστήματος νευρικός-ελέγχου για τα διαφορετικά αρχικές καταστάσεις, τις δομικές παραλλαγές παραμέτρου και την απώλεια αντίληψης ή ώθησης. Η διαμόρφωση ακτινών χρησιμοποιούμενη είναι παρόμοια με αυτήν μέσα [55]. Δύο ανεξάρτητοι παραθεμένοι αισθητήρες και ενεργοποιητές βρίσκονται στην ακτίνα. Σαν result ο ελεγκτής και το προσδιοριστικό έχουν δύο την παραγωγή νευρώνων κάθε ένα. Το δίκτυο προσδιοριστικών εκπαιδεύεται με 20 κρυμμένα στρώματα ενώ το δίκτυο ελεγκτών εκπαιδεύεται με

10 κρυμμένα στρώματα. Η επαναλαμβανόμενη αρχιτεκτονική ελέγχου αποδείχθηκε για να αποδώσει αποτελεσματικά και εύρωστα σε όλη τον περιπτώσιολογική μελέτη.

τεχνητά νευρικά δίκτυα

Η ενσωμάτωση των συγκεκριμένων αρχών σε ένα νευρικό δίκτυο δίνει περισσότερη ευελιξία χρηστών και ένα πιο ισχυρό σύστημα. Η ασάφεια σημαίνει σε αυτήν την περίπτωση περισσότερη ευελιξία στο πρόγραμμα του συστήματος τα όρια μπορούν να περιγράψουν γενικότερα, όχι crisply οι εισαγωγές μπορούν να περιγράψουν περισσότεροαόριστα, όμως καλύτερος έλεγχος μπορεί να ληφθεί

Στα περισσότερα συγκεκριμένα προβλήματα, οι κανόνες παράγονται βασισμένος στην προηγούμενη εμπειρία. Οι εισόδου-εξόδου σχέσεις (κανόνες) εκφράζονται με τις δηλώσεις. Είναι σημαντικό να χρησιμοποιηθεί η καλή κρίση και να μειωθεί ο αριθμός κανόνων και να επικεντρωθεί σε εκείνους που μπορούν σημαντικά να συμβάλλουν στο πρόβλημα. Διαφορετικά, το πρόβλημα γίνεται πάρα πολύ μεγάλο και περίπλοκο πάρα πολύ.

Η μεταβλητότητα (ασάφεια) στις παραμέτρους (οποιοδήποτε τύπου) εισάγεται με τη διευκρίνιση μιας αποκαλούμενης λειτουργίας ιδιότητας μέλους v (X) όπου το X δείχνει μια αντιπροσωπευτική παράμετρο. Η μορφή της λειτουργίας ιδιότητας μέλους είναι μια υπόθεση που ικανοποιεί τους πειραματικούς όρους και τα αποτελέσματα ή απλά οι υποθέσεις της θεωρητικής διαμόρφωσης (σχέδιο 14). Η λειτουργία ιδιότητας μέλους είναι μια κάθετη αντιπροσώπευση του συγκεκριμένου parameter X . Υπάρχει επίσης ένα ισοδύναμο οριζόντιο αποκαλούμενο α -περικοπή. Η α -περικοπή δείχνει το διάστημα $[/j]$ α στο οποίο η δυνατότητα $X < \alpha$. Στη vertex μέθοδο, οι λειτουργίες ιδιότητας μέλους όλων των συγκεκριμένων παραμέτρων X , χρησιμοποιώντας διάφορες α -περικοπές. Υπό τη γεωμετρική έννοια, οποιαδήποτε α -περικοπή αποτελεί έναν υπερβολικός-κύβο στο v διαστατικό διάστημα όπου το v είναι ο αριθμός συγκεκριμένων παραμέτρων. Το FI διανομών δυνατότητας (X) μπορεί να είναι η χρησιμοποίηση των α -περικοπών σε διαφορετικά επίπεδα δυνατότητας που κυμαίνονται από 0 έως 1.

οι Ramu και Johnson [59] έχουν μιας από τις πρώτες εργασίες σχετικά με τη χρήση της συγκεκριμένης λογικής ενσωματωμένη ANN στη ζημία στις σύνθετες δομές. Στην εργασία τους ANN χρησιμοποιείται στην έγκαιρη ανίχνευση, την απομόνωση και τη διάγνωση των ελαττωμάτων (ανώμαλη συμπεριφορά ενός συστατικού).

Το πρότυπο εξεταζόμενο είναι ένα σύνθετο πιάτο φτιαγμένο από [glass-epoxy φύλλο πλαστικού 0/±45/90k. Τα σχέδια κατάρτισης παράγονται από την αριθμητική προσομοίωση του προτύπου με τα προκληθέντα ελαττώματα. Η FEA εμπορική συσκευασία NISA χρησιμοποιήθηκε για να μιμηθεί τη μείωση των υλικών ιδιοτήτων (ϵ_X και ϵ_Y) καθώς επίσης και της απώλειας σταθερότητας υποστήριξης ένα συνδυασμό αυτών των ελαττωμάτων εξετάστηκε επίσης.

Τρία δίκτυα, κάθε ένα από τα οποία είναι εξειδικευμένο για ένα μεμονωμένο ελάττωμα, διαμορφώνονται ανεξάρτητα με σκοπό να συνδυάσουν αυτοί για να διαμορφώσουν μαζί ένα ενιαίο δίκτυο που η γενική ζημία. ο Back-propagation αλγόριθμος χρησιμοποιείται για να εκπαιδεύσει τα δίκτυα. Το σήμα εισαγωγής έχει 1024 συστατικά στη χρονική ιστορία, και μειώνεται σε 11 μετά από να προεπεξεργαστεί το χρησιμοποιώντας formation δεικτών ώθησης. Δύο κρυμμένα στρώματα χρησιμοποιούνται με 11 κόμβους ανά στρώμα. Το στρώμα παραγωγής αντιπροσωπεύει τον τύπο και τη δριμύτητα του ελαττώματος περιέχει έναν ενιαίο κόμβο. Συνολικά 225 αρχεία εισαγωγής προετοιμάστηκαν από ποια 200 αρχεία επιλέγονται τυχαία και χρησιμοποιούνται για την κατάρτιση χρησιμοποιώντας έναν αρχικό συντελεστή εκμάθησης 0,1 (μειωμένος αργότερα σε 0,01 για να επιτύχει ένα πρόστιμο που συντονίζει). Το σύνολο δοκιμής περιέχει 75 αρχεία από τα οποία 50 είναι τυχαίοι συνδυασμοί των τύπων ελαττωμάτων σε κατάρτιση και 25 αρχεία που δεν περιλαμβάνονται στο σύνολο κατάρτισης. Διαπιστώνεται ότι 80% των δοκιμασμένων περιπτώσεων προβλέπουν το επίπεδο ελαττωμάτων ικανοποιητικά.

Οι συντάκτες περιέγραψαν επίσης μια νέα στρατηγική που η δύναμη της συγκεκριμένης λογικής στην ύπαρξη καλά- back-propagation τα δίκτυα. Αυτή η τεχνική μπορεί να χειριστεί τους συγκεκριμένους αριθμούς ως εισαγωγή και απαιτεί μόνο τιμές κατά τη διάρκεια της κατάρτισης. Το πρόβλημα εξεταζόμενο αφορά τη επίδραση στις ιδιότητες των πολυμερών σύνθετων. Ένα πρόβλημα αφορά στην ένταση της θερμοκρασίας ή της υγρασίας στην οποία μια δομή υποβάλλεται κατά τη διάρκεια της ζωής της.

Η επίδραση στον εκτατό συντελεστή και την τελευταία εκτατή δύναμη του σύνθετου όπως- 3501 εξετάστηκε. Η εισαγωγή στην ANN αποτελείται από την πληροφορίας θερμοκρασία και την υγρασία ενώ οι πληροφορίες παραγωγής αναφέρονται στη μείωση του εκτατού συντελεστή και της τελευταίας εκτατής δύναμης. Μετά από έναν ικανοποιητικό αριθμό δοκιμών διαπιστώνεται ότι (2-4-2-2) η αρχιτεκτονική ANN δίνει την ικανοποιητική απόδοση. Είκοσι οχτώ διαφορετικοί συνδυασμοί υγρασίας και θερμοκρασίας χρησιμοποιούνται για την κατάρτιση. Το εκπαιδευμένο δίκτυο εξετάζεται ενάντια σε 18 διαφορετικούς συνδυασμούς υγρασίας και θερμοκρασίας και η απόδοση βρέθηκε για να είναι σύμφωνα με την ανοχή.

Το δεύτερο βήμα ήταν να εξεταστεί ο χειρισμός της συγκεκριμένης εισαγωγής. Για λόγους επίδειξης, οι

μεταβλητές εισαγωγής: η θερμοκρασία και η υγρασία υποτίθεται ότι ήταν μέσες και υψηλός-μέσο (η συγκεκριμένη περιγραφή της γλωσσικής μεταβλητής λαμβάνεται από ένα πρότυπο που αναπτύσσεται για αυτόσκοπός). Αυτές οι μεταβλητές αντιπροσωπεύθηκαν όπως τα σύνολα για στα οποία η α -περικοπή εξεταζόμενη αντιστοιχούσε $\alpha = 0$ και $\alpha = 1$ και μεταξύ μιας γραμμικής παραλλαγής υποτίθεται (σχέδιο 1δ). Για κάθε αξία του α , η παραλλαγή της θερμοκρασίας και της υγρασίας μπορεί να αντιπροσωπευθεί από μια ορθογώνια περιοχή με vertices που διαμορφώνουν τις μέγιστες και τις ελάχιστες τιμές της θερμοκρασίας και του moisture (σχέδιο 15b). Οι τιμές κάθε vertex ταΐζονται στην ANN ως εισαγωγές με συνέπεια το διάστημα για το συντελεστή και τη δύναμη ως αποτελέσματα (σχέδιο 15c). Χρησιμοποιώντας το τυποποιημένο πρότυπο, οι συγκεκριμένοι αριθμοί για το συντελεστή και τη δύναμη ήταν ταξινομημένοι όπως υψηλοί. Οι συντάκτες έδειξαν ότι εκπαιδευμένο back-propagation ANN μπορεί να χρησιμοποιηθεί ενάντια στις fuzzy εισαγωγές με την πολύ απλή παραλλαγή.

Η νευρική συγκεκριμένη ανάλυση χρησιμοποιήθηκε από Nyongesa et al [61] για να εκπαιδεύσει ένα αυτοματοποιημένο σύστημα για την αναγνώριση των pertinent χαρακτηριστικών και των χαρακτηριστικών γνωρισμάτων από τα shearograms των σύνθετων χαλασμένων από τον αντίκτυπο. Η ανίχνευση και ο χαρακτηρισμός ζημίας στα τοποθετημένα σε στρώματα σύνθετα από shearography είναι συχνά αναξιόπιστοι για τις ρωγμές και τα σπασίματα ινών σε αντιδιαστολή με την ελασματοποίηση, λόγω μιας έλλειψης σχηματισμού των σαφών σχεδίων περιθωρίου. Οι συντάκτες επομένως παρουσίασαν μια μέθοδο για τα περιθώρια στην κακή ποιότητα και τις νευρικές συγκεκριμένες τεχνικές για να ταξινομήσουν τα σύνθετα προσεγγίζοντας, ένας αντιληπτικός παρά εικονοκώταρο βασισμένος στον της εικόνας παράγεται με άλλα λόγια, ο σκοπός είναι να εξαχθούν τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα που θα ήταν προφανή στην ανθρώπινη απεικόνιση.

Το στοιχείο που λήφθηκε από την επεξεργασία εικόνας χρησιμοποιήθηκε για να εκπαιδεύσει συμβατικό back-propagation ANN

για να ταξινομήσει τις υπογραφές που λαμβάνονται από τις εικόνες ως είτε ενδείξεις ενός σχεδίου περιθωρίου είτε όχι. Ο αριθμός κρυμμένων κόμβων και τα ποσοστά εκμάθησης καθορίστηκαν μέσω του πειραματισμού. Δυστυχώς, η παραγωγή της ANN σε πολλές περιπτώσεις θα βρεθεί στην απροσδιόριστη περιοχή. Επομένως πρότειναν να εξετάσουν την αβεβαιότητα κατά τρόπο συστηματικό, μέσω του συγκεκριμένου συλλογισμού. Αυτό σημαίνει ότι στην παραγωγή δικτύων ορίζεται ένα συγκεκριμένο measure για να δείξει το βαθμό στον οποίο είναι "ψεύτικη, "αληθινή" (ελαττωματικός) ή "μεσάζων" (άγνωστος), όσον αφορά το δοκιμασμένο υλικό. Δεδομένου ότι σε έναν στόχο, μια παραγωγή που ανήκει σε έναν από καθορισμένους classes απαιτείται, μια συγκεκριμένη απόφαση χρησιμοποιήθηκε έπειτα στην απόφαση τα αποτελέσματα από τους διαφορετικούς νευρικούς ταξινομητές.

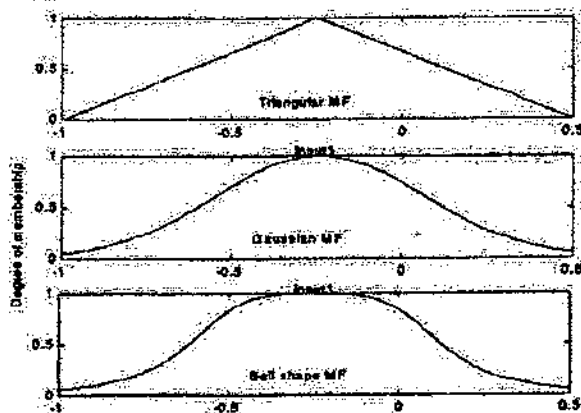
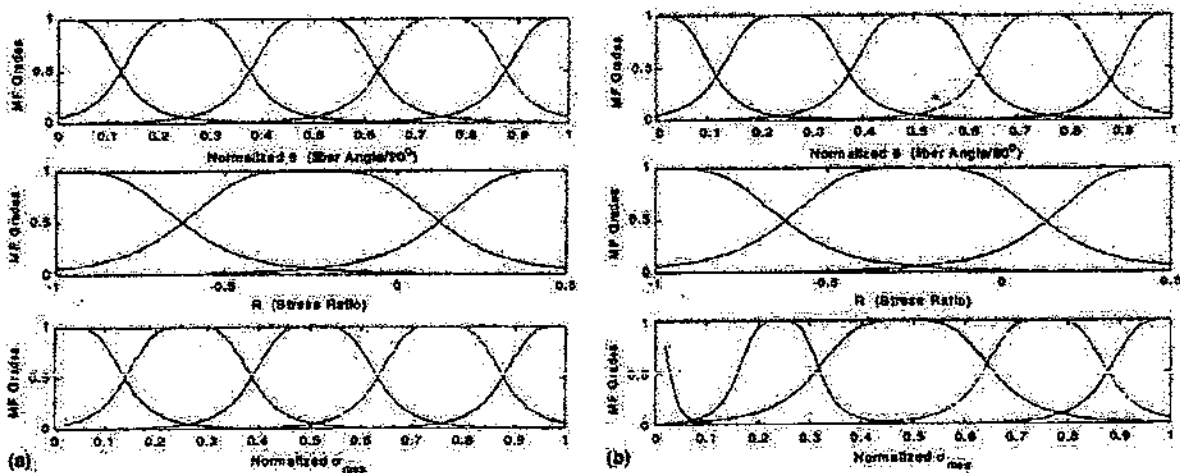
Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι ενώ η ακρίβεια ταξινόμησης ήταν χαμηλή όταν χρησιμοποιώντας τα νευρικά δίκτυα μόνο, ήταν δυνατό να ταξινομηθούν οι εικόνες με τη βεβαιότητα όταν συνδυάστηκαν τα αδύνατα νευρικά δίκτυα χρησιμοποιώντας ένα συγκεκριμένο σύστημα λήψης αποφάσεων. , Εντούτοις, ότι τα αποτελέσματα μετριάζονται με τη μικρή κατάρτιση και η δοκιμή θέτει διαθέσιμος.

Τα πειραματικά στοιχεία, ειδικά δοκιμές κούρασης, έχουν επιπτώσεις τις σειρές της διασποράς από στη μεταβλητότητα στην υλική μικροδομή από ένα δείγμα δοκιμής σε άλλο. Προκειμένου να αποφευχθούν τέτοια προβλήματα και αφ' ετέρου, για να περιλάβει τη μεταβλητότητα στις μηχανικές και γεωμετρικές ιδιότητες στην απάντηση ποσοστού ενεργειακής απελευθέρωσης, Muc και την KE, το dziora [62] υιοθέτησε ένα συγκεκριμένο σύνολο προσεγγίζοντας την ανάλυση της μήτρας που ραγίζει στα φύλλα πλαστικού διαγώνιος-πτυχών.

. Η ρωγμή υποτίθεται ότι ήταν συμμετρική όσον αφορά την κατεύθυνση φόρτωσης και οι κόμβοι προσώπου ρωγμών αφέθηκαν ελεύθεροι. Τέσσερις παράμετροι ήταν υποτιθέμενες fuzzy: τρεις μηχανικές ιδιότητες: Πρώην, ϵ_2 και γ_2 και μια γεωμετρική παράμετρος που περιγράφει τη θέση του κέντρου ρωγμών. Η μεταβλητότητά τους (ασάφεια) λαμβάνεται για να είναι $\pm 10\%$, που πέφτει μέσα σε χαρακτηριστικό, κυμαίνεται της διασποράς στα experimental στοιχεία από τις στατικές δοκιμές.

Η συνεργιστική επίδραση της ασάφειας που εισάγεται σε περισσότερες από μια υλικές ή γεωμετρικές παραμέτρους βρίσκεται για να οδηγεί στη σημαντικά μεγαλύτερη σειρά και ασυμμετρία της μεταβλητότητας στην ποσότητα απάντησης παραγωγής έναντι της ανάλυσης των παραλλαγών μιας παραμέτρου μόνο. Επίσης παρατηρήθηκε ότι ορισμένοι συνδυασμοί παραμέτρων είναι κρισιμότεροι από άλλα όσον αφορά τα ολοκληρώματα Το Jajah et al [63] χρησιμοποίησαν ένα προσαρμοστικό νευρο-συγκεκριμένο σύστημα inference (ANFIS) [64] αρχιτεκτονική για να διαμορφώσει το σχέσεις μεταξύ των μεταβλητών εισαγωγής παραγωγής της συμπεριφοράς κούρασης της ομοιοκατευθυνόμενης ίνας γυαλιού/των εποξικών σύνθετων. Οι μεταβλητές εισαγωγής ήταν η μέγιστοι πίεση, ο προσανατολισμός ινών και η αναλογία πίεσης, ενώ η παραγωγή ήταν ο αριθμός κύκλων στην αποτυχία. ANFIS μπορεί να κατασκευάσει μια μη γραμμική εισόδου-εξόδου χαρτογράφηση βασισμένη συνήθως

στην ανθρώπινη εμπειρία και τα ζευγάρια στοιχείων. Ένας αλγόριθμος υβριδικός-εκμάθησης χρησιμοποιείται για να προσαρμόσει τις παραμέτρους ANFIS για να βελτιστοποιήσει το network. Σε τέτοιο αλγόριθμο η least-square μέθοδος χρησιμοποιείται για να ενημερώσει τις επακόλουθες παραμέτρους στο μπροστινό πέρασμα. Στο οπίσθιο πέρασμα, τα ενημερώνονται με την κοσμική μέθοδο κλίσης. Οι ευρετικοί κανόνες χρησιμοποιούνται στην αναβαθμηση του ποσοστού εκμάθησης για να εγγυηθούν τη γρήγορη σύγκλιση. Εάν ο αλγόριθμος συγκλίνει συνεχώς, η εκμάθηση



αυξάνεται για να επιταχύνει τη σύγκλιση. Εντούτοις, εάν ο αλγόριθμος εκθέτει μια ταλαντώσεων συμπεριφορά, το ποσοστό μειώνεται για να βεβαιώσει τη σύγκλιση.

Ο αρχικός αριθμός λειτουργιών (MF) ιδιότητας μέλους επιλέχθηκε για να είναι 5-3-5 αντίστοιχος στις εισαγωγές θ , ρ και σ -ανώτατα, αντίστοιχα (βλ. το σχέδιο 1γ). Αυτή η επιλογή βασίστηκε στο γεγονός ότι 6 είχαν πέντε ευδιάκριτες τιμές στην πειραματική οργάνωση, το ρ είχε τρεις τιμές και ενανύωτατος μπόρεσε να συγκεντρωθεί σε πέντε επικαλύπτοντας περιοχές. Εβδομήντατεσσερα από τα διαθέσιμα πειραματικά σημεία στοιχείων (92 σημεία) χρησιμοποιήθηκαν για να εκπαιδεύσουν το πρότυπο ANFIS ενώ το υπόλοιπο χρησιμοποιήθηκε για να εξετάσει τις προβλέποντας ικανότητές του. Όπως, οι λειτουργίες ιδιότητας μέλους για θ και το ρ δεν άλλαξαν μετά από να εκπαιδεύσουν δεδομένου ότι ο αριθμός τους ήταν επιλεγμένος ίσος στις ευδιάκριτες πειραματικές τιμές. Αυτό δεν ήταν η περίπτωση για τη μορφή και τον αριθμό λειτουργιών ιδιότητας μέλους που συνδέθηκαν με το ΓΦανώτατο, δεδομένου ότι το πειραματικό δεδομένο εισόδου είναι πολύ μεγαλύτερο από τον αρχικό αριθμό λειτουργιών ιδιότητας μέλους που αντιπροσωπεύουν αυτήν την μεταβλητή (σχέδιο 16b).

Ένας τριγωνικός και λειτουργίες μιας με σχήμα καμπάνας ιδιότητας μέλους συγκρίθηκε (σχέδιο 16c). Το με σχήμα καμπάνας MF έδωσε την καλύτερη απόδοση, η οποία μπορεί να αποδοθεί στη φύση των

στοιχείων κούρασης στα σύνθετα όπου μια παραλλαγή στα δεδομένα εισόδου μπορεί να μην οδηγήσει σε μια παραλλαγή στην παραγωγή. Αυτό ως εκ τούτου θα απαιτούσε ένα MF με μια πιο επίπεδη κορυφή όπως το με σχήμα καμπάνας MF χρησιμοποιώντας το MF λιγότερο από πέντε που συνδέεται ανώτατος μόλυβδος με του ο "σε μια υψηλότερη αξία του MSE αυξάνοντας τον αριθμό πέρα από το μόλυβδο πέντε σε μια πολύ μικρή βελτίωση στο MSE εις βάρος της πολυπλοκότητας του προτύπου. Τριάντα πέντε εποχές απαιτήθηκαν για να λάβουν ένα αποδεκτό MSE πέρα από αυτό το όριο, οι ταλαντώσεις αργά αποσύνθεσης ήταν πεπειραμένες και η αύξηση του αριθμού εποχών θα παράτεινε ακριβώς την κατάρτιση με λίγη μείωση του MSE. Έναντι των προβλέψεων αποκτηθεισών χρησιμοποιώντας το κλασσικό back-propagation ανατροφοδότηση νευρικό δίκτυο [27], ένα πολύ χαμηλότερο μέσο τετραγωνικό λάθος λήφθηκε με το νεύρο-συγκεχυμένο πρότυπο που οδηγεί στις ακριβέστερες προβλέψεις ζωής κούρασης.

5. Συμπέρασμα και μελλοντική εργασία

Αυτό ήταν μια συνοπτική αντανάκλαση στη χρήση ANN στον τομέα των σύνθετων υλικών κατά τη διάρκεια της προηγούμενης δεκαετίας. Αυτό το δείγμα της εργασίας που αναφέρεται, δείχνει ότι η χρήση ANN μπορεί να οδηγήσει στις προβλέψεις τόσο ακριβείς όπως, εάν μη καλύτερος, από εκείνοι που λαμβάνονται με τις συμβατικές μεθόδους. Βελτιώνοντας τις προφητικές ικανότητες αυτών των δικτύων με, παραδείγματος χάριν, οι μέθοδοι την αρχιτεκτονική ANN, ο αριθμός κρυμμένων στρωμάτων στη χρήση και ο αριθμός νευρώνων σε κάθε κρυμμένο στρώμα είναι ακόμα θέματα για την περαιτέρω έρευνα. Ένα άλλο ερευνητικό θέμα που είναι ακόμα άλυτο είναι η δυνατότητα να προβλεφθεί

η μηχανική συμπεριφορά ενός τύπου σύνθετου υλικού μόλις είναι γνωστό το πειραματικό στοιχείο για άλλο kinds how που πολλά υλικά πρέπει να χρησιμοποιηθούν ως κατάρτιση έθεσε για να δώσει τις ακριβείς προβλέψεις για ένα νέο υλικό. Επίσης, ποιες υλικές ιδιότητες είναι οι σημαντικότερες να λάβουν υπόψη όταν ερευνώνται διάφορα σύνθετα υλικά. Μια μεγάλη επιτυχία ANN θα ήταν η ικανότητα για να προβλέψει τη μηχανική συμπεριφορά ενός φύλλου πλαστικού όταν είναι γνωστή η συμπεριφορά ενός ενιαίου ελάσματος, επιπρόσθετα στην παραλλαγή των ιδιοτήτων με τη γωνία ινών, αυτό το πρόβλημα πρέπει να ενσωματώσει την ακολουθία συσσώρευσης ειδικά κάτω από τη φόρτωση κούρασης όπου η ακολουθία αλλάζει σημαντικά τη μηχανική συμπεριφορά του φύλλου πλαστικού. Επιπλέον, συμπεριλαμβανομένης της συγκεχυμένης λογικής στο πρόβλημα η διατύπωση φαίνεται να είναι μια ανάπτυξη που είναι ακόμα στα βασικά στάδιά της και απαιτεί επίσης πολλή περαιτέρω έρευνα. Η ανάπτυξη των κατάλληλων κανόνων που χρησιμοποιούνται για τις διαφορετικές εφαρμογές καθώς επίσης και τις κατάλληλες λειτουργίες ιδιότητας μέλους που χρησιμοποιούνται σε κάθε περίπτωση, είναι ακόμα ερευνητικοί τομείς για το μέλλον.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1.PRINCIPLES OF COMPOSITES MATERIALS MECHANICS
ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ:GIBSON RONALD R, MC GRAW-HILL

2.NEYRAL NETWORK DESIGN AND THE COMPLEXITY OF
LEARNING
ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ:JUDD STEPHEN,MIT PRESS

3.DAMAGE MECHANICS OF COMPOSITE MATERIALS
ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ: TALREQA R,ELSEVIER

4.INTERNET