A photograph of a car body on an assembly line. Several orange robotic arms are visible, positioned around the car. The background shows a factory setting with various mechanical components and structures.

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ
ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**"Η ΡΟΜΠΟΤΙΚΗ ΚΑΙ Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΗΣ
ΣΤΙΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑΛΛΩΝ"**

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ: ΚΑΠΠΟΣ ΚΩΝΣΤΑΝΤΙΝΟΣ

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ:

ΓΚΙΖΙΩΤΗΣ ΑΛΕΞΑΝΔΡΟΣ - ΜΟΥΤΣΑΤΣΟΣ ΑΝΤΩΝΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2003

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο: ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ.	
1.1 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ	14
1.2 ΟΡΙΣΜΟΙ	16
1.3 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤ	19

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο: ΡΟΜΠΟΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	
2.1 ΑΙΤΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤ	27
2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤ	28
2.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ	29
2.4 ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ	32
2.4.1 Ικανότητα Μεταφοράς	32
2.4.2 Ικανότητα Μεταχείρισης	33
2.4.3 Ικανότητα Αίσθησης	33
2.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	34
2.5.1 Διαχείριση Υλικών	34
2.5.2 Φόρτωση και Εκφόρτωση Μηχανών	35
2.5.3 Ψεκασμός	36
2.5.4 Ηλεκτροσυγκόλληση	36
2.5.5 Μηχανουργικές Κατεργασίες	37
2.5.6 Συναρμολόγηση	37
2.5.7 Επιθεώρηση -Έλεγχος	38
2.6 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΧΡΗΣΤΕΣ ΡΟΜΠΟΤ	39

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο: ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	
3.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ	44
3.1.1 Ρομπότ Σταθερής Στάσης	44
3.1.2 Σερβοελεγχόμενα Ρομπότ	44

3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΙΝΗΣΗΣ	45
3.2.1 Ρομπότ Σημείου-προς-Σημείο (point-to-point Robots)	45
3.2.2 Ρομπότ Συνετούς Τροχιάς (Continuous Path Robots)	45
3.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ	46
3.3.1 Ορθογωνικά Ρομπότ (Rectangular Robots)	47
3.3.2 Κυλινδρικά Ρομπότ (Cylindrical Robots)	48
3.3.3 Σφαιρικά Ρομπότ (Spherical Robots)	48
3.3.4 Αρθρωτά Ρομπότ	49
3.3.5 Ρομπότ Τύπου SCARA	51
3.3.6 Ρομπότ Τύπου Gantry	51
3.3.7 Παράλληλοι Χειριστές	53
3.3.8 Ρομποτικά Χεριά	54
3.3.9 Κινητά Ρομπότ	56
3.3.9.1 Βαδίζοντα Κινητά Ρομπότ	57
3.3.9.2 Κυλιόμενα Κινητά Ρομπότ	58
3.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ	59
3.4.2 Ρομπότ Συναρμολόγησης	60
3.4.3 Ρομπότ Εφαρμογών θαλάμων Κενού	60
3.4.4 Ρομπότ Εκπαίδευσης/Ερευνάς	61
3.5 ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	61
3.5.1 Πνευματικοί Κινητήρες	61
3.5.2 Υδραυλικοί ή Ηλεκτροϋδραυλικοί Κινητήρες	62
3.5.3 Ηλεκτρικοί Κινητήρες	62
3.6 ΆΛΛΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ	63

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο: ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	
4.1 Η ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ	63
4.2 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ	67
4.3 ΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΩΝ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ	69
4.3.1 Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος (DC)	69
4.3.2 Βηματικοί Κινητήρες	74
4.3.3 Υδραυλικοί Κινητήρες	76

4.4 Ο ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΚΑΙ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	78
4.5 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ	80
4.6 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ	84
4.7 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΕΠΙΚΟΙΝΩΝΙΑΣ ΑΝΘΡΩΠΟΥ-ΜΗΧΑΝΗΣ	87
4.8 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΡΟΜΠΟΤ	90
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΕΝΘΕΤΟ 1⁰	98

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5⁰: ΤΑ ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ	
5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	107
5.2. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	108
5.2.1. Ακολουθία συγκόλλησης	109
5.3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	110
5.4. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΝΟΣ ΡΟΜΠΟΤ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	111
5.4.1. Μηχανική συναρμολόγηση	111
5.4.2. Το εργαλείο συγκόλλησης (πιστολέτο)	113
5.4.2.1 Πιστολέτα συγκόλλησης με υπερυψωμένους μετασχηματιστές	113
5.4.2.2 Αγκιστρωμένοι μετασχηματιστές	114
5.4.2.3 Πιστολέτα συγκόλλησης με ενσωματωμένους μετασχηματιστές	115
5.4.3. Μονάδα ελέγχου	116
5.5. ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ	118
5.5.1. Τα κομμάτια που πρέπει να συγκεντρωθούν	119
5.5.2. Γεωμετρική διαμόρφωση	121
5.5.3. Διανομή της συγκόλλησης	122
5.5.3.1 Επιλογή σημείων συγκόλλησης	122
5.5.3.2 Λειτουργική διαδικασία	123
5.5.3.3 Ομαδοποίηση σημείων συγκόλλησης	123
5.5.3.4 Φάση σχεδιασμού πιστολέτου συγκόλλησης	123
5.5.4. Ρυθμός παραγωγής	123
5.5.4.1 παράγοντας χρησιμοποίησης γραμμών	124
5.5.4.2 Χρόνος συγκόλλησης	124
5.5.4.3 Προσχεδιάζοντας την γραμμή συναρμολόγησης	125
5.5.4.4 Ο ελάχιστος αριθμός των ρομπότ	125
5.5.5. Ευελιξία	126

5.5.5.1 Βαθμοί ευελιξίας	126
5.5.5.2 Ευελίξια αντικατάστασης	127
5.5.6. Τοποθέτηση των κομματιών και μεταφορά	127
5.5.6.1 Τοποθέτηση των κομματιών κατά την επεξεργασία	127
5.5.6.2 Μεταφορά των κομματιών	127
5.5.7. Περιβάλλον	128
5.5.7.1 Τοποθέτηση του ρομπότ	128
5.5.7.2 Διαθέσιμος χώρος δαπέδου	128
5.6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΡΟΜΠΟΤ	129
5.6.1. Σταθμοί γεωμετρικής διαμόρφωσης και συγκόλλησης καρφιών	129
5.6.2. Γραμμές Underbody	130
5.6.3. Πλαϊνά μέρη ή γραμμές πλαισίου του δαπέδου	131
5.6.4. Γραμμές με καθέτου σχεδιασμού συγκόλληση	131
5.6.5. Τελικές γραμμές συναρμολόγησης	131

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο : ΤΑ ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΞΟΥ	
6.1. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΞΩΝ	134
6.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΡΟΜΠΟΤ ΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΞΟΥ	136
6.3. ΤΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ	136
6.3.1. Καθοριστές της θέσης συγκόλλησης	137
6.3.2. Χειρισμός ρομπότ	140
6.4. ΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΞΟΥ	142
6.4.1. Καθοδήγηση συγκόλλησης και κόστος	144
6.4.2. Χρησιμοποίηση ρομπότ και χώρου δαπέδου	144
6.4.3. Χρησιμοποίηση πολλαπλών καθοριστών θέσεως	145
6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ	146
6.5.1. Κόστος των μετάλλων πληρώσεως	146
6.5.2. Αποδοτικότητα εν απόθεσης	147
6.5.3. Δαπάνες αερίου	148
6.5.4. Κόστος Εργασιών	150
6.5.5. Συνολικό κόστος συγκόλλησης	152
6.5.6. Ο σχεδιασμός των κόμβων εξοικονομεί χρήματα	155
6.6. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΞΟΥ	156

6.6.1. Εμπειρίες που αποκομίσθηκαν από την ρομποτική συγκόλληση τόξου	156
6.6.2. Πρότυπα συγκολλήσεως	161
6.6.3. Επανασχεδιασμός προϊόντος	162
6.6.4. Σχεδιασμός προσαρτημάτων	162
6.6.5. Μέγεθος και βάρος των κομματιών προς κατεργασία	163
6.6.5.1 Μερικός εντοπισμός θέσεων	164
6.6.5.2 Στερέωση	164
6.6.5.3 Οργάνωση	164

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο: Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ	
7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	165
7.2. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ	166
7.2.1. Απαιτήσεις λειτουργίας	168
7.2.2. Διαδικασία λειτουργίας συγκόλλησης	172
7.3. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΞΟΥ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ GMAW	174
7.3.1. Παράμετροι λειτουργίας	178
7.3.2. Λειτουργία	179
7.3.2.1 Ύφανση	180
7.3.2.2 Προσαρμοζόμενος έλεγχος	183
7.3.3. Παρατηρήσεις	184
7.4. ΠΕΡΙΛΗΨΗ	185

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΞΟΥ ΣΕ ΚΟΜΜΑΤΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο: ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΞΟΥ ΣΕ ΚΟΜΜΑΤΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ	
8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	186
8.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ	186
8.3 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ	189
8.4. ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΩΝ ΡΟΜΠΟΤ	191
8.5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ	193

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9⁰: ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	
9.1 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ	195
9.2 ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ	198
9.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ	201
9.3.1 Ανάπτυξη Υλικού (Hardware Development)	203
9.3.2 Ανάπτυξη Λογισμικού (Software Development)	206
9.3.3 Τεχνική και Οικονομική Υποστήριξη	207
9.3.4 Κοινωνική Αποδοχή και Ασφάλεια	208
9.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	209
9.4.1 Βιομηχανία Ημιαγωγών	209
9.4.2 Κατασκευές, Συναρμολόγηση και Επιθεώρηση	209
9.4.3 Διαχείριση Υλικών	210
9.4.4 Οικιακές Εφαρμογές	210
9.4.5 Διαστημικές και Υποβρύχιες Εφαρμογές	211
9.4.6 Ιατρική	211
9.5. ΕΤΑΙΡΕΙΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ	213
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΟ ΕΝΘΕΤΟ 2⁰	215

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Η Ρομποτική ως ερευνητική πλατφόρμα και τεχνολογία εφαρμογής γνωρίζει μεγάλη άνθηση και αποδοχή εδώ και τρεις δεκαετίες. Η εποχή που διανύουμε μπορεί να θεωρηθεί ως η ωρίμανση και ενηλικίωση της και αυτό φαίνεται τόσο από τις εφαρμογές και την εξάπλωση της, όσο και από τα ερευνητικά αποτελέσματα. Προηγμένες ερευνητικά και τεχνολογικά χώρες (Ιαπωνία, ΗΠΑ, χώρες της Δυτικής και Ανατολικής Ευρώπης) έχουν αναπτύξει και συνεχίζουν να στηρίζουν την έρευνα και τις εφαρμογές της Ρομποτικής τόσο με οριζόντιες όσο και με κάθετες δράσεις. Οι λόγοι έχουν να κάνουν τόσο με τα οικονομικά οφέλη για τις εθνικές τους οικονομίες που προκύπτουν από την αυτοματοποίηση και με τον εν γένει εκσυγχρονισμό της παραγωγής, όσο και με τις προσδοκίες και προοπτικές που τροφοδοτούνται από τα αποτελέσματα σε επιστημονικό επίπεδο.

Ένας άλλος λόγος για την εξάπλωση της Ρομποτικής είναι η στενά εξαρτημένη και αλληλεπιδραστική σχέση της με τεχνολογίες αιχμής όπως η Πληροφορική, η Ηλεκτρονική, τα Συστήματα Αυτομάτου Ελέγχου και Τεχνητής Νοημοσύνης, η Τεχνολογία Αισθητήρων, κ.ά. η οποία λειτουργεί πολλαπλασιαστικά αλλά και πυροδοτεί εξελίξεις.

Οι εφαρμογές της Ρομποτικής είναι ιδιαίτερα δημοφιλείς στις ημέρες μας. Αρκετά συχνά, τα μέσα μαζικής επικοινωνίας αναφέρονται σε επιτεύγματα ερευνητικών εργαστηρίων ενώ πολυάριθμες ερευνητικές ομάδες ασχολούνται σε έργα με ιδιαίτερα υψηλές απαιτήσεις και προσδοκίες. Σχεδόν καθημερινά, γίνεται λόγος για ρομπότ που εκτελούν εργασίες στο διάστημα και ελέγχονται από τη Γη, που πραγματοποιούν υποβρύχιες εξερευνήσεις και εργασίες, που συμμετέχουν σε ιατρικές εγχειρήσεις, ή ακόμα και ρομπότ που συναναστρέφονται ανθρώπους. Έχουν ακόμη παρουσιασθεί ρομπότ που έχουν διάφορες μορφές, είναι ανθρωποειδή, ερπυστριοφόρα-κινητά, διαθέτουν

όραση και ακοή, έχουν αντίληψη των μεταβολών του περιβάλλοντος τους, έχουν δάκτυλα και διαχειρίζονται άγνωστα αντικείμενα με επιδεξιότητα, κινούνται σε μη δομημένους ή σε γνωστούς χώρους, θέτουν στόχους και παίρνουν αποφάσεις, κλπ. Εξάλλου, υπάρχουν σήμερα σε παγκόσμιο επίπεδο περίπου 800.000 ρομποτικές εγκαταστάσεις, κυρίως στη βιομηχανία και ο αριθμός αυτός αυξάνεται με έναν μέσο ετήσιο ρυθμό της τάξης του 10%. Τα ρομπότ συνεπώς αποτελούν ήδη μέρος της ζωής μας και η συμμετοχή τους στα επόμενα χρόνια θα είναι όλο και μεγαλύτερη.

Μία σύντομη ιστορική αναδρομή καταδεικνύει ότι η πρόθεση δημιουργίας ανθρωπομορφικών μηχανών-υπηρετών, δηλαδή κατά κάποιον τρόπο πρωτόγονων ρομπότ, υπήρχε από την αρχαιότητα, είτε μέσα στη μυθολογία πολλών λαών, είτε μέσα από τη δημιουργία αυτόματων μηχανισμών, με ή χωρίς ανθρώπινη μορφή. Στα «ρομπότ» αυτά παρατηρούνται, τηρουμένων των αναλογιών, ομοιότητες στη σύλληψη, λειτουργία και χρήση πράγμα που δηλώνει ότι πρέπει να είχαν επιχειρηθεί κάποιες προσπάθειες.

Στις αρχές του 20ου αιώνα, η αντίληψη των ανθρώπων για τα ρομπότ, εκφράσθηκε κυρίως μέσα από την τέχνη, σε κινηματογραφικές ταινίες ή μυθιστορήματα επιστημονικής φαντασίας, τα οποία παρουσίαζαν τα ρομπότ ως δημιουργήματα ανώτερων, ακόμα και εξωγήινων πολιτισμών, τα οποία είτε βρίσκονται στην υπηρεσία του ανθρώπου και κάποια στιγμή επαναστατούν υποδουλώνοντας τον, είτε συμμετέχουν στη διακυβέρνηση την οποία ασκούν με ψυχρό και σκληρό τρόπο. Το γεγονός αυτό συνδέεται με την έκρυθμη κατάσταση του πρώτου μισού του αιώνα μας καθώς και με τις εκρηκτικές διαστάσεις των επιστημονικών και τεχνολογικών επιτευγμάτων της εποχής αυτής. Η Ηλεκτρονική, η Κυβερνητική και η Πληροφορική τροφοδότησαν τη Ρομποτική καθιστώντας εφικτή την ανάπτυξη και υλοποίηση των ρομποτικών μηχανισμών με τη μορφή που έχουν σήμερα.

Η ανάπτυξη αυτή έχει σήμερα προσλάβει εντυπωσιακούς ρυθμούς με αποτέλεσμα η επιστήμη της Ρομποτικής να έχει ξεφύγει από το στενό επιστημονικό πλαίσιο των δεκαετιών του '50 και του '60. Τα σημερινά ρομποτικά συστήματα εξυπηρετούν όχι μόνο εφαρμογές έρευνας, αλλά και βιομηχανικές, εξερευνητικές, εφαρμογές της καθημερινής ζωής. Η τρέχουσα τάση της Ρομποτικής είναι η ολοκλήρωση προηγμένων αισθητηρίων συστημάτων, η προσαρμοστικότητα και η αντίληψη σε διάφορες συνθήκες

περιβάλλοντος, η λήψη αποφάσεων στα περιβάλλοντα αυτά, η αυτονομία, δηλαδή η λειτουργία «κατ' εικόνα και ομοίωση» του ανθρώπου.

Η εκτεταμένη εξάπλωση της Ρομποτικής έχει συνεπώς τη βάση της στην πρόθεση δημιουργίας ανθρωπόμορφων μηχανών. Η πρόθεση αυτή οδήγησε στην ολοκλήρωση και το συνδυασμό πολλών γνωστικών πεδίων, εφόσον η δημιουργία εξελιγμένων μηχανών με ικανότητες και επιδόσεις ανθρώπων απαιτεί συνδυασμένη γνώση και προσπάθεια.

Οι κύριες συνιστώσες επιστήμες που συνδράμουν και συνθέτουν τη ρομποτική έρευνα και τεχνολογία είναι οι ακόλουθες:

- Μηχανική, όσον αφορά θέματα ανάλυσης και σχεδίασης των μηχανικών τμημάτων (σύνδεσμοι, αρθρώσεις, κ.ά.), μηχανισμών (σύστημα μετάδοσης της κίνησης-γρανάζια, εργαλεία δράσης, κ.ά.) και της λειτουργίας των (έδραση, αποφυγή συντονισμών, κ.ά.).
- Μαθηματικά, αλγόριθμοι και αριθμητική ανάλυση για την αποδοτική υλοποίηση των σύνθετων υπολογισμών και στρατηγικών ελέγχου, τις γεωμετρικές αναπαραστάσεις, τη μαθηματική μοντελοποίηση και προσομοίωση, κ.ά.
- Συστήματα αυτομάτου ελέγχου για τη μελέτη και το σχεδιασμό του συστήματος ελέγχου του βραχίονα, βασισμένο στο μοντέλο του χειριστή με ανάδραση πληροφορίας από τους εσωτερικούς αισθητήρες.
- Τεχνητή νοημοσύνη (ή ευφυής έλεγχος) για την ενσωμάτωση εξωτερικής αισθητήριας ανατροφοδότησης, δηλαδή πληροφορίας υψηλού επιπέδου στο σύστημα ελέγχου του ρομπότ, για την επίτευξη ευφυούς και «αυτόνομης» συμπεριφοράς.
- Τεχνολογία λογισμικού και προγραμματισμός, για την κωδικοποίηση και εκτέλεση των αλγορίθμων και της διαχείρισης του ρομποτικού συστήματος, σε επίπεδο προγραμματισμού εφαρμογής (σε περιβάλλοντα ή σε γλώσσες) και λειτουργικού συστήματος.
- Ηλεκτρονική, στην υλοποίηση των προηγούμενων λειτουργιών με αναλογικά και ψηφιακά κυκλώματα, μικροεπεξεργαστές και αισθητήρια.
- Συστήματα παραγωγής για ανάλυση, σχεδιασμό και υλοποίηση ολοκληρωμένων βιομηχανικών εφαρμογών με ρομπότ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΒΑΣΙΚΕΣ ΕΝΝΟΙΕΣ ΚΑΙ ΟΡΙΣΜΟΙ

1.1 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ

Η λέξη ρομπότ (robot) εμφανίσθηκε για πρώτη φορά από τον Τσέχο σκηνοθέτη Karel Capek στο έργο του RUR (Rosuum's Universal Robots) που παίχθηκε για πρώτη φορά στο Παρίσι το 1922. Στο έργο αυτό, μικρά, τεχνητά, ανθρωπομορφικά πλάσματα, υπάκουαν αυστηρά τις διαταγές του κυρίου τους, τελικά όμως ξεσηκώθηκαν ενάντια στους δημιουργούς τους. Στην τσέχικη και ρώσσιχη γλώσσα, τα πλάσματα αυτά ονομάζονταν robotnik, από τη λέξη robota, που σημαίνει «καταναγκαστική εργασία» και «αγγαρεία». Το έργο του Capek είναι πρωταρχικά υπεύθυνο για τις ευρύτερες απόψεις των ανθρώπων σχετικά με τα ρομπότ μέχρι και σήμερα ακόμη, συμπεριλαμβανομένης της αντίληψης περί ανθρωπόμορφων μηχανών προικισμένων με ανεξάρτητες προσωπικότητες και ευφυΐα. Η εικόνα αυτή ενισχύθηκε από το γερμανικό φιλμ Metropolis (1926) που παρουσίαζε το ρομπότ Electro.

Ο κόσμος έτσι αρχικά είχε την εντύπωση ότι τα ρομπότ ήταν «κακές», ανθρωπόμορφες μηχανές. Ο Isaac Asimov, στη δεκαετία του '50 εισήγαγε την ιδέα των «καλών» ρομπότ, τα οποία απεκάλεσε droids, και έκανε διάσημη τη λέξη Ρομποτική (robotics). Οι ακόλουθοι «Τρεις Νόμοι της Ρομποτικής» διατυπώθηκαν από τον Asimov το 1942 :

1. Ένα ρομπότ δεν μπορεί να τραυματίσει ένα ανθρώπινο όν, ή, εξαιτίας αδράνειας του, να επιτρέψει τον τραυματισμό ενός ανθρώπινου όντος.
2. Ένα ρομπότ πρέπει να υπακούει στις εντολές οι οποίες του δίνονται από ανθρώπινα όντα εκτός από αυτές που έρχονται σε αντίθεση με τον πρώτο νόμο.
3. Ένα ρομπότ πρέπει να προστατεύει την ύπαρξη του εφόσον αυτή η προστασία δεν έρχεται σε αντίθεση με τον πρώτο ή το δεύτερο νόμο.

Τέτοια droids, όπως το R2-D2 και το C3-Po, έγιναν ιδιαίτερα γνωστά

κυρίως χάρη στην κινηματογραφική βιομηχανία (Πόλεμος των Άστρων, 1977).

Η πρωταρχική ωστόσο εμφάνιση των ρομπότ, θεωρώντας τα ανθρωπόμορφες κατασκευές, μπορεί να αναζητηθεί στη μυθολογία διαφόρων λαών. Πολλοί μύθοι της αρχαιότητας αναφέρονται σε μηχανικούς ανθρώπους, αγάλματα αού μιλάνε και έχουν «ψυχή», τεχνητά όντα που δεν είναι άνθρωποι αλλά ούτε και θεοί ή ημίθεοι. Στην Ιλιάδα αναφέρεται η ύπαρξη κάποιων «χρυσών σκλάβων» του βοηθούσαν τον Ήφαιστο, ο οποίος ήταν κουτσός, να περπατάει. Ο ίδιος είχε δημιουργήσει, μαζί με την Αθηνά, θεά της υφαντουργίας, αυτόματα προικισμένα με «ζωή». Μερικά από αυτά τα χρησιμοποιούσε στο εργαστήριο του.

Ο Ήφαιστος ήταν ο θεός της φωτιάς και στο εργαστήριο του εκτελούσε βαριές μηχανουργικές κατεργασίες και παρήγαγε διάφορες κατασκευές, όπλα, κ.λ.π. Ένα από αυτά τα όντα που είχε δημιουργήσει ο Ήφαιστος ήταν ο Τάλως, ένας μεταλλικός γίγαντας από χαλκό έμψυχος και άτρωτος. Ο Ήφαιστος έκανε γαμήλιο δώρο τον Τάλω στην Ευρώπη, και ο Δίας, άνδρας της Ευρώπης, τον χάρισε στον ευνοούμενο του τον Μίνωα, βασιλιά της Κρήτης. Ο Τάλως είχε σαν αποστολή του την προστασία του νησιού από τους εχθρούς, τη μεταφορά των εντολών/διαταγών του βασιλιά Μίνωα στους υπηκόους του και την επίλυση των διαφορών τους. Για αυτό το σκοπό περιδιάβαινε την κρητική επικράτεια τρεις φορές τον χρόνο (κατ' άλλους τρεις φορές την ημέρα) κουβαλώντας στους ώμους του τις χάλκινες πλάκες του νόμου. Όταν το νησί δεχόταν επίθεση από εχθρικά καράβια έριχνε τεράστιες πέτρες εναντίον τους ενώ όταν αποβιβάζονταν στη στεριά πήδαγε μέσα στη φωτιά και μετά έκαιγε τους εχθρούς σφίγγοντας τους πάνω στο στήθος του.

Κατά την επίθεση όμως των Αργοναυτών στο νησί, η Μήδεια κάνοντας του μάγια τον ακινητοποίησε. Ο χάλκινος γίγαντας ήταν άτρωτος - είχε όμως μια μοναδική αρτηρία η οποία ξεκινούσε από το λαιμό και κατάληγε στη φτέρνα η οποία έκλεινε με μια μεμβράνη. Η Μήδεια τρύπησε τη μεμβράνη και ο «ιχώρ», το θεϊκό υγρό δηλαδή που κυλούσε στην αρτηρία, χύθηκε σαν λιωμένο μολύβι.

Ο μύθος αυτός είναι χαρακτηριστικός διότι δίνει τις αντιλήψεις των αρχαίων για τις ανθρωπόμορφες μηχανές οι οποίες ήταν στην υπηρεσία ανθρώπων ή θεών. Ενδιαφέρον έχει το φάσμα των υπηρεσιών/εργασιών που εκτελούσαν τα προϊστορικά 'ρομπότ'. παρατηρείται δηλαδή ότι υπάρχει μια

σύμπτωση με τις σημερινές χρήσεις των ρομπότ (βαριές κατασκευές και μηχανουργικές κατεργασίες, υποβοήθηση ατόμων με κινητικές δυσκολίες, μεταφορά και διαχείριση αντικειμένων, μεταφορά εντολών, λήψη αποφάσεων με διασταύρωση πληροφορίας από βάσεις κανόνων).

1.2 ΟΡΙΣΜΟΙ

Προκειμένου να κατανοηθεί η διάκριση μεταξύ της Ρομποτικής και άλλων συναφών πεδίων, δίνονται αρχικά οι ορισμοί της «μηχανοποίησης» και της «αυτοματοποίησης».

Μηχανοποίηση (mechanization) είναι η χρήση μηχανών που αναλαμβάνουν μερικές από τις εργασίες που εκτελούσαν οι άνθρωποι ή τα ζώα.

Αυτοματοποίηση (automation) είναι η αυτοδιευθυνόμενη παραγωγική δραστηριότητα που είναι αποτέλεσμα του συνδυασμού της μηχανοποίησης και της υπολογιστικής ικανότητας. Τα αυτοματοποιημένα συστήματα χρησιμοποιούν πληροφορία από ανάδραση έτσι ώστε να επιτυγχάνεται η επιθυμητή λειτουργία.

Η έννοια της αυτοματοποίησης ισοδυναμεί με τη μηχανοποίηση και τον αυτόματο έλεγχο και επιπλέον είναι εφοδιασμένη με ένα από τα χαρακτηριστικά: μεθοδολογία συστήματος, ικανότητα προγραμματισμού, ή ανάδραση. Στη συνέχεια, χρησιμοποιώντας τα τρία βασικά στοιχεία: ισχύ (power), δράση (action) και έλεγχο (control), δίνονται οι ορισμοί του εργαλείου (tool), μηχανής (machine), τηλεχειριστή (teleoperator) και ρομπότ. Ο διαχωρισμός μεταξύ των εννοιών αυτών βασίζεται στο ποιος παρέχει την ισχύ και τον έλεγχο και ποιος εκτελεί μία δράση.

Εργαλείο είναι μία συσκευή που χρησιμοποιείται για να εκτελεστεί μία δράση. Όταν χρησιμοποιείται από τον άνθρωπο, ο άνθρωπος παρέχει την ισχύ και τον έλεγχο.

Μηχανή είναι μία συσκευή που χρησιμοποιεί μη ανθρώπινη ισχύ για να εκτελέσει μία δράση. Ο έλεγχος σε μία απλή μηχανή γίνεται από τον άνθρωπο.

Τηλεχειριστής είναι μία μηχανή ικανή να δράσει από απόσταση με τον έλεγχο του ανθρώπου.

Ρομπότ είναι μία ευέλικτη μηχανή που ελέγχει τις δράσεις της σε μία ποικιλία εργασιών χρησιμοποιώντας αποθηκευμένα προγράμματα. Η ευελιξία εξασφαλίζεται από τη δυνατότητα προγραμματισμού. Τα νοήμονα (ευφυή - intelligent) ρομπότ μπορούν να θέσουν τους στόχους τους, να προγραμματίσουν τις δράσεις τους και να διορθώνουν τη λειτουργία τους σύμφωνα με τις μεταβολές στο περιβάλλον τους.

Το λεξικό Webster's ορίζει ως ρομπότ την «αυτόματη μηχανή ή συσκευή που εκτελεί έργα που είχαν αρχικά ανατεθεί σε ανθρώπινα όντα». Ωστόσο, η περιγραφή αυτή είναι πολύ γενική και αφηρημένη. Πράγματι, πολλά ρομπότ μπορούν να εκτελέσουν διάφορα έργα με πολύ πιο ταχύ και προηγμένο τρόπο απ' ό τι οι άνθρωποι. Επίσης, σύμφωνα με τον παραπάνω ορισμό, ακόμη και τα πλυντήρια μπορούν να θεωρηθούν προγραμματιζόμενα ρομπότ. Για το λόγο αυτό, είναι απαραίτητη η εξαγωγή ενός γενικού και πλήρους ορισμού για ρομποτικούς χειριστές.

Ο ακόλουθος ορισμός που διατυπώθηκε από το RIA (Robotics Institute of America) ικανοποιεί τις προϋποθέσεις αυτές:

Ρομπότ είναι ένας επαναπρογραμματιζόμενος, πολυλειτουργικός χειριστής, σχεδιασμένος να μεταφέρει υλικά, αντικείμενα, εργαλεία ή ειδικές συσκευές, μέσω μεταβλητών προγραμματιζόμενων κινήσεων, προκειμένου να εκτελέσει διάφορα έργα.

Το βασικό στοιχείο στον παραπάνω ορισμό είναι ο επαναπρογραμματισμός των ρομπότ, δηλαδή η πολυχρηστικότητα και προσαρμοστικότητα των ρομπότ εξαιτίας της σύνδεσης τους με ηλεκτρονικό υπολογιστή. Η ανάπτυξη της πληροφορικής έδωσε σημαντική ώθηση στη ρομποτική. Ο ορισμός που δόθηκε καλύπτει ένα ευρύ φάσμα ρομποτικών χειριστών μέσα στο οποίο μπορούν να συμπεριληφθούν διάφοροι τύποι ρομπότ που εξυπηρετούν τις ακόλουθες εφαρμογές:

1. Αυτόματη ή Ευέλικτη Κατασκευή. Αυτά τα «βιομηχανικά» ρομπότ χρησιμοποιούνται σε ένα ευρύ πεδίο βιομηχανικών διεργασιών, συμπεριλαμβανομένης της συναρμολόγησης και του ελέγχου αντικειμένων, της διαχείρισης υλικών, της ηλεκτροσυγκόλλησης και της βαφής.

2. Απομακρυσμένη Εξερεύνηση. Η τάξη αυτή των ρομποτικών χειριστών έχει σχεδιασθεί έτσι ώστε να λειτουργεί σε συνθήκες που δεν μπορεί να ανεχθεί ο ανθρώπινος οργανισμός. Ρομπότ αυτού του τύπου χρησιμοποιούνται για εξερεύνηση σε πλανήτες του ηλιακού συστήματος, ή στα βάθη των ωκεανών.
3. Προσθετική και Βιοϊατρική. Η ρομποτική τεχνολογία και η συναφής προς αυτήν τεχνολογία αισθητήρων μπορούν να συνδυασθούν προκειμένου να παρέχουν προσθετικά άκρα με αίσθηση αφής.
4. Διαχείριση Επικίνδυνων Υλικών. Ρομπότ αυτής της κατηγορίας έχουν χρησιμοποιηθεί στην απενεργοποίηση εκρηκτικών (π.χ. σε σήραγγες), στη διαχείριση επικίνδυνων υλικών (π.χ. πυρηνικών αποβλήτων, ραδιενεργών υλικών σε πυρηνικούς αντιδραστήρες, κλπ.), στη συλλογή επιστημονικών στοιχείων σε δυσπρόσιτα μέρη (π.χ. σε ηφαίστεια) και στη διαχείριση συνιστωσών μικροηλεκτρονικής (π.χ. σε θαλάμους κενού - clean rooms).
5. Υπηρεσίες, Τρέχουσες χρήσεις τέτοιων ρομπότ περιλαμβάνουν ασφάλεια, επιστασία, διανομή ταχυδρομείου, πυροπροστασία και αντιμετώπιση πυρκαγιάς και εκτέλεση έργων με φωνητικές εντολές. Η χρήση των ρομπότ υπηρεσιών διευρύνεται καθώς εξελίσσεται η τεχνολογία και μειώνεται το κόστος κατασκευής.

Ένας πιο σύγχρονος ορισμός των ρομπότ δόθηκε από τον διεθνή Οργανισμό Προτύπων (International Standards Organization-ISO) και είναι ο ακόλουθος:

Ένα βιομηχανικό ρομπότ είναι ένας αυτόματος, σερβοελεγχόμενος, ελεύθερα προγραμματιζόμενος, πολλών εφαρμογών χειριστής, με αρκετούς άξονες, για τη διαχείριση αντικειμένων, εργαλείων, ή ειδικών συσκευών. Μεταβλητά προγραμματιζόμενες ενέργειες καθιστούν δυνατή την εκτέλεση πολλαπλών έργων .

Ο Οργανισμός Ρομποτικής τις Αγγλίας (British Robot Association). ακολουθεί τον αντίστοιχο της Αμερικής και ορίζει το βιομηχανικό ρομπότ ως:

μια επαναπρογραμματιζόμενη συσκευή, σχεδιασμένη να χειρίζεται και να μεταφέρει εργαλεία και ειδικές ίδιο κατασκευές (ή και τμήματα αυτών) μέσω μεταβλητών προγραμματιζόμενων κινήσεων για την επίτευξη συγκεκριμένων βιομηχανικών εφαρμογών.

Ο Brady εξάλλου ορίζει τη Ρομποτική ως:

την ευφυή σύνδεση της αντίληψης-νόησης με την ενέργεια-όραση.

Ο ορισμός αυτός καταδεικνύει καταρχήν τον σημερινό προσανατολισμό, ερευνητικό και εφαρμοσμένο, της Ρομποτικής αλλά και τις υψηλές προσδοκίες της.

Ένας διαφορετικός ορισμός, αναλυτικότερος και περιγραφικότερος από τον προηγούμενο, δίνεται από τον McKerrow:

«Ρομποτική είναι το διεπιστημονικό πεδίο στο οποίο εμπλέκονται:

α) ο σχεδιασμός, η κατασκευή, παραγωγή, ο έλεγχος και ο προγραμματισμός

των ρομπότ.

β) η χρήση των ρομπότ για την επίλυση προβλημάτων.

γ) η μελέτη των μηχανισμών ελέγχου, αίσθησης και των αλγορίθμων που χρησιμοποιούνται στον άνθρωπο, τα ζώα και τις μηχανές, και

δ) η εφαρμογή αυτών των μηχανισμών και αλγορίθμων στα ρομπότ.»

Στον ορισμό αυτό μπορούν να διακριθούν δύο κύριες συνιστώσες: η πρώτη είναι αυτή των σημείων (α) και (β), η οποία είναι η ρεαλιστική αντίληψη η οποία απορρέει από την ανάγκη για εφαρμογές πραγματικού κόσμου σήμερα (με μεσοπρόθεσμη διάρκεια), ενώ η δεύτερη, αυτή που υπαγορεύουν τα σημεία (γ) και (δ), πηγάζει από την επιθυμία για συστήματα προηγμένων ικανοτήτων αίσθησης, αντίληψης/νόησης και ελέγχου (μακροπρόθεσμα). Η τάση αυτή προέρχεται, και έχει διατυπωθεί ολοκληρωμένα, από τον Norbet Wiener τον θεμελιωτή της Κυβερνητικής, της προγόνου επιστήμης της Τεχνητής Νοημοσύνης, των Συστημάτων Αυτομάτου Ελέγχου και εν μέρει και της Πληροφορικής, της οποίας οι αρχές και οι στόχοι διατυπώθηκαν στο βιβλίο που δημοσίευσε το 1948 στο Παρίσι με τίτλο «Κυβερνητική ή Έλεγχος και Επικοινωνία στα Ζώα και στις Μηχανές».

1.3 ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΗΛΕΧΕΙΡΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΡΟΜΠΟΤ

Οι ρομποτικοί χειριστές (robot manipulators) εμφανίσθηκαν για πρώτη φορά με την έναρξη της πυρηνικής εποχής. Οι πρώτοι ρομποτικοί χειριστές ήταν γνωστοί ως τηλεχειριστές (teleoperators), και επέτρεπαν σε έναν χρήστη

να εκτελεί έργα από μια ασφαλή απόσταση, όπως για παράδειγμα, να διαχειρίζεται ραδιενεργά υλικά. Ο πρώτος αυτόματος τηλεχειριστής με ηλεκτροτροφοδότηση αναπτύχθηκε το 1974. Ο τηλεχειριστής είχε σχεδιασθεί έτσι ώστε ο χρήστης να έχει έλεγχο της συσκευής από μία μονάδα «κυρίου» (master unit). Δηλαδή ο τηλεχειριστής επαναλάμβανε τις κινήσεις του χρήστη. Ο πρώτος χειριστής δεν είχε καθόλου ανατροφοδότηση δύναμης (force feedback), και επομένως, έργα όπως η περιστροφή ενός γαλλικού κλειδιού ή η τοποθέτηση αντικειμένων σε επιφάνειες κατεργασίας ήταν δύσκολο να εκτελεστούν. Το 1948 η General Electronic ανέπτυξε έναν τηλεχειριστή (ονομαζόμενο Handy Man) που παρείχε ανατροφοδότηση δύναμης επιστρέφοντας στη μονάδα «σκλάβο» τις δυνάμεις που αισθανόταν ο χειριστής. Αργότερα, η βασική αρχή του τηλεχειριστή επανεισήχθηκε από τη General Electronic με τη μορφή του χειριστή Man-Mate. το οποίο επέτρεπε στο χρήστη να μετακινεί αντικείμενα βαριά ή επικίνδυνα με μικρές ανυψωτικές μηχανές και μετέφραζε την πληροφορία των ανυψωτικών μηχανισμών σε σήματα για το χειριστή. Ο χρήστης είχε επίσης την αίσθηση του έργου που πραγματοποιείτο από την ανατροφοδότηση δύναμης στον ανυψωτικό μηχανισμό.

Παρά το γεγονός ότι ο τηλεχειριστής ελεγχόταν από άνθρωπο, τα σημερινά ρομποτικά συστήματα ελέγχου με υπολογιστή έχουν τις ρίζες τους στις αριθμητικά ελεγχόμενες μηχανές. Το MIT παρουσίασε την πρώτη αριθμητικά σερβοελεγχόμενη αλεστική μηχανή (Numerically Servo-Controlled Milling Machine) το 1953. Η πληροφορία για τις διαστάσεις του αντικειμένου προς άλεση, αποθηκευόταν σε ψηφιακή μορφή πάνω σε μία χαρτοταινία και ένα οπτικό κύτταρο μετέτρεπε τις οπές της χαρτοταινίας σε σήματα που τελικά έλεγχαν την αλεστική μηχανή. Το πιο σημαντικό χαρακτηριστικό της νέας αυτής τεχνολογίας ήταν ότι η διαφοροποίηση στα εργαλεία για την παραγωγή μίας νέας μονάδας προϊόντος απαιτούσε ελάχιστο πρόσθετο έργο πέραν της εισαγωγής μίας νέας χαρτοταινίας στο μύλο. Η εφαρμογή αυτή αποτέλεσε την έναρξη της ευέλικτης ανταλλαγής εργαλείων, όπου μία μηχανή επαναπρογραμματιζόταν απλά και γρήγορα για την εκτέλεση πολλών έργων.

Ο Ernst ενσωμάτωσε τις δύο τεχνολογίες σε μία διατριβή με τίτλο «A Computer Operated Mechanical Hand». Στη διατριβή αυτή, η οποία αποτελεί ένα από τα πρώτα παραδείγματα ρομπότ ικανού να αναπτύξει προσαρμοστική συμπεριφορά σε ένα αρκετά μη δομημένο περιβάλλον, εξεταζόταν ένας

τηλεχειριστής εφοπλισμένος με αισθητήρες αφής. Ο χειριστής ήταν συνδεδεμένος με έναν υπολογιστή προκειμένου να εκτελέσει έργα μετά από επεξεργασία της πληροφορίας αφής που ελάμβανε από ιούς αντίστοιχους αισθητήρες. Η συσκευή αυτή που αποκαλείτο Mh-1, μπορούσε να «αισθανθεί» κύβους και να χρησιμοποιήσει την πληροφορία αυτή προκειμένου να τους τοποθετήσει σε μία στοίβα χωρίς τη βοήθεια κάποιου ανθρώπου.

Ο χειριστής που αναπτύχθηκε από τον Ernst οδήγησε στη δημιουργία ρομπότ που ήταν ικανά να επαναλαμβάνουν ένα πεπερασμένο αριθμό προκαθορισμένων κινήσεων επ' άπειρον. Αυτά τα ρομπότ περιορισμένων ακολουθιών κινήσεων (limited Sequence robots) μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν στην εκτέλεση έργων ανάκτησης και τοποθέτησης (pick-and-place) όπως περιγράφηκε από τον Potter. Οι εργασίες ανάκτησης και τοποθέτησης πρέπει να είναι σαφώς καθορισμένες, τα εισερχόμενα κομμάτια πρέπει να τοποθετούνται από το ρομπότ με ομοιόμορφο τρόπο και να έχουν προελεγχθεί ώστε να διασφαλίζεται η ομοιομορφία. Κατά τη διαδικασία τοποθέτησης εξάλλου πρέπει να αποφεύγεται η καταστροφή των αντικειμένων από κακή διαχείριση. Παρά το πλήθος των περιορισμών, τα ρομπότ περιορισμένων ακολουθιών κίνησης χρησιμοποιούνται ακόμη και σήμερα για εργασίες όπως η μεταφορά υλικών, το πακετάρισμα και η απλή συναρμολόγηση. Η χρήση των ρομπότ απλών ακολουθιών κινήσεων περιορίζεται από τον αριθμό των εργασιών που μπορούν να εκτελέσουν, ενώ προϋποθέτει σχεδόν τέλειες συνθήκες εργασίας κάτι που σπάνια συμβαίνει.

Το 1962, οι Tomovic και Boni, ανέπτυξαν ένα ρομποτικό άκρο με αισθητήρες πίεσης που είχε τη δυνατότητα προσδιορισμού του μεγέθους και του βάρους αντικειμένων, ενώ οι Reswick και Meyler ανέπτυξαν μία συσκευή για τετραπληγικούς που τους έδινε τη δυνατότητα να χειρίζονται αντικείμενα. Ο Roberts παρουσίασε το 1963 την εφικτότητα επεξεργασίας ψηφιακών εικόνων με τη βοήθεια ομογενών μετασχηματισμών, γεγονός το οποίο συνέβαλλε στην ενσωμάτωση οπτικών πληροφοριών στο βρόχο ελέγχου ρομπότ. Το 1966 ο McCarthy στο Εργαστήριο Τεχνητής Νοημοσύνης του Stanford (Stanford's Artificial Intelligence Laboratory-SAIL) ανέπτυξε ένα ρομποτικό χειριστή με ακοή, όραση και αφή (μικρόφωνα, κάμερες και αισθητήρες αφής) που μπορούσε να αναγνωρίσει προφορικές εντολές και να ανταποκρίνεται ανάλογα.

Επιπλέον εξελίξεις στην όραση με υπολογιστή (computer vision) έγιναν

από τον Wichman (1967). Ο Pieper το 1968, ανέπτυξε μία τεχνική για την απόκτηση μαθηματικών λύσεων στο αντίστροφο κινηματικό πρόβλημα χρησιμοποιώντας τη θεωρία αλυσίδων κλειστού βρόχου και ομογενών μετασχηματισμών. Τέλος, το 1971 οι Kahn και Roth έκαναν τη δυναμική ανάλυση και πραγματοποίησαν τον έλεγχο ενός περιορισμένου βραχίονα χρησιμοποιώντας έλεγχο σχεδόν ελάχιστου χρόνου (bang-bang ή near-minimum time control).

Μία από τις πρώτες εφαρμογές των χειριστών υπήρξε η εγκατάσταση υποθαλάσσιων καλωδίων με χρήση μηχανικών βραχιόνων προσαρτημένων σε υποβρύχιο όχημα. Στη δεκαετία του '70, η «σπαζοκεφαλιά άμεσης παράνοιας» (instant insanity puzzle), όπου τέσσερις κύβοι με όψεις διαφορετικών χρωμάτων πρέπει να συσσωρευθούν κατακόρυφα έτσι ώστε να μην εμφανίζονται ίδια χρώματα σε καμία πλευρά της στήλης, επιλύθηκε στο Πανεπιστήμιο του Stanford με τη βοήθεια ενός ρομπότ εξοπλισμένου με ψηφιακή κάμερα τηλεόρασης και μικροϋπολογιστή. Στην Ιαπωνία ο Inoue υπήρξε ο πρώτος που δημιούργησε μία άρθρωση σταθερής ροπής, περιστρέφοντας ένα στρόφαλο σταθερής ροπής και χρησιμοποιώντας ένα σήμα ανάδρασης δύναμης και ελέγχου των 10 bit. Το 1972, οι Bolles και Paul χρησιμοποίησαν ρομπότ στη συναρμολόγηση αντλίας νερού αυτοκινήτου χρησιμοποιώντας οπτική ανάδραση και ανάδραση δύναμης. Την ίδια χρονιά, ο Will στην IBM ανέπτυξε ένα βραχίονα με αισθητήρες δύναμης και αφής για τη συναρμολόγηση μίας γραφομηχανής αποτελούμενης από 20 κομμάτια.

Ένα άλλο σημαντικό γεγονός συνέβη την ίδια χρονιά στην Ιαπωνία όταν ο Ejiri και οι συνεργάτες του ανέπτυξαν ένα ρομπότ που μπορούσε αυτόματα να συναρμολογήσει μηχανουργικά κατεργασμένα αντικείμενα από επίπεδα σχέδια. Ακολουθώντας την εργασία του Inoue, ο Paul ανέπτυξε ένα σύστημα στο οποίο οι αρθρώσεις του ρομπότ επιλέγονταν αυτόματα από τον υπολογιστή και ενεργοποιούνταν στο χώρο των δυνάμεων αντί των θέσεων, ανταποκρινόμενοι στη διεύθυνση συμμόρφωσης (direction of compliance).

Καθώς η τεχνολογία εξελισσόταν, ο Flatau τεκμηρίωσε την άποψη ότι οι χειριστές αποτελούν ένα βιώσιμο τρόπο επέκτασης των ικανοτήτων επιδεξιότητας των ανθρώπων, ανεξάρτητα του μήκους του βραχίονα. Το 1974, ο Bejczy, στο jet Propulsion Laboratory (JPL) υλοποίησε μία τεχνική ελέγχου ροπής με τη βοήθεια υπολογιστή στον επεκτεταμένο βραχίονα Stanford για

εργασίες εξερεύνησης στο διάστημα. Αργότερα, οι Konstantinon και Zankon κατέγραψαν τη βαθμιαία μεταβολή από τις συμβατικές διεργασίες σφυρηλάτησης μετάλλων μέχρι τον πλήρη αυτοματισμό. Η εργασία τους επικεντρωνόταν στη χρήση χειριστών για αυτοματοποιημένη μαζική παραγωγή, καθώς και στη χρήση βιομηχανικών ρομπότ σε γραμμή παραγωγής μικρής κλίμακας.

Το 1977, ο Drake και οι συνεργάτες του περιέγραψαν μία μέθοδο η οποία επέτρεπε σε μηχανές να εκτελέσουν πολλές εργασίες συναρμολόγησης γρήγορα, απλά και οικονομικά. Ένας ρομποτικός βραχίονας εκτελούσε τις κινήσεις προσκόμισης (fetching) αντικείμενων και εργαλείων και απομάκρυνσης ολοκληρωμένων συναρμολογημένων αντικειμένων με τη βοήθεια ελέγχου με υπολογιστή. Η διαδικασία αυτή επεδείχθη στη συναρμολόγηση ενός εναλλάκτη αυτοκινήτου 17 κομματιών χρησιμοποιώντας ένα ρομποτικό βραχίονα τεσσάρων βαθμών ελευθερίας για την προσκόμιση κομματιών και εργαλείων. Το 1978, ο Favoreto περιέγραψε το σχεδιασμό, τη λειτουργία και τα χαρακτηριστικά ενός βιομηχανικού ρομπότ επανομαζόμενου «POLAR 6000», το οποίο αναπτύχθηκε για ενσωμάτωση ενός μετασχηματιστή ηλεκτροσυγκόλλησης σε ρομποτικό βραχίονα, και προσαρμόσθηκε κατάλληλα για εφαρμογές πόντισης (σημειακής ηλεκτροσυγκόλλησης).

Η χρήση των ρομπότ στην επιθεώρηση αντικειμένων, συζητήθηκε από τον Kirsch, όπου οπτικοί αισθητήρες σε συνδυασμό με ρομπότ συνεχούς τροχιάς (continuous path) και έλεγχο με υπολογιστή, επέτρεπαν την επιθεώρηση αντικειμένων και τη λήψη αποφάσεων με καλύτερα αποτελέσματα απ' ό,τι οι άνθρωποι. Ένας ρομποτικός βραχίονας τοποθετούσε μία κάμερα σε διάφορα σημεία επιθεώρησης για ένα αντικείμενο, και εκτελούσε εργασίες βιντεομέτρησης σε προγραμματισμένες πέσεις. Οι έλεγχοι διαστάσεων ήταν εφικτοί χάρη στην επαναληψιμότητα του ρομπότ, ενώ η ακρίβεια τοποθέτησης στο παραπάνω σύστημα ήταν της τάξης των ± 0.025 cm.

Σε μία εργασία των Boykin και Warren, αναφέρθηκε ότι, ως αποτέλεσμα της λήψης αυστηρότερων κανονισμών για τα επιτρεπτά όρια ραδιενέργειας από τους εργαζόμενους, μελλοντικές εργασίες συντήρησης θα μπορούσαν να γίνουν από απομακρυσμένους (remote) χειριστές και από ρομποτικά συστήματα [BW79]. Ένας από τους πλέον γνωστούς χειριστές

σήμερα είναι το Σύστημα Απομακρυσμένου Χειριστή (Remote Manipulator System-RMS). τοποθετημένο πάνω στα διαστημόπλοια της NASA. Το RMS είναι μηχανικό αντίτυπο του ανθρώπινου βραχίονα, και έχει περιγραφεί από τον Borgowman. Όταν γίνεται πλήρης εκμετάλλευση του, το RMS μπορεί να εκτελέσει διάφορες εργασίες, όπως το να μεταφέρει αστροναύτες από ένα σημείο σε κάποιο άλλο, και να επισκευάζει, να επανασταθμίζει. ακόμα και να περισυλλέγει δορυφόρους που δεν λειτουργούν σωστά. Ο χειριστής αυτός έχει μήκος 15.2m και έχει δυνατότητα διαχείρισης φορτίων μήκους μέχρι 19.3m και διαμέτρου 4.6m. Το RMS έχει επίσης τη δυνατότητα τοποθέτησης ενός φορτίου βάρους 25.000Kg, σε μία θέση 9m πάνω από το διαστημόπλοιο σε χρόνο λιγότερο από 9 λεπτά.

Καθώς η τεχνολογία εξελισσόταν ακόμη περισσότερο, έγινε εμφανές ότι τα ρομπότ μπορούσαν να επιτύχουν ακόμη περισσότερα πράγματα. Οι Camera και Migliardi πραγματεύθηκαν τις διαδικασίες συναρμολόγησης και χειρισμού από ρομποτικούς βραχίονες καθώς και τις υποχρεωτικές ενέργειες ελέγχου ποιότητας, οι οποίες πρέπει να αποτελούν αναπόσπαστο τμήμα κάθε διαδικασίας συναρμολόγησης. Τα περισσότερα ρομπότ έχουν την ικανότητα εκτέλεσης πολλαπλών εργασιών, και επομένως, μπορούν να αναλάβουν εργασίες όπως η επιλεκτική ανάκτηση αντικειμένων, ο έλεγχος διαστάσεων, η δοκιμή συναρμολογημένων κομματιών και η διαλογή σε διαφορετικές κατηγορίες ποιότητας. Τα πλεονεκτήματα συνδυασμένης συναρμολόγησης και επιθεώρησης με τον ίδιο ρομποτικό βραχίονα καθώς και ο έλεγχος με υπολογιστή, είναι η βελτίωση της ποιότητας του προϊόντος και η εξοικονόμηση χρόνου και χρήματος και συνεπώς η μείωση του κόστους παραγωγής.

Οι αυξημένες απαιτήσεις για ρομπότ και για εξοπλισμό αυτοματοποίησης επέβαλαν την επέκταση του εύρους της ρομποτικής τεχνολογίας. Αρχικά, τα ρομπότ χρησιμοποιούνταν σε απλές εργασίες ανάκτησης και τοποθέτησης. Ωστόσο, καθώς βελτιωνόταν η μηχανολογία, οι απαιτήσεις αυξάνονταν. Αυτό επέτρεψε να γίνουν πραγματικότητα νέα σχέδια ρομπότ και βραχιόνων.

Η Ιαπωνία εν τω μεταξύ πραγματοποίησε εντυπωσιακή πρόοδο στον τομέα της ανάπτυξης ρομποτικών δομών και εφαρμογών. Το πρώτο ρομπότ που χρησιμοποιήθηκε στην Ιαπωνία ήταν ένα Versatran που αποκτήθηκε από την αυτοκινητοβιομηχανία Toyota το 1967, Αργότερα, η Kawasaki Heavy

Industries σε συνεργασία με την Unimate των Η.Π.Α. ξεκίνησαν την κατασκευή ρομπότ το 1968.

Η ρομποτική «έκρηξη» της Ιαπωνίας, οφείλεται στη μεγάλη υποστήριξη της Ιαπωνικής κυβέρνησης και των άλλων βιομηχανιών και Πανεπιστημίων, η οποία τελικά κατέστησε την Ιαπωνία ως την πρώτη χώρα παγκοσμίως σε ρομποτικές εφαρμογές και πωλήσεις ανά τον κόσμο. Ενδεικτικά αναφέρεται ότι η ιαπωνική εταιρία FANUC κατέχει το 55% της παγκόσμιας αγοράς ρομπότ. Ο Πίνακας 1.1 παρουσιάζει τα κυριότερα σημεία της ιστορίας ρομποτικών εφαρμογών, μέχρι το 1982, όπως περιγράφηκαν από τον Zeldman.

1920	Το δραματικό έργο του συγγραφέα Τσέχου Karel Capek εισάγει τη λέξη ρομπότ.
1950	Ο Isaac Asimov γράφει το βιβλίο "I. Robot", που περιλαμβάνει εννέα μικρές ιστορίες σχετικά με τα ρομπότ.
1954	Ο George Devol Jr. καταθέτει αίτηση ευρεσιτεχνίας για μία προγραμματιζόμενη συσκευή μεταφοράς ή ρομποτικό χέρι.
1958	Ο Devol δίνει άδεια λειτουργίας σε διάφορους κατασκευαστές, Προκαταρκτικές προδιαγραφές προϊόντος καθορίζονται για το πρώτο ρομπότ Unimate από τη συνεργασία των Devol και J. F. Engelberg. Η εταιρία AMF ξεκινάει ένα έργο έρευνας και ανάπτυξης για το Versatran.
1962	Η AMF παρουσιάζει το Model 102, μια συσκευή μεταφοράς συνεχούς τροχιάς και το MODEL 212, μια συσκευή μεταφοράς σημείου προς σημείο, ενώ τον ίδιο καιρό, η Unimate ετοιμάζει το πρωτότυπο Mark I για δοκιμές στην ύπαιθρο.
1965	Η AMF δίνει άδεια λειτουργίας σε δύο Ευρωπαίους κατασκευαστές και ξεκινάει την ανάπτυξη ενός χαμηλού κόστους ρομποτικού συστήματος Versatran για εφαρμογές στερεάς κατάστασης.
1966	Η Versatran παρουσιάζει το Model 301, ένα ρομπότ εφαρμογών στερεάς κατάστασης για λειτουργία σημείου προς σημείο.
1967	Η Unimate παρουσιάζει το Mark II 2000. Η συσσωρευμένη εμπειρία από το Mark II 1900, βασίζεται σε 70 ρομποτικές εγκαταστάσεις. Εισάγεται στην Ιαπωνία το πρώτο ρομπότ και ένα AMF Versatran χρησιμοποιείται σε εφαρμογή βαφής με ψεκασμό.
1968	Η AMF Versatran παρουσιάζει το ρομπότ σημείου προς σημείο Model 302, στην Ιαπωνία κατασκευάζονται δύο ρομπότ με σερβομηχανισμό και κινήσεις Versatran και το πρώτο Unimate εισάγεται από την ιαπωνική εταιρεία Kawasaki Heavy Industries.
1969	Το πρώτο Unimate ρομπότ εγκαθίσταται στην Nissan Automobile Factory.

1970	Η Unimate παρουσιάζει το πρώτο βιομηχανικό ρομπότ με έξι βαθμούς ελευθερίας και η AMF επιδεικνύει το βελτιωμένο ρομπότ Model 401, συνεχούς τροχιάς. Σχηματίζεται η ιαπωνική AMF Japan Ltd.
1971	Ιδρύεται ο Σύνδεσμος Ιαπωνικών Βιομηχανικών Ρομπότ (JIRA).
1972	Η IBM αναπτύσσει τον ορθογωνικό καρτεσιανό ρομποτικό βραχίονα 7565.
1973	Η Καναδική κυβέρνηση και η Hayes-Dana κατασκευάζουν τρία πρωτότυπα βιομηχανικά ρομπότ. Η ρομποτική βιομηχανία ASEA αναπτύσσει ένα πλήρως ηλεκτροκινούμενο ρομπότ.
1976	Η Cincinnati Milacron (CM) εισέρχεται στην αγορά βιομηχανικών ρομπότ.
1978	Η General Motors υπογράφει συμβόλαιο με τη Unimate για την κατασκευή του ρομπότ PUMA (Programmable Universal Machine for Assembly).
1980	Σχηματίζονται οι εταιρείες Automatrix Inc. και Cypotech, προϊόν αμοιβαίας συνεργασίας μεταξύ της Ransburg και της Renault.
1982	Η GE υπογράφει συμφωνία με την VW και τη Hitachi για την πώληση των ρομπότ τους στις ΗΠΑ. Η CM και τη διάσημη σειρά T ³ στη βιομηχανική αγορά. Η GM και η Fanuc υπογράφουν συμφωνία για την κατασκευή ρομπότ στις ΗΠΑ. Η Westinghouse εξαγοράζει τη Unimation.

Πίνακας 1.1 Σημαντικότερα γεγονότα της ρομποτικής από το 1920 έως το 1982.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΡΟΜΠΟΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

2.1 ΑΙΤΙΕΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΧΡΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤ

Η πρώτη εμπορική εφαρμογή ενός βιομηχανικού ρομπότ έλαβε χώρα το 1961, όταν ένα ρομπότ χρησιμοποιήθηκε στη φόρτωση και εκφόρτωση μίας μηχανής χυτηρίου (die casting), δηλαδή σε μία εργασία ιδιαίτερα δυσάρεστη για τον άνθρωπο. Πολλές από τις πρώτες ρομποτικές εγκαταστάσεις αφορούσαν εφαρμογές όπου υπήρχε μεγάλος κίνδυνος ή δυσφορία για τους ανθρώπους, όπως για παράδειγμα, ηλεκτροσυγκολλήσεις, βαφή και εργασίες χυτηρίων. Τα πρώτα αυτά ρομπότ δεν εκτελούσαν τις εργασίες τους πιο οικονομικά από τους ανθρώπους. Η αποφυγή ωστόσο των επικίνδυνων και δυσάρεστων χειρωνακτικών εργασιών από τους ανθρώπους αποτελούσε επαρκή αιτιολογία για τη χρησιμοποίησή τους.

Με την εξέλιξη της ρομποτικής τεχνολογίας, το πεδίο εφαρμογών των ρομπότ στη βιομηχανία διευρύνθηκε, και μαζί με αυτό και οι αιτιολογίες για τη χρήση τους. Σήμερα έχει επικρατήσει πλέον ο όρος 4D, από το ακρωνύμιο των λέξεων Dull, Dirty, Dangerous, και Difficult (δηλαδή, ανιαρό, ακάθατο, επικίνδυνο, δύσκολο), για να περιγράψει το είδος των εργασιών όπου ευνοείται η χρήση ρομπότ. Πέραν τούτων, τα ρομπότ σήμερα χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που προσφέρουν σαφές οικονομικό πλεονέκτημα και καλύτερα αποτελέσματα έργου σε σύγκριση με τον άνθρωπο. Σε πολλές περιπτώσεις, τα ρομπότ μπορούν να εκτελέσουν εργασίες με σημαντικά χαμηλότερο κόστος (εξοικονόμηση από 50-75% σε καθαρό εργατικό κόστος).

Ένας πρόσθετος λόγος για τη χρησιμοποίηση βιομηχανικών ρομπότ είναι η αυξημένη παραγωγικότητα. Η αυξημένη παραγωγικότητα οφείλεται στον ελαφρά ταχύτερο ρυθμό εργασίας του ρομπότ, αλλά κυρίως στην ικανότητα ενός ρομπότ να εργάζεται σχεδόν ακατάπαυστα, χωρίς διαλείμματα.

Πέραν της οικονομίας, του περιορισμού των εργασιών 4D και της

αύξησης της παραγωγικότητας, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται και σε εφαρμογές όπου η επαναληψιμότητα είναι σημαντική. Τα σημερινά ρομπότ δεν έχουν βεβαίως ικανότητα κρίσης, ευελιξίας ή επιδεξιότητας όπως ο άνθρωπος. Παρέχουν ωστόσο το ξεχωριστό πλεονέκτημα της ικανότητας επιτέλεσης επαναληπτικών έργων με μεγάλο βαθμό συνέπειας, το οποίο οδηγεί σε βελτιωμένη ποιότητα προϊόντος. Η βελτίωση στη συνέπεια είναι ουσιαστική για την αιτιολόγηση χρήσης ρομπότ σε εφαρμογές όπως η βαφή με ψεκασμό, η ηλεκτροσυγκόλληση και η επιθεώρηση αντικειμένων.

Τα τέσσερα αυτά πλεονεκτήματα-μειωμένο κόστος, αυξημένη παραγωγικότητα, καλύτερη ποιότητα και περιορισμός των 4D εργασιών-αποτελούν τους πρωτεύοντες λόγους χρησιμοποίησης βιομηχανικών ρομπότ στα σημερινά εργοστάσια. Στο μέλλον, ένα πρόσθετο πλεονέκτημα, η μεγαλύτερη ευελιξία αναμένεται να παίζει ουσιαστικό ρόλο στην χρήση ρομπότ. Καθώς τα ευέλικτα συστήματα παραγωγής και τα εργοστάσια πλήρους αυτοματοποίησης γίνονται πραγματικότητα, η ικανότητα προσαρμογής του ρομπότ σε μεταβολές του σχεδιασμού ενός προϊόντος, σε αλλαγές στην πολυμορφία των προϊόντων και σε παραλλαγές του περιβάλλοντος χώρου εργασίας ή της γραμμής παραγωγής, αποτελεί ένα διαρκώς αυξανόμενο σημαντικό λόγο χρήσης τους.

2.2 ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΑΠΟ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤ

Η ακόλουθη λίστα σταχυολογεί τα πιο συχνά αναφερόμενα ως πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των ρομπότ, όπως έχουν καταγραφεί σε άρθρα περιοδικών και σε βιβλία.

Πλεονεκτήματα:

1. Ασφάλεια των εργαζομένων.
 - a. Επικίνδυνα περιβάλλοντα.
 - i. Τοξικά αέρια.
 - ii. Υψηλές θερμοκρασίες.
 - iii. Ραδιενέργεια.
 - b. Επικίνδυνες εργασίες.
 - i. Φόρτωση και εκφόρτωση επικίνδυνων εργαλείων.

2. Υψηλότερη παραγωγικότητα,
 - a. 24ωρη λειτουργία.
 - b. Υψηλότερη ταχύτητα λειτουργίας στις περισσότερες εφαρμογές.
 - c. Λιγότερα σφάλματα που έχουν σαν αποτέλεσμα λιγότερα απορριπτέα κομμάτια ή κατεστραμμένες μηχανές.
 - d. Ομοιόμορφη ποιότητα των παραγομένων προϊόντων.
3. Ευελιξία παραγωγικής μονάδας.
 - a. Μικρότερος χρόνος προσαρμογής σε αλλαγές της μονάδας.
 - b. Ευκολότερη αντιμετώπιση των αλλαγών.
 - c. Αντίσταση στην παλαίωση με ενθάρρυνση ανανεωτικών αλλαγών.
 - d. Ικανότητα λειτουργίας υπό ασυνήθιστους προσανατολισμούς, όπως με προσάρτηση στην οροφή ή στον τοίχο.
4. Δυνατότητα εργασίας υπό αντίξοες συνθήκες (μη εφικτές από ανθρώπους)
 - a. Υποθαλάσσιες και διαστημικές έρευνες/επιδιορθώσεις.
 - b. Ηφαίστεια, σήραγγες, κλπ.
Μειονεκτήματα:
 1. Δυσκολία προγραμματισμού ανάλογα με την εφαρμογή.
 2. Σχετικά μικρή ταχύτητα λειτουργίας, ειδικά για σερβοελεγχόμενα συστήματα συνεχούς τροχιάς.
 3. Η ακρίβεια τοποθέτησης των ρομποτικών συνιστωσών περιορίζεται από τον «τζόγο» στις ρομποτικές αρθρώσεις και την ευκαμψία ή «κύρτωση» των ρομποτικών συνδέσμων. Όσο μεγαλύτερο είναι το φορτίο σε σχέση με το μέγεθος του ρομπότ, τόσο μεγαλύτερο είναι το πρόβλημα αυτό.
 4. Κόστος εγκατάστασης, συντήρησης, εκμάθησης, κλπ.

2.3 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΕΠΙΘΥΜΗΤΟΤΗΤΑΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ

Το πρόβλημα των επιπτώσεων της αυτοματοποίησης δεν είναι πρόσφατο. Έχει συναντηθεί στις αρχές της βιομηχανικής επανάστασης, αλλά και της εποχής της πληροφορικής. Οι ρομποτικές εγκαταστάσεις είναι στην απλούστερη μορφή τους. αντικαταστάσεις των χειρονακτικών εργασιών από

μηχανές. Λόγω της απουσίας απτών αποδείξεων, οι επιπτώσεις της ρομποτοποίησης (robotization) στις εργασιακές δομές μπορούν προς το παρόν μόνο να υποθεθούν. Όταν ένας εργάτης αντικαθίσταται από ένα ρομπότ, δύο σενάρια είναι πιθανά:

1. Μόνιμη Ανεργία. Ο απομακρυνόμενος εργάτης είναι σχετικά ηλικιωμένος και δεν μπορεί να επανεκπαιδευθεί. Επομένως, ο εργάτης αυτός δεν εγκρίνεται για νεοδημιουργούμενες εργασίες και καθίσταται υποαπασχολούμενος ή άνεργος.
2. Ανακατανομή Εργασίας. Ο απομακρυνόμενος εργάτης διαθέτει κάποια βασικά προσόντα και μπορεί να αναλάβει μία διαφορετική εργασία, με ή χωρίς επανεκπαίδευση, ανάλογα με τις απαιτήσεις της νέας εργασίας.

Και στις δύο περιπτώσεις, οι απομακρυσμένοι υπάλληλοι αντιμετωπίζουν αλλαγές σε έσοδα και έξοδα, επίπεδο διαβίωσης, ικανοποίηση εργασίας, καθώς και άλλες κοινωνικές αλλαγές. Κοινωνικά επίσης εμφανίζεται κόστος (επιδόματα ανεργίας, συντάξεις, κλπ.), κάτι το οποίο συχνά αγνοείται από τις εταιρείες που αυτοματοποιούν θέσεις εργασίας. Οι αναλύσεις για αντικατάσταση συμβατικού εξοπλισμού, σπόντα υπολογίζουν τέτοιο κόστος, όπως οι φόροι του απολυμένου εργάτη, τα κοινωνικά έξοδα, κλπ. Το κόστος αυτό μπορεί να είναι ιδιαίτερα σημαντικό, ειδικά αν πραγματοποιηθούν πολλές ρομποτικές εγκαταστάσεις. Η κατάσταση αυτή, αν και επωφελής για τη βιομηχανία, μπορεί να μην είναι οικονομικά επωφελής κοινωνικά.

Η εισαγωγή ενός ρομπότ σε μία θέση εργασίας απαιτεί μεταβολές του χώρου εργασίας, εγκατάσταση ενός ρομπότ και συνοδευτικών μηχανημάτων, εργαλείων, κλπ. Πολλά από αυτά τα έξοδα είναι προφανή και συμπεριλαμβάνονται σε αναλύσεις αντικατάστασης εξοπλισμού. Πολλά άλλα έξοδα, ωστόσο, δεν είναι προφανή και εν γένει αγνοούνται. Αυτό συνήθως συμβαίνει όταν θεωρούνται μόνο τα εσωτερικά προς την επιχείρηση έξοδα. Τα κύρια έξοδα, εσωτερικά της εταιρείας, που εν γένει συνυπολογίζονται στις οικονομικές αναλύσεις αντικατάστασης εξοπλισμού είναι:

1. Το κόστος του ρομπότ και των εξαρτημάτων, δηλ το κόστος του ρομπότ, του εξοπλισμού δοκιμών, του συστήματος διαχείρισης υλικών, κλπ.
2. Το κόστος της εγκατάστασης, δηλ. το κόστος εργατικών και υλικών για την τοποθέτηση, τις προετοιμασίες του πατώματος και τις ανάγκες στήριξης, τις διευκολύνσεις (facilities), τις διασυνδέσεις μεταξύ του ρομπότ και των

περιφερειακών, την ανάπτυξη λογισμικού και την επικοινωνία με το περιβάλλον της βιομηχανίας.

3. Το κόστος επαναδιάταξης, δηλ. το κόστος εργατικών και υλικών για το προστατευτικό κιγκλίδωμα. τις ταινίες μεταφοράς, κλπ.
4. Το ειδικό κόστος εργαλείων, δηλ. το κόστος για ειδικές εργαλειοσυσσκευές άκρου του βραχίονα και αλλαγές στο σχεδιασμό των εξαρτημάτων, αισθητήρων, διακοπών ορίων, σφικτήρων, κλπ.
5. Το έμμεσο εργατικό κόστος, δηλ. το κόστος επισκευής και συντήρησης.
6. Το λειτουργικό κόστος προμηθειών, δηλ. το κόστος των διευκολύνσεων και υπηρεσιών που απευθύνονται άμεσα στο ρομπότ και στον εξοπλισμό υποστήριξης.
7. Το κόστος προμηθειών συντήρησης.
8. Το κόστος έναρξης, δηλ. το κόστος παύσης εργασιών εξαιτίας της εγκατάστασης.
9. Το κόστος ασφαλίσεων και φόρων, π.χ. ο φόρος αγοράς που πληρώνεται πάνω στην τιμή αγοράς του ρομπότ.

Σε αυτά τα έξοδα πρέπει να συνυπολογισθεί όμως και η εξοικονόμηση στο άμεσο εργατικό κόστος και στις πιστώσεις εξαιτίας της αυξημένης παραγωγικότητας. Στην παραδοσιακή οικονομική ανάλυση αντικατάστασης του εξοπλισμού δεν υπολογίζονται τα απολεσθέντα έσοδα και οι κοινωνικές επιπτώσεις (π.χ. απώλεια φόρων) όταν ένας εργαζόμενος αντικαθίσταται από ένα ρομπότ. Ακολούθως παρατίθενται οι κυριότερες απώλειες και το κοινωνικό κόστος που προκύπτουν από την εισαγωγή ρομπότ σε ένα χώρο εργασίας:

1. Φόρος κοινωνικής ασφάλισης ο οποίος πληρώνεται από εργοδότη και εργαζόμενο.
2. Φόρος μισθωτών υπηρεσιών ο οποίος πληρώνεται από τον εργοδότη.
3. Φόρος εισοδήματος, κλπ ο οποίος πληρώνεται από τον εργαζόμενο.
4. Επίδομα ανεργίας που πληρώνεται από κοινωνικό ταμείο.

5. Σύνταξη στον απομακρυνόμενο εργάτη που πληρώνεται από κοινωνικό ταμείο.
6. Κόστος επανεκπαίδευσης, εάν υπάρχει.

Επιπρόσθετα προς αυτό το κόστος, τα κοινού νικά κέρδη που προέρχονται από φόρους πωλήσεων εξαιτίας αυξημένων πωλήσεων, επίσης δεν συμπεριλαμβάνονται σε μία παραδοσιακή οικονομική ανάλυση.

Η απόφαση επομένως της αγοράς ενός ρομπότ εμπλέκει μεγάλο αριθμό παραμέτρων και οικονομικών μεγεθών. Διάφορα συστήματα υποστήριξης αποφάσεων (Decision Support Systems-DSS) για τέτοιες επενδύσεις έχουν αναπτυχθεί.

2.4 ΙΚΑΝΟΤΗΤΕΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ

Τα ρομπότ γενικά διαθέτουν τρεις σημαντικές ικανότητες που τα καθιστούν ιδιαίτερα κατάλληλα και ελκυστικά για κατασκευαστικές εργασίες σε βιομηχανικά περιβάλλοντα. Αυτές αναφέρονται παρακάτω.

2.4.1 Ικανότητα Μεταφοράς

Μια από τις βασικές εργασίες που επιτελούνται σε ένα αντικείμενο καθώς περνάει από μία κατασκευαστική διαδικασία είναι η διαχείριση του ή η Φυσική του μετατόπιση. Το αντικείμενο δηλαδή μεταφέρεται από μία θέση σε κάποια άλλη προκειμένου να κατεργασθεί, συναρμολογηθεί, πακεταρισθεί ή αποθηκευθεί. Στις μεταφορικές αυτές εργασίες, τα φυσικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου παραμένουν αμετάβλητα.

Η ικανότητα του ρομπότ να ανακτά το αντικείμενο, να το μετακινεί στο χώρο και να το εναποθέτει, το καθιστά ιδανικό για μεταφορικές εργασίες. Απλά έργα διαχείρισης υλικών, όπως η μετακίνηση κομματιών από ένα κυλιόμενο ιμάντα σε κάποιον άλλο, απαιτούν συνήθως κινήσεις μόνο σε μία ή δύο διαστάσεις. Αυτοί οι τύποι εργασιών εκτελούνται συνήθως από ρομπότ χωρίς σερβομηχανισμό. Περισσότερο πολύπλοκες εργασίες διαχείρισης υλικών απαιτούν κάποια ικανότητα χειρισμού πέραν της ικανότητας

μεταφοράς. Παραδείγματα τέτοιων έργων περιλαμβάνουν τη φορτοεκφόρτωση μηχανών, το πακετάρισμα, την ταξινόμηση αντικειμένων, την τοποθέτηση σε παλέτες. κ.α. Οι εργασίες αυτές εκτελούνται συνήθως από σερβοελεγχόμενα ρομπότ σημείου-προς-σημείο.

2.4.2 Ικανότητα Μεταχείρισης

Μια άλλη βασική λειτουργία πάνω σε ένα αντικείμενο καθώς μετατρέπεται από ακατέργαστο υλικό σε τελικό προϊόν, είναι η επεξεργασία του, η οποία γενικά απαιτεί κάποιας μορφής μεταχείριση (handling). Συγκεκριμένα, τα αντικείμενα προς κατεργασία εισέρχονται, προσανατολίζονται, ή περιστρέφονται, έτσι ώστε να βρίσκονται στην κατάλληλη θέση για μηχανουργική κατεργασία, συναρμολόγηση, ή κάποια άλλη εργασία. Σε άλλες περιπτώσεις, χρειάζεται μεταχείριση του εργαλείου, παρά του ίδιου του αντικειμένου προς επεξεργασία.

Η ικανότητα ενός ρομπότ να μεταχειρίζεται τόσο τα αντικείμενα όσο και τα εργαλεία, το καθιστά ιδιαίτερα κατάλληλο για εφαρμογές κατεργασίας. Τέτοια παραδείγματα μηχανουργικής κατεργασίας με τη βοήθεια ρομπότ, αφορούν τη σημειακή συγκόλληση (spot welding), τη συγκόλληση τόξου (arc welding) και τη βαφή με ψεκασμό (spray painting). Περισσότερο πολύπλοκες εργασίες, όπως η συναρμολόγηση, βασίζονται επίσης στις ικανότητες μεταχείρισης του ρομπότ. Σε πολλές περιπτώσεις, οι απαιτούμενες κινήσεις σε αυτές τις εργασίες επεξεργασίας και συναρμολόγησης είναι ιδιαίτερα περίπλοκες, και απαιτούν ένα ρομπότ σημείου προς σημείο ή συνεχούς τροχιάς με μεγάλη ικανότητα αποθήκευσης δεδομένων.

2.4.3 Ικανότητα Αίσθησης

Η ικανότητα ενός ρομπότ να αλληλεπιδρά με το περιβάλλον του μέσω, ανατροφοδότησης (feedback) από αισθητήρες, είναι επίσης ιδιαίτερα σημαντική, άδικα σε προηγμένες εφαρμογές όπως η συναρμολόγηση (assembly) και η επιθεώρηση (inspection). Τα σήματα εισόδου των αισθητήρων μπορεί να

αφορούν προσέγγιση, θερμοκρασία, δύναμη, πίεση, ροή, Φως (κάμερες ή οπτοανιχνευτές, κλπ.).

Γα σημερινά ρομπότ έχουν σχετικά περιορισμένες ικανότητες αίσθησης, κυρίως λόγω της ανυπαρξίας αποτελεσματικών τεχνικών ελέγχου ανωτέρου επιπέδου (π.χ. τεχνητής νοημοσύνης), αλλά και λόγω της μη διαθεσιμότητας κατάλληλων συσκευών αίσθησης με χαμηλό κόστος. Η χρήση της αισθητήριας ανατροφοδότησης σε ρομποτικές εφαρμογές αυξάνεται ωστόσο ταχύτατα με τη διαρκή βελτίωση των τεχνικών ελέγχου και τη μείωση του κόστους των αισθητήρων.

2.5 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Σε κάθε εφαρμογή, χρησιμοποιούνται μία ή περισσότερες από τις ικανότητες μεταφοράς, μεταχείρισης και αίσθησης. Οι ικανότητες αυτές, σε συνδυασμό με τη συνυφασμένη αξιοπιστία και αντοχή ενός ρομπότ, το καθιστούν ιδανικό εργαλείο για πολλές εφαρμογές που πραγματοποιούνται σήμερα χειρωνακτικά ή με παραδοσιακά αυτόματα μέσα. Στα τέλη του 1983, υπήρχαν περίπου 8.000 ρομποτικές εγκαταστάσεις στις Η.Π.Α., οι οποίες ταξινομούνται σε επτά κατηγορίες εφαρμογών. Στη συνέχεια δίνεται μία σύντομη περιγραφή κάθε κατηγορίας.

2.5.1 Διαχείριση Υλικών

Τα πρώτα ρομπότ χρησιμοποιήθηκαν, πέραν της εγχύσεως μετάλλων σε χυτήρια, και σε άλλες εφαρμογές διαχείρισης υλικών. Οι εφαρμογές αυτές εκμεταλλεύονται τη μεταφορική ικανότητα ενός ρομπότ, ενώ οι ικανότητες μεταχείρισης είναι λιγότερο σημαντικές. Στις πιο τυπικές εργασίες, το ρομπότ είναι σταθερά προσαρτημένο στο πάτωμα ή κυλιέται πάνω σε ράβδους που του επιτρέπουν να κινείται από ένα σταθμό εργασίας σε κάποιον άλλο και η κίνηση του βραχίονα πραγματοποιείται σε δύο ή τρεις διαστάσεις. Περιστασιακά, το ρομπότ ενδέχεται να είναι προσαρτημένο στην οροφή του χώρου.

Τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται αποκλειστικά σε εργασίες διαχείρισης υλικών δεν διαθέτουν σερβομηχανισμό με αισθητήρια, ή είναι απλά ρομπότ ανάκτησης και τοποθέτησης. Η μεταφορά αντικειμένων από γραμμή επεξεργασίας σε γραμμή μεταφοράς, η παλλετοποίηση (palletization) αντικειμένων και η φόρτωση ακατέργαστων κομματιών για περαιτέρω επεξεργασία, αποτελούν τυπικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών.

Τα πρωταρχικά οφέλη από τη χρήση των ρομπότ στη διαχείριση υλικών είναι η μείωση των άμεσων εργατικών δαπανών και η απομάκρυνση των ανθρώπων από επικίνδυνες, μονότονες ή εξαντλητικές εργασίες. Επιπλέον, η χρησιμοποίηση των ρομπότ οδηγεί σε μικρότερη φθορά των αντικειμένων εξαιτίας της μεταχείρισής τους, κάτι το οποίο ευνοεί τη χρήση ρομπότ στη μεταφορά εύθραυστων αντικειμένων. Σε ορισμένες εφαρμογές διαχείρισης υλικών, ωστόσο, άλλες μορφές αυτοματισμού μπορεί να είναι πιο κατάλληλες εάν οι παραγωγικοί όγκοι είναι μεγάλοι και δεν απαιτείται χειρισμός των αντικειμένων.

2.5.2 Φόρτωση και Εκφόρτωση Μηχανών

Τα βιομηχανικά ρομπότ πέραν της φόρτωσης (loading) και εκφόρτωσης (unloading) σε χυτήρια, χρησιμοποιούνται εκτενώς και σε άλλες εφαρμογές φορτοεκφόρτωσης μηχανών. Η ρομποτική αυτή εργασία θεωρείται περισσότερο, πολύπλοκη από την απλή διαχείριση υλικών. Ένα ρομπότ πρέπει να είναι σε θέση να ανακτήσει ένα αντικείμενο από μια γραμμή μεταφοράς, να το ανυψώσει σε μία μηχανή, να το προσανατολίσει σωστά, και κατόπιν να το εισάγει ή να το τοποθετήσει σε μία άλλη μηχανή. Μετά την επεξεργασία, το ρομπότ πρέπει να εκφορτώσει το αντικείμενο και να το μεταφέρει σε κάποια άλλη μηχανή ή γραμμή μεταφοράς. Η μεγαλύτερη αποδοτικότητα συνήθως επιτυγχάνεται όταν ένα ρομπότ χρησιμοποιείται για την εξυπηρέτηση πολλών μηχανών. Επίσης, ένα απλό ρομπότ μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για την εκτέλεση άλλων εργασιών ενόσω οι μηχανές επιτελούν το οίκο τους έργο. Τυπικά παραδείγματα τέτοιων εφαρμογών περιλαμβάνουν τη φόρτωση και εκφόρτωση θερμών μεταλλικών δοκιμίων σε πρέσες επεξεργασίας χυτών αντικειμένων, τη φορτοεκφόρτωση μηχανικών εργαλείων (π.χ. τórνοι), κλπ.

Το κύριο κίνητρο για τη χρήση ρομπότ στην περίπτωση αυτή, είναι η μείωση του αριθμού των εργαζομένων σε αντίξοες συνθήκες, και επακόλουθα του κόστους. Η συνολική παραγωγικότητα εξάλλου, είναι πιθανό να αυξηθεί εξαιτίας του υψηλότερου χρόνου που μπορεί να εργασθεί το ρομπότ σε σύγκριση με τον άνθρωπο.

2.5.3 Ψεκασμός

Στις εφαρμογές αυτές, το ρομπότ μεταχειρίζεται ένα εργαλείο ψεκασμού προκειμένου να εναποθέσει κάποιο υλικό επικάλυψης, π.χ. χρώμα, επίχρισμα, κλπ. σε κινούμενα ή στάσιμα αντικείμενα. Σήμερα, τα ρομπότ βαφής χρησιμοποιούνται για ένα πλήθος αντικειμένων, μεταξύ των οποίων τα αμαξώματα αυτοκινήτου, οι ηλεκτρικές συσκευές και τα έπιπλα. Σε περιπτώσεις όπου το ψεκαζόμενο αντικείμενο βρίσκεται πάνω σε μία γραμμή μεταφοράς, η ακολουθία ρομποτικών κινήσεων ψεκασμού συντονίζεται με την κίνηση της γραμμής μεταφοράς. Τυπικές εφαρμογές ρομπότ ψεκασμού περιλαμβάνουν την εναπόθεση ρητίνης και θρυμματισμένου υαλοβάμβακα σε καλούπια για την παραγωγή πλαστικών αντικειμένων με ενίσχυση γυαλιού, και τον ψεκασμό εποξικής ρητίνης μεταξύ στρωμάτων πλακών γραφίτη για την παρασκευή προηγμένων σύνθετων υλικών.

Η ικανότητα μεταχείρισης του ρομπότ είναι πρωταρχικής σημασίας στις εφαρμογές ψεκασμού). Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της χρήσης τους είναι η υψηλότερη ποιότητα των προϊόντων εξαιτίας της ομοιόμορφης εναπόθεσης του υλικού. Πρόσθετα οφέλη είναι η ελαχιστοποίηση του χαμένου υλικού επικάλυψης, η μειωμένη έκθεση των ανθρώπων σε τοξικά υλικά, και το μειωμένο κόστος.

2.5.4 Ηλεκτροσυγκόλληση

Η δημοφιλέστερη ρομποτική εφαρμογή σήμερα είναι η πόντιση ή σημειακή ηλεκτροσυγκόλληση αμαξωμάτων σε αυτοκινητοβιομηχανίες. Η σημειακή συγκόλληση επιτελείται συνήθως από ρομπότ σημείου-προς-σημείο με σερβομηχανισμό. τα οποία κρατούν το συγκολλητικό ακροφύσιο (welding

torch). Τα ρομπότ μπορούν έξαλλου να εκτελέσουν και συγκόλληση τόξου (arc welding). Η παρακολούθηση ωστόσο της ραφής μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα σε τέτοιες εφαρμογές. Σήμερα έχουν αναπτυχθεί συστήματα παρακολούθησης της ραφής χωρίς επαφή, που μπορούν να διευρύνουν σημαντικά τη χρήση ρομπότ για συγκολλήσεις.

Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές συγκόλλησης λόγω της μείωσης του κόστους και της βελτίωσης της ποιότητας του προϊόντος μέσω καλύτερων. Επιπροσθέτως επειδή η συγκόλληση τόξου είναι σχετικά επικίνδυνη, η χρήση ρομπότ μπορεί να, ελαχιστοποιήσει τους κινδύνους των εργαλείων.

2.5.5 Μηχανουργικές Κατεργασίες

Σε εφαρμογές μηχανουργικής κατεργασίας, το ρομπότ συνήθως συγκρατεί ένα τροφοδοτούμενο άξονα και πραγματοποιεί διάτρηση (drilling), τρόχισμα (grinding), τόννευση (royming), καθαρισμό (deburring) και άλλες κατεργασίες σε ένα αντικείμενο. Στις κατεργασίες αυτές, το αντικείμενο τοποθετείται σε μία υποδοχή από τον άνθρωπο, ενώ ένα ρομπότ πραγματοποιεί την κατεργασία. Σε ορισμένες εργασίες, το ρομπότ μετακινεί το αντικείμενο σε ένα στατικό τροφοδοτούμενο άξονα ή εργαλείο, όπως ένας τροχός γυαλισμένους (buffing wheel). Οι ρομποτικές εφαρμογές στη μηχανουργική κατεργασία είναι σήμερα σχετικά περιορισμένες εξαιτίας της ύπαρξης μηχανών κατεργασίας (CNC κλπ.), οι οποίες δίνουν καλύτερα αποτελέσματα ακριβείας, των ακριβών σχεδιασμών των εργαλείων και την έλλειψη κατάλληλων τεχνικών ανατροφοδότησης υψηλού επιπέδου από αισθητήρες, προβλέπεται δε να παραμείνουν σχετικά περιορισμένες μέχρις ότου επιτευχθούν βελτιωμένες ικανότητες αίσθησης, ελέγχου και μεταχείρισης-μεταφοράς.

2.5.6 Συναρμολόγηση

Μία από τις περιοχές με το μεγαλύτερο ενδιαφέρον σήμερα είναι η

ανάπτυξη αποδοτικών, λογικά κοστολογημένων ρομπότ για συναρμολόγηση. Τα σημερινά ρομπότ χρησιμοποιούνται σε περιορισμένη έκταση σε απλές εργασίες συναρμολόγησης, όπως το ταίριασμα δύο κομματιών. Σε πολυπλοκότερες εφαρμογές τα ρομπότ υπόκεινται στους ίδιους περιορισμούς όπως και στις μηχανουργικές κατεργασίες, δηλαδή εμφανίζουν δυσκολίες στην επίτευξη της απαιτούμενης ακρίβειας τοποθέτησης και στην ανατροφοδότηση από αισθητήρες. Παραδείγματα τέτοιων ρομποτικών εργασιών είναι η εισαγωγή λαμπτήρων φωτισμού σε πίνακες οργάνων, η συναρμολόγηση κεφαλών κορδέλας για γραφομηχανές, η εισαγωγή ολοκληρωμένων κυκλωμάτων και διακριτών στοιχείων σε τυπωμένα κυκλώματα και η αυτοματοποιημένη συναρμολόγηση μικρών ηλεκτρικών κινητήρων. Πολύπλοκες και συνθέτες εργασίες συναρμολόγησης δεν μπορούν να εκτελεστούν από τα σημερινά ρομπότ. Ένας σημαντικός αριθμός ερευνητών διεξάγει ερευνά στην ανατροφοδότηση από αισθητήρες, στη βελτίωση της ακρίβειας τοποθέτησης και σε καλύτερες γλώσσες προγραμματισμού προσανατολισμένες στην εργασία (task-oriented) έτσι ώστε να επιτευχθούν προηγμένες εφαρμογές συναρμολόγησης στο μέλλον.

2.5.7 Επιθεώρηση -Έλεγχος Ποιότητας

Ο τομέας της επιθεώρησης (inspection) από ρομπότ παρουσιάζει ένα μικρό αλλά διαρκώς αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών. Στις εφαρμογές αυτές τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό με αισθητήρες, όπως τηλεοπτική κάμερα, λέιζερ ή υπερηχητικούς ανιχνευτές, προκειμένου να επιβεβαιώσουν τις θέσεις του αντικειμένων, να προσδιορίσουν ελαττώματα ή να αναγνωρίσουν αντικείμενα για ταξινόμηση. Τέτοια ρομπότ έχουν χρησιμοποιηθεί στην επιθεώρηση καλυμμάτων βαλβίδων σε μηχανές αυτοκίνητων, στην ταξινόμηση χυτών μεταλλικών αντικειμένων και στην επιθεώρηση της ακρίβειας διαστάσεων σε ανοίγματα αμαξωμάτων. Στις εφαρμογές επιθεωρήσεις, απαιτείται μεγάλος βαθμός ικανοτήτων ακρίβειας και εκτενούς αίσθησης. Οι εφαρμογές αυτές βρίσκονται ανάμεσα στις ταχύτερα εξελισσόμενες καθώς αναπτύσσονται αισθητήρες χαμηλού κόστους.

2.6 ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΧΡΗΣΤΕΣ ΡΟΜΠΟΤ

Οι εγκαταστάσεις όπου σήμερα χρησιμοποιούνται βιομηχανικά ρομπότ, αφορούν εν γένει εφαρμογές μαζικής παραγωγής (βαριά βιομηχανία, αυτοκινητοβιομηχανία, αυτοματοποιημένες γραμμές παραγωγής, κ.ά.). Πέραν των αυτοκινητοβιομηχανιών και των χυτηρίων, χρήστες ρομπότ είναι και άλλοι μικροί ή μεγάλοι κατασκευαστές εξοπλισμού. Τα ρομπότ συναντώνται στη μαζική παραγωγή και σε ομαδικές διαδικασίες, και οι περισσότερες εταιρείες που τα χρησιμοποιούν τείνουν επίσης να χρησιμοποιήσουν και άλλα προηγμένα εργαλεία παραγωγής, όπως εργαλειομηχανές ελεγχόμενες από υπολογιστή, ενώ οι διαδικασίες σχεδιασμού και ελέγχου του προϊόντος και της παραγωγής γίνεται με υπολογιστή.

Η αυτοκινητοβιομηχανία διαθέτει τις περισσότερες ρομποτικές εγκαταστάσεις στις ΗΠΑ, απασχολώντας περίπου το 40% του ρομποτικού πληθυσμού της χώρας. Η πιο συνήθης ρομποτική εφαρμογή στις αυτοκινητοβιομηχανίες είναι η ηλεκτροσυγκόλληση, η οποία απασχολεί περίπου το 70% των ρομπότ. Οι υπόλοιπες εφαρμογές αφορούν μεταφορά κομματιών, συναρμολόγηση και φόρτωση μηχανών. Οι εφαρμογές της βιομηχανίας αυτοκίνητων προβλέπεται να κυριαρχήσουν στην αγορά και στην επόμενη δεκαετία.

Ο τομέας των χυτηρίων εξάλλου συνεχίζει να αποτελεί ένα σημαντικό βιομηχανικό χρήστη ρομπότ. Πολλά χυτήρια, που λειτουργούν κυρίως σε αυτοκινητοβιομηχανίες και εταιρείες βαρέως εξοπλισμού, αποτελούν πρωταρχικούς χρήστες. Επιπλέον, ανεξάρτητα χυτήρια καθημερινά αυξάνουν τη χρήση ρομπότ. Οι χρήσεις των ρομπότ αφορούν τη Φόρτωση των μηχανημάτων εγχύσεως μετάλλου, την ψύξη χυτών αντικειμένων, την αρχική κατεργασία κομματιών, τη μεταφορά με ειδικά σκεύη λιωμένου μετάλλου, κλπ.

Στις βιομηχανίες ηλεκτρικού και ηλεκτρονικού εξοπλισμού, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για διαχείριση υλικών, συναρμολόγηση και βαφή. Για παράδειγμα, οι κατασκευαστές οικιακών συσκευών, υπολογιστών και άλλων προϊόντων που απαιτούν ηλεκτρική καλωδίωση χρησιμοποιούν ρομπότ για την εναπόθεση συρμάτων σε ρολλούς. Άλλε εφαρμογές περιλαμβάνουν τη συναρμολόγηση μικροκυκλωμάτων, την εισαγωγή συνιστωσών σε πλακέτες τυπωμένων κυκλωμάτων, τον έλεγχο με ηλεκτρικά σήματα από υπολογιστές,

την οπτική επιθεώρηση έτοιμων πλακετών, και τη συναρμολόγηση διακοπών και ηλεκτρονόμων. Στον τομέα της διαχείρισης υλικών, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για το χειρισμό μασκών ολοκληρωμένων κυκλωμάτων, την παλλετοποίηση συνιστωσών και τη διαχείριση θερμών στοιχείων. Τέλος, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για ψεκασμό σε εφαρμογές όπως επίχριση πλακετών κυκλωμάτων και βαφή συσκευών.

Οι κατασκευαστές βαρέως εξοπλισμού, όπως οι εταιρείες οικοδομικού ή αγροτικού εξοπλισμού, χρησιμοποιούν ρομπότ για εφαρμογές παρόμοιες με αυτές της βιομηχανίας αυτοκινήτων. Οι αεροναυτικές εταιρείες εξάλλου, οι οποίες σήμερα χρησιμοποιούν ένα μικρό αριθμό ρομπότ, προτίθενται να επεκτείνουν τη χρήση τους σημαντικά στο μέλλον. Οι εταιρείες αυτές ενδιαφέρονται περισσότερο για τις ικανότητες επεξεργασίας των ρομπότ, παρά για τις ικανότητες τους να διαχειρίζονται αντικείμενα. Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για βαφή με ψεκασμό και άλλες επικαλύψεις επιφανειών αεροσκαφών, για μηχανουργικές κατεργασίες όπως διάνοιξη οπών και για συναρμολόγηση. Οι αεροναυτικές εταιρείες χρησιμοποιούν επίσης ρομπότ σαν συνιστώσες ολοκληρωμένων σταθμών εργασίας CAD/CAM.

Τα ρομπότ χρησιμοποιούνται και σε άλλες βιομηχανίες, όπως πλαστικών και άλλων μη μεταλλικών υλικών. Στη βιομηχανία πλαστικών, τα ρομπότ έχουν χρησιμοποιηθεί για την αυτοματοποίηση διαδικασιών εμφυσήματος και καλουπώματος. Φθηνά ρομπότ χρησιμοποιούνται συχνά για την απομάκρυνση αντικειμένων από καλούπια. Πιο προηγμένα ρομπότ χρησιμοποιούνται για την εκφόρτωση καλουπιών βάρους μέχρι 100kg ή για την εκτέλεση δευτερευουσών εργασιών. Εξάλλου, στις βιομηχανίες τροφίμων. Φαρμάκων και καλλυντικών, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για τη διαχείριση υλικών και για πακετάρισμα. Σε βιομηχανίες ξύλου, τα ρομπότ χρησιμοποιούνται για το φινίρισμα επίπλων (βερνίκωμα, βαφή, κοπή και συναρμολόγηση). για μεταφορά υλικών και για παλλετοποίηση. Άλλες πιθανές εφαρμογές βρίσκονται σήμερα στο στάδιο της μελέτης στις βιομηχανίες καουτσούκ, κατασκευή ελαστικών-αυτοκινήτων), στην επεξεργασία του αμιάντου, στη Φορτοεκφόρτωση υαλικών όπου απαντώνται αισθητήρες αφής, ακόμη και στη βιομηχανία ρούχων. Σε πολλές από αυτές τις επεξεργασίες μη μεταλλικών υλικών, η αποδοτική χρήση των ρομπότ απαιτεί την ενσωμάτωση ικανοτήτων όρασης ή αφής.

Μια σημαντική νέα εφαρμογή των ρομπότ βρίσκεται στα Ολοκληρωμένα Κατασκευαστικά Συστήματα (Integrated Manufacturing Systems-IMS). Στα συστήματα αυτά, ακατέργαστα υλικά εισέρχονται στην περιοχή εργασίας, όπου εκτελούνται εργασίες όπως μηχανουργείο, φινίρισμα και επιθεώρηση. Άλλες εργασίες υποστήριξης, όπως σχεδιασμός συνιστωσών, επιλογή εργαλείων, προγραμματισμός και κανονισμός της ροής των εργασιών, μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στο σύστημα προκειμένου να ελέγξουν τη διεργασία. Ένα σημαντικό στοιχείο ενός τέτοιου συστήματος είναι η ολοκλήρωση των ρομπότ με άλλα συστήματα CAD/CAM. Το ρομπότ λειτουργεί σαν φυσικός χρήστης του συστήματος και είναι υπεύθυνο για τη μετακίνηση αντικειμένων από ένα στάδιο σε κάποιο άλλο.

Γενικά, στα συστήματα αυτά ταιριάζουν καλύτερα προηγμένα ρομπότ τα οποία έχουν ικανότητες αίσθησης, όπως αφή και όραση. Ένα σύστημα όρασης μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την επιθεώρηση εισερχόμενων αντικειμένων, για την καθοδήγηση του ρομπότ κατά τη διάρκεια της εργασίας, και για την επιθεώρηση των τελειωμένων αντικειμένων πριν τη μετακίνηση τους σε κάποιον άλλο σταθμό. Η χρήση ανάδρασης από αισθητήρες αφής και από προηγμένες αρπαγές με δυνατότητα προσαρμογής ποικίλων εργαλείων (universal grippers) μπορεί να βοηθήσει ένα ρομπότ στην τοποθέτηση αντικειμένων σε διάφορες θέσεις.

Η χρησιμοποίηση τέτοιων συστημάτων τα οποία βρίσκονται κυρίως στο στάδιο της ανάπτυξης, αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά στο μέλλον, ενώ προβλέπεται ότι ένα ποσοστό 20-30% των ρομπότ που θα αγοραστούν στα επόμενα δέκα χρόνια, θα έχουν διασύνδεση με συστήματα CAD/CAM . Το επόμενο βήμα θα είναι η ανάπτυξη ενός ολοκληρωμένου συστήματος το οποίο θα συνδέει αρκετά μηχανικά κύτταρα εργασίας σε ένα Ευέλικτο Κατασκευαστικό Σύστημα (Flexible Manufacturing Systems). Επιπλέον, πολλές εταιρείες επενδύουν στην ολοκλήρωση ρομπότ με κατασκευαστικά εργαλεία, όπως π.χ. λείζερ.

Παρά το γεγονός ότι τα ρομπότ χρησιμοποιούνται σχεδόν σε κάθε τύπο βιομηχανίας και κάθε τύπο εφαρμογής, η πλειοψηφία των εγκαταστάσεων βρίσκεται συγκεντρωμένη σε σχετικά λίγα εργοστάσια και είδη εφαρμογών. Εκτιμάται ότι στις ΗΠΑ μόλις δέκα εργοστάσια περιέχουν περίπου το ένα τρίτο όλων των ρομποτικών εγκαταστάσεων και ότι οι τρεις κατηγορίες εφαρμογών,

της ηλεκτροσυγκόλλησης, της διαχείρισης υλικών και της φόρτωσης μηχανών, αντιστοιχούν στο 80% περίπου των τρεχουσών εφαρμογών. Επισημαίνεται έτσι ότι η εξάπλωση των ρομπότ στην αγορά είναι σχετικά περιορισμένη ακόμα και στις πιο διαδεδομένες εφαρμογές.

Καθώς η ρομποτική τεχνολογία θα συνεχίζει να διαχέεται στη βιομηχανία, θα επηρεάζει σχεδόν κάθε κατασκευαστή, από κατασκευαστές επίπλων μέχρι Φαρμακοβιομηχανίες. Τέλος, καθώς οι ρομποτικές ικανότητες διαρκώς θα βελτιώνονται, νέες εφαρμογές αναμφίβολα θα δημιουργηθούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Η ταξινόμηση των βιομηχανικών ρομπότ αποτελεί τον οδηγό για τη σύγκριση ρομπότ παρόμοιων ιδιοτήτων και είναι απαραίτητη για την επιλογή του κατάλληλου ρομπότ για μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Υπάρχουν κατάλογοι ρομπότ σε υπολογιστή, μέσα από τους οποίους ο μελλοντικός χρήστης μπορεί να βοηθηθεί στη διαδικασία της επιλογής, χρησιμοποιώντας την ταξινόμηση τόσο στις προδιαγραφές όσο και στις λειτουργίες αναζήτησης. Πλέον, έχουν αναπτυχθεί συστήματα υποβοήθησης της επιλογής του κατάλληλου ρομπότ για μία εφαρμογή. Τα συστήματα αυτά χρησιμοποιούν αρκετά από τα παραπάνω κριτήρια, μπορεί όμως να συμπεριλαμβάνουν και τεχνικά ή/και οικονομικά χαρακτηριστικά.

Παρά το γεγονός ότι μέχρι σήμερα δεν έχουν θεσπισθεί διεθνή πρότυπα ταξινόμησης ρομποτικών συστημάτων, τα κυριότερα κριτήρια που συναντώνται στη βιβλιογραφία αλλά και στην πράξη είναι: η αρχή λειτουργίας, η μέθοδος ελέγχου της κίνησης, ο γεωμετρικός σχηματισμός, η κατηγορία εφαρμογής και ο τύπος παραγωγής και μετάδοσης της κίνησης.

Τα σχήματα που παρουσιάζονται δεν είναι αμοιβαία αποκλειόμενα, υπό την έννοια ότι κάποιες ταξινομήσεις συνεπάγονται κάποιες άλλες. Τα ρομπότ συνεχούς τροχιάς για παράδειγμα, είναι όλα σερβοελεγχόμενα. Σημειώνεται επιπλέον, ότι δεν υπάρχει μοναδική ταξινόμηση που να περικλείει όλες τις περιπτώσεις και για αυτό χρησιμοποιούνται περισσότερες από μία κατηγορίες για την πλήρη περιγραφή ενός ρομπότ. Η διαδικασία αυτή ξεκινάει με την αρχή λειτουργίας, ακολουθούμενη από τη μέθοδο ελέγχου κίνησης και το γεωμετρικό σχηματισμό. Στην τελική περιγραφή μπορεί επίσης να προσδιορισθεί η εφαρμογή.

3.1 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Ως προς την αρχή λειτουργίας τους, τα ρομπότ ταξινομούνται σε σταθερής στάσης (fixed stop) (μη σερβοελεγχόμενα ή ανοικτού βρόχου) και σε σερβοελεγχόμενα (servocontrolled). Οι όροι αυτοί αναφέρονται στη μέθοδο επίτευξης της θέσης του ρομπότ μέσα στο χώρο εργασίας.

3.1.1 Ρομπότ Σταθερής Στάσης

Το ρομπότ κατά τη μετακίνηση του έχει έλεγχο μόνο των σημείων στάσης, αλλά όχι έλεγχο των ενδιάμεσων σημείων της τροχιάς. Κάθε άξονας έχει ένα προκαθορισμένο (η καθοριζόμενο από τον ελεγκτή κάθε ώρα) σταθερό μηχανικό όριο στο κάθε άκρο της έκτασης του και μπορεί να σταματάει μόνο στα όρια αυτά. Ρομπότ αυτού του τύπου είναι εξειδικευμένων εφαρμογών και ως εκ τούτου όχι διαδεδομένα.

3.1.2 Σερβοελεγχόμενα Ρομπότ

Ο τύπος αυτός κινείται από σερβομηχανισμούς. δηλαδή κινητήρες των οποίων το σήμα κίνησης είναι συνάρτηση της διαφοράς μεταξύ της διατεταγμένης και της μετρούμενης (πραγματικής) θέσης και η ταχύτητας (σπανιότερα δε και της επιτάχυνσης). Ένα τέτοιο ρομπότ έχει τη δυνατότητα να κινείται μέσα από έναν πρακτικά άπειρο αριθμό σημείων κατά την εκτέλεση μίας προγραμματισμένης ακολουθίας. Το σύνολο των σημείων προκύπτει από το συνδυασμό των επιτεύξεων μετατοπίσεων των αρθρώσεων. Εάν, για παράδειγμα, ένα ρομπότ έχει τρεις αρθρώσεις και κάθε άρθρωση μπορεί να επιτύχει 100 διαφορετικές μετατοπίσεις, τότε το άκρο του χειριστή μπορεί να επιτύχει 10^6 διαφορετικές τοποθετήσεις. Τα ρομπότ αυτά είναι πιο ακριβά και πιο σύνθετα στη λειτουργία, προγραμματισμό και συντήρηση από τα ρομπότ σταθερής στάσης.

3.2 ΜΕΘΟΔΟΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΙΝΗΣΗΣ

Σε σχέση με τη μέθοδο ελέγχου κίνησης, τα ρομπότ ταξινομούνται σε ρομπότ σημείου-προς-σημείο (point-to-point) και ρομπότ συνεχούς τροχιάς (continuous path).

3.2.1 Ρομπότ Σημείου-προς-Σημείο (point-to-point Robots)

Με αυτή τη μέθοδο ελέγχου της κίνησης, ένα ρομπότ προγραμματίζεται από το χρήστη ώστε να κινηθεί από μία θέση στην επόμενη. Οι ενδιάμεσες τροχιές μεταξύ των σημείων δεν μπορούν να προσδιορισθούν. Σε μια τέτοια ακολουθία κινήσεων, το ρομπότ κινείται σε μία προσδιορισμένη θέση, σταματάει και εκτελεί μία λειτουργία, κατόπιν κινείται σε μία άλλη προσδιορισμένη θέση, σταματάει, κ.ο.κ. Η τροχιά του ρομπότ (δηλαδή η διαδρομή μεταξύ διαδοχικών σημείων) και η ταχύτητα κατά τη μετακίνηση από τη μία θέση στην επόμενη, εν γένει δεν έχει σημασία, και συνήθως δεν προγραμματίζεται, αλλά αποτελεί εσωτερική λειτουργία του ελεγκτή.

Στον τρόπο λειτουργίας σημείου-προς-σημείο, ένα ρομπότ εκτελεί χρήσιμο έργο μονό όταν όλοι οι άξονες είναι σε στάση στις επιθυμητές θέσεις του χώρου εργασίας. Οι περισσότερες εργασίες χειρισμού αντικειμένων και ορισμένες εργασίες χειρισμού εργαλείων εκτελούνται κατ' αυτόν τον τρόπο. Όλα τα ρομπότ σταθερής στάσης και ορισμένα σερβοελεγχόμενα ρομπότ λειτουργούν με αυτόν τον τρόπο.

3.2.2 Ρομπότ Συνεχούς Τροχιάς (Continuous Path Robots)

Ο έλεγχος συνεχούς τροχιάς είναι ένας τύπος ρομποτικού ελέγχου κατά τον οποίο το ρομπότ επαναλαμβάνει την κίνηση μέσα από διδαγμένα σημεία σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, και τα οποία έχουν προγραμματισθεί σε μία σταθερή χρονική βάση κατά τη διάρκεια της διδασκαλίας. Τα σημεία διδασκαλίας καταγράφονται από τη μονάδα ελέγχου καθώς το ρομπότ οδηγείται μέσα από μία επιθυμητή τροχιά, διαβάζοντας τους κωδικοποιητές

των αρθρώσεων, δηλ. τη θέση του κάθε άξονα σε σταθερή χρονική βάση. Ακολούθως, ένας αλγόριθμος επανάληψης επιχειρεί να επαναλάβει την κίνηση αυτή. Έλεγχος συνεχούς τροχιάς μπορεί επίσης να επιτευχθεί με την παρεμβολή μίας επιθυμητής καμπύλης τροχιάς μεταξύ των διδαγμένων σημείων.

Τα ρομπότ που λειτουργούν κατ' αυτόν τον τρόπο, μπορούν να εκτελέσουν χρήσιμο έργο ενώ όλοι οι άξονες τους βρίσκονται σε ταυτόχρονη, συντονισμένη κίνηση, ενδεχομένως με διαφορετική ταχύτητα, προκειμένου το εργαλείο να διαγράψει την επιθυμητή τροχιά. Η τροχιά του βραχίονα προγραμματίζεται με άμεσο τρόπο (καθοδήγηση μέσα από ενδιάμεσα σημεία-*land-through*) ή υπολογίζει ο ελεγκτής τη διαδρομή μεταξύ διαδοχικών σημείων. Ορισμένες εργασίες χειρισμού αντικειμένων και εργαλείων εκτελούνται κατ' αυτόν τον τρόπο. Οι λειτουργίες συνεχούς τροχιάς μπορούν να εκτελεσθούν μόνο από σερβοελεγχόμενα ρομπότ.

3.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΟΣ ΣΧΗΜΑΤΙΣΜΟΣ

Ένα τρίτο σχήμα ταξινόμησης βασίζεται στο γεωμετρικό σχηματισμό του ρομποτικού συστήματος. Στους περισσότερους βιομηχανικούς ρομποτικούς βραχίονες, οι τρεις πρώτες αρθρώσεις, αυτές δηλαδή που βρίσκονται πλησιέστερα στη ρομποτική βάση, συνήθως χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση του άκρου του βραχίονα σε ένα σημείο στο χώρο. ενώ οι τελευταίες (τρεις ή λιγότερες) αρθρώσεις σχηματίζουν τον καρπό (*wrist*), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον προσανατολισμό του άκρου ή του τελικού στοιχείου όρασης. Ανάλογα με το σύστημα συντεταγμένων των τριών πρώτων βαθμών ελευθερίας τα ρομπότ ταξινομούνται σε καρτεσιανά ή ορθογώνια, κυλινδρικά, σφαιρικά ή πολικά, και αρθρωτά. Εξάλλου, ανάλογα με την εμφάνιση τους και τη γεωμετρία του συνολικού μηχανισμού, τα ρομπότ μπορούν να χαρακτηρισθούν ως ανθρωπομορφικά, SCARA, ή *gantry*.

Μια εναλλακτική μορφή γεωμετρικού σχηματισμού είναι τα παράλληλα ρομπότ, τα οποία είναι κλειστές κινηματικές αλυσίδες (*closed kinematic chains*) και χρησιμοποιούνται σε εξειδικευμένες εφαρμογές. Ιδιαίτερο επίσης ενδιαφέρον παρουσιάζουν και τα ρομποτικά χεριά (*robotic hands*), τα οποία επίσης

θεωρούνται ρομποτικοί μηχανισμοί και χρησιμοποιούνται για προηγμένους χειρισμούς αντικειμένων.

Υπάρχουν επίσης σύνθετα ρομποτικά συστήματα τα οποία δεν έχουν σταθερή βάση, αλλά μπορούν να κινούνται, αυξάνοντας κατ' αυτόν τον τρόπο τον ωφέλιμο χώρο, δράσης τους. Τα κινητά (mobile) ρομπότ αποτελούν μία ξεχωριστή κατηγορία, και συμπεριλαμβάνουν τα βαδίζοντα (walking) και τα κυλιόμενα (rolling).

Οι παραπάνω κατηγορίες γεωμετρικών σχηματισμών εξετάζονται στη συνέχεια.

3.3.1 Ορθογωνικά Ρομπότ (Rectangular Robots)

Είναι επίσης γνωστά ως ορθογραμμικά (rectilinear) ή ως ρομπότ ορθογωνίων, καρτεσιανών ή ορθογραμμικών συντεταγμένων. Κινούνται σε ευθείες γραμμές πάνω-κάτω και μέσα-έξω. Οι βαθμοί ελευθερίας του βραχίονα ορίζονται από το καρτεσιανό σύστημα των αξόνων. Τα ρομπότ αυτά συνήθως δεν διαθέτουν ελεγχόμενη λογική για συντονισμένη κίνηση των αρθρώσεων. Ένα ορθογωνικό ρομπότ σχηματίζεται με τη συναρμολόγηση ενός οριζόντιου βραχίονα πάνω σε ένα κάθετο άξονα ανύψωσης, ο οποίος τοποθετείται σε γραμμική μεταφορική βάση, δημιουργώντας έτσι ένα ρομπότ X-Y-Z (σχήμα 3.1α).

Στα πλεονεκτήματα των καρτεσιανών ρομπότ συγκαταλέγονται η υψηλή διακριτική ικανότητα τους και η μεγάλη ακρίβεια, η εύκολη αποφυγή εμποδίων και συνεπώς η πρόληψη συγκρούσεων και η μη επίδραση φορτίων βαρύτητας τα οποία επιδρούν στην, ακρίβεια, που συνεπάγεται ευκολία στον έλεγχο της κίνησης των αρθρώσεων.

Τα βασικά μειονεκτήματα των καρτεσιανών ρομπότ είναι το μεγάλο δομικό πλαίσιο που διαθέτουν, το οποίο απαιτεί μεγάλη επιφάνεια δαπέδου για την εγκατάσταση, ο συγκριτικά περιορισμένος χώρος εργασίας, η δυσκολία συνεργασίας με άλλους ρομποτικούς βραχίονες σε κοινό χώρο εργασίας και η πολυπλοκότητα του μηχανικού σχεδιασμού για τρεις γραμμικές κινήσεις.

3.3.2 Κυλινδρικά Ρομπότ (Cylindrical Robots)

Είναι επίσης γνωστά ως ρομπότ κυλινδρικών συντεταγμένων ή ρομπότ στήλης (columnar robot). Δομούνται γύρω από μία στήλη που κινείται σύμφωνα με ένα κυλινδρικό σύστημα συντεταγμένων, στο οποίο η θέση κάθε σημείου προσδιορίζεται συναρτήσει της γωνίας περιστροφής της βάσης, της ακτινικής διάστασης και του ύψους από το επίπεδο αναφοράς. Ο χώρος εργασίας έχει κυλινδρική μορφή. Οι δυνατές κινήσεις αυτών των ρομπότ ονομάζονται έκταση και περιστροφή. Ένα κυλινδρικό ρομπότ σχηματίζεται από τη συναρμολόγηση ενός οριζόντιου βραχίονα με ένα κάθετο άξονα, τοποθετημένο πάνω σε μία περιστρεφόμενη βάση. Ο οριζόντιος βραχίονας μπορεί να κινείται μέσα-έξω ή πάνω-κάτω στον κάθετο άξονα και να περιστρέφεται δεξιά ή αριστερά γύρω από τον κάθετο άξονα. Έτσι οι κινήσεις των τριών κυρίων αξόνων καλύπτουν ένα κυλινδρικό τομέα (σχήμα 3.1 β).

Τα βασικά πλεονεκτήματα των κυλινδρικών ρομπότ είναι η πολύ μικρή εξάρτηση από τα Φορτία βαρύτητας που δεν επηρεάζει την ακρίβεια του χειρίστη και ο απλούστερος μηχανικός σχεδιασμός σε σχέση με τα καρτεσιανά ρομπότ. Στα μειονεκτήματα τους συμπεριλαμβάνονται η περιορισμένη συμβατότητα συνεργασίας με άλλους χειρίστες σε κοινό χώρο εργασίας και η μικρότερη ακρίβεια και διακριτική ικανότητα σε σύγκριση με τα ορθογωνικά ρομπότ.

3.3.3 Σφαιρικά Ρομπότ (Spherical Robots)

Τα ρομπότ αυτά είναι επίσης γνωστά και ως ρομπότ σφαιρικών συντεταγμένων ή πολικά (polar) ρομπότ. Τα ρομπότ αυτά εργάζονται σε σφαιρικό χώρο εργασίας, είναι δηλαδή ικανά να κινούνται περιστροφικά, να επεκτείνουν και να προσδίδουν κλίση στο βραχίονα τους. Είναι δηλαδή κυλινδρικά ρομπότ με την προσθήκη στροφής (pitch) του άκρου.

Ένας σφαιρικός ή πολικός ρομποτικός σχηματισμός αποτελείται από ένα βραχίονα που κινείται μέσα-έξω μέσα στο εύρος προσέγγισης (reach stroke), που χρησιμοποιεί όμως μία κάθετη περιστροφική κίνηση αντί για κάθετη ευθύγραμμη. Επιπλέον, ο άξονας μπορεί να περιστρέφεται αριστερά-δεξιά

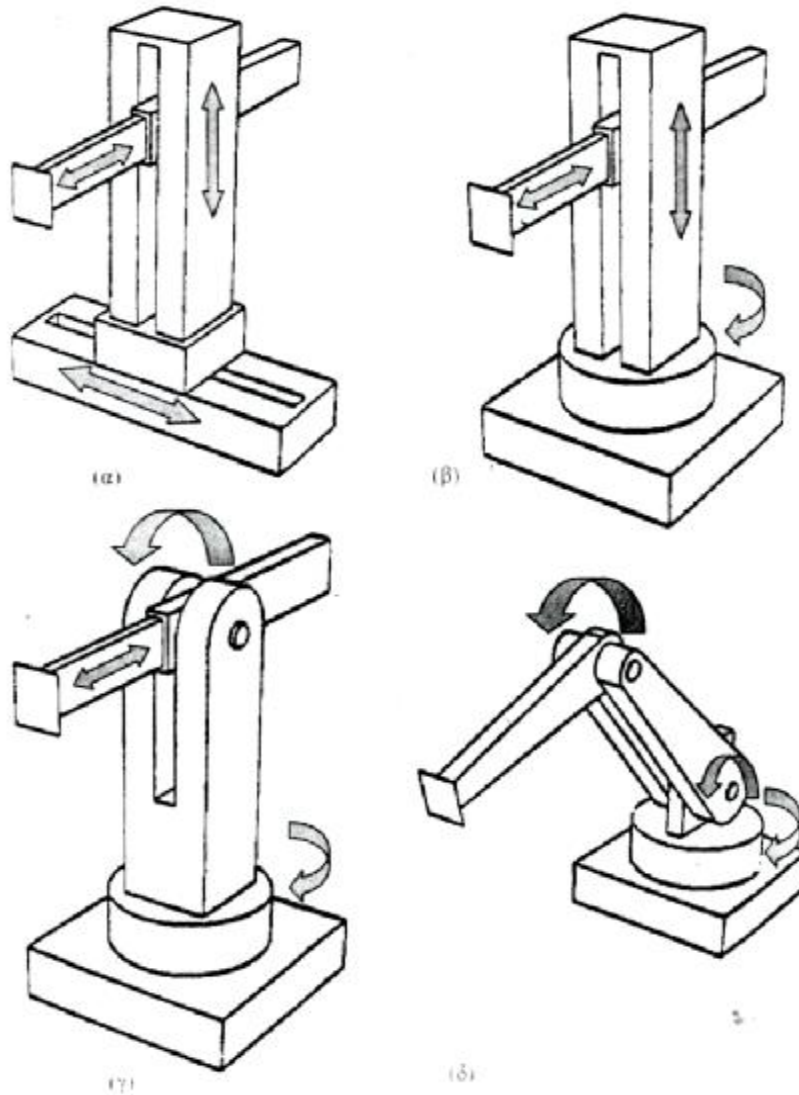
γύρω από τον κάθετο περιστροφικό άξονα. Κατ' αυτόν τον τρόπο οι κινήσεις των κυρίων αξόνων σχηματίζουν ένα τμήμα σφαίρας σαν χώρο εργασίας, όπως φαίνεται στο σχήμα 3.1γ.

Τα βασικά πλεονεκτήματα των σφαιρικών ρομπότ είναι η μικρή πολυπλοκότητα της δομής τους και το σχετικά χαμηλό βάρος τους, η δυνατότητα συνεργασίας τους με άλλα ρομπότ και εργαλείο μηχανές σε κοινό χώρο εργασίας, η καλή διακριτική ικανότητα τους, καθότι τα σφάλματα τοποθέτησης είναι κάθετα, και το γεγονός ότι απαιτείται μικρή διαδρομή των αρθρώσεων για την εκτέλεση πολλών κινήσεων.

Ανάμεσα στα μειονεκτήματα τους συγκαταλέγονται η περιορισμένη δυνατότητα αποφυγής συγκρούσεων με εμπόδια, το μεγάλο σφάλμα τοποθέτησης εξαιτίας των περιστροφικών κινήσεων, το οποίο είναι ανάλογο της ακτίνας (δηλ. της απόστασης του εργαλείου από τη βάση), και ότι απαιτούνται μεγάλες και μεταβλητές ροπές στη δεύτερη και τρίτη άρθρωση, προκαλώντας έτσι πρόβλημα εξισορρόπησης.

3.3.4 Αρθρωτά Ρομπότ

Τα ρομπότ αυτά, διαθέτουν μονό περιστροφικές αρθρώσεις και εκτελούν κινήσεις όμοιες με τις κινήσεις ενός ανθρώπου. Για το λόγο αυτό, ρομπότ που διαθέτουν τέτοια γεωμετρία στις τρεις πρώτες αρθρώσεις τους, είναι γνωστά και ιός ανθρωπομορφικά. Ένα αρθρωτό ρομπότ έχει περιστροφικές αρθρώσεις (που καλούνται ώμος και αγκώνας) τοποθετημένες σε μία βάση περιστρεφόμενη έτσι ώστε να παρέχονται τρεις κύριοι άξονες κίνησης(σχήμα 1.δ)



Σχήμα 3.1 Τύποι Γεωμετρικών Σχημάτων Ρομπότ: (α) Καρτεσιανό Ρομπότ (β) Κυλινδρικό Ρομπότ (γ) Σφαιρικό Ρομπότ (δ) Αρθρωτό Ρομπότ

Τα κύρια πλεονεκτήματα των αρθρωτών ρομπότ είναι η ευελιξία προσέγγισης πάνω ή κάτω από ένα αντικείμενο και η συμβατότητα συνεργασίας με άλλα ρομπότ σε κοινό χώρο εργασίας. Τα βασικά μειονεκτήματά τους είναι η χαμηλή διακριτική ικανότητα και ακρίβεια, που συνεπάγονται μέγιστο σφάλμα τοποθέτησης, η περιορισμένη δυνατότητα αποφυγής εμποδίου, οι μεγάλες ροπές αδρανείας και επιδράσεις φορτίων βαρύτητας, που προκαλούν δυναμική αστάθεια (δηλ. δονήσεις), και τέλος, το γεγονός ότι δημιουργείται πρόβλημα εξισορρόπησης εξαιτίας των μεγάλων και μεταβλητών ροπών στις αρθρώσεις.

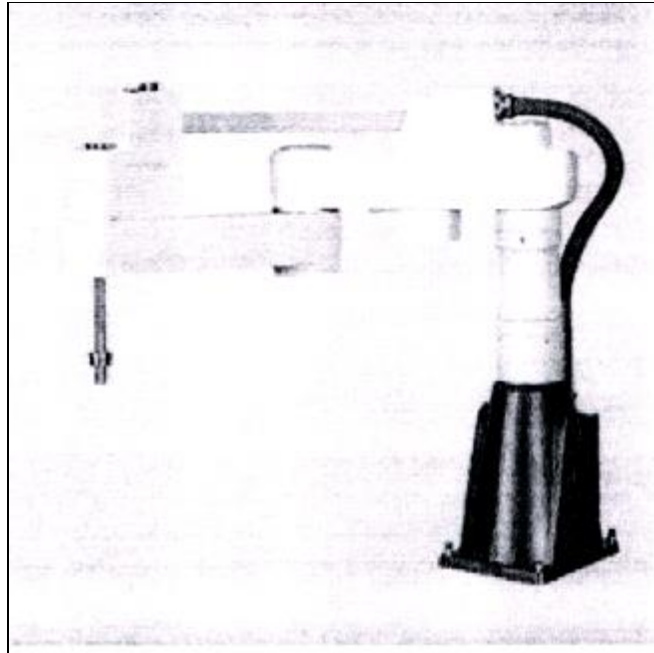
3.3.5 Ρομπότ Τύπου SCARA

Το ρομπότ τύπου SCARA (Selective Compliance Arm for Assembly-Ρομποτικός Βραχίονας Συναρμολόγησης με Επιλεκτική Συμμόρφωση). είναι ένας ρομποτικός σχηματισμός οριζόντιας περιστροφής ο οποίος σχεδιάστηκε στο Πανεπιστήμιο Yamamachi της Ιαπωνίας. Ο βραχίονας, ο οποίος έχει μέγεθος όσο και το τραπέζι εργασίας, σαρώνει μία περιοχή εξαρτήματα)ν και είναι ιδιαίτερα κατάλληλος για εργασίες ανάκτησης και τοποθέτησης μικρών αντικειμένου.

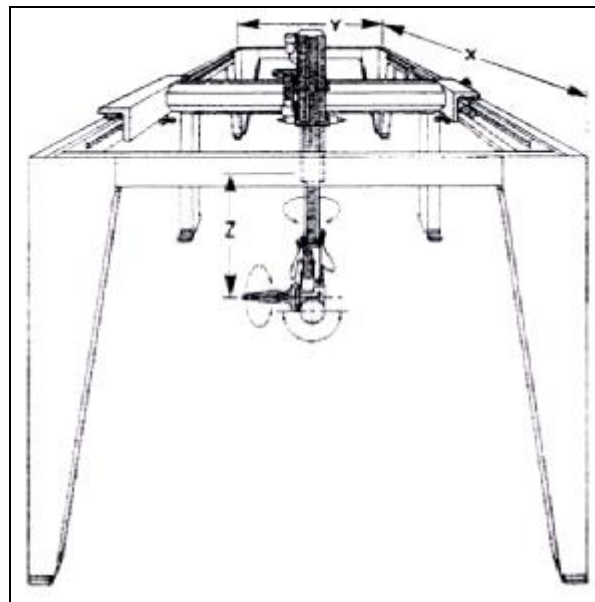
Ένα ρομπότ SCARA είναι κατά βάση ανθρωπομορφική δομή (αρθρωτός βραχίονας), με τέσσερις ή πέντε βαθμούς ελευθερίας και λειτουργεί σε ένα οριζόντιο επίπεδο. όπως φαίνεται στο σχήμα 3.2. Έχει συνήθως δύο ή τρεις οριζόντιες σερβοελεγχόμενες αρθρώσεις (ώμος, αγκώνας, και ορισμένες φορές καρπός), και έναν κάθετο, σερβοελεγχόμενο ή μη άξονα. Διακόπτοντας την παροχή και «χαλαρώνοντας» μία ή περισσότερες από τις οριζόντιες αρθρώσεις, η ρομποτική δομή μπορεί να συμμορφωθεί σε εξωτερικές δυνάμεις, χωρίς ωστόσο να επηρεάζεται από τη βαρύτητα. Κάτω από αυτές τις συνθήκες, μπορούν να εκτελεσθούν εργασίες εισαγωγής αντικειμένων πολύ αυστηρών ανοχών, όταν δηλαδή ο βραχίονας κινείται από εξωτερικές δυνάμεις για να αντισταθμίσει μικρά σφάλματα τοποθέτησης.

3.3.6 Ρομπότ Τύπου Gantry

Τα ρομπότ αυτά είναι ορθογωνικά με τρεις βαθμούς ελευθερίας κατ' ελάχιστο και έξι κατά μέγιστο και τοποθετούνται στην οροφή του τύπου εργασίας. Ρομπότ τοποθετημένα σε πάγκους εργασίας με σχεδιασμό gantry δεν περιλαμβάνονται συνήθως στον ορισμό αυτό. Ένα ρομπότ gantry μπορεί να κινηθεί κατά τους άξονες x και y διανύοντας σχετικά μεγαλύτερες αποστάσεις από ένα ρομπότ τοποθετημένο στο δάπεδο με υψηλές ταχύτητες, ενώ ταυτόχρονα παρέχει και πολύ υψηλό βαθμό ακρίβειας τοποθέτησης. Τα χαρακτηριστικά του ρομπότ gantry περιλαμβάνουν μεγάλους χώρους εργασίας, ικανότητα ανύψωσης μεγάλων φορτίων, κινητή τοποθέτηση στην οροφή, και τη δυνατότητα και ευελιξία λειτουργίας σε ένα χώρο εργασίας ισοδύναμο με αυτόν πολλών ρομπότ δαπέδου (σχήμα 3.3).



Σχήμα 3.2 Ρομπότ Τύπου SCARA.



Σχήμα 3.3 Ρομπότ Τύπου Gantry.

Οι άξονες x, y και z ενός ρομπότ gantry ορίζονται ως ακολούθως:

- Άξονας x: Ταχεία Ολίσθηση (runway). Αυτός είναι ο επιμήκης άξονας, συνήθως αποτελούμενος από τις παθητικές πλάγιες ράβδους της δομής του ρομπότ gantry.

- Άξονας y: Γεφύρωση (bridge). Αυτός είναι ο εγκάρσιος άξονας, το ενεργητικό στοιχείο του ρομπότ, ο οποίος είναι τοποθετημένος πάνω στις ράβδους ταχείας ολίσθησης και υποστηρίζει το φορτίο του ρομπότ gantry.

- Άξονας z: Τηλεσκοπικός Σωλήνας ή Ιστό (mast). Αυτός είναι ο κάθετος άξονας που ανυψώνει το φορτίο.

Το ρομπότ που είναι προσαρτημένο πάνω στη δομή gantry μπορεί να διαθέτει έναν από τους ρομποτικούς σχηματισμούς που περιγράψαμε προηγουμένως. Η όλη δομή μπορεί να είναι τοποθετημένη σε μία υπερυψωμένη θέση πάνω από το χώρο εργασίας.

3.3.7 Παράλληλοι Χειριστές

Οι σειριακοί χειριστές, αν και συνήθως αποτελούνται από, κατά σύμβαση, άκαμπτους δομικά συνδέσμους, εν τούτοις η ανυψωτική τους ικανότητα και η σκληρότητα τους είναι αρκετά χαμηλές συγκρινόμενες με τα αντίστοιχα μεγέθη σε άλλους πολυαξονικούς μηχανισμούς, όπως οι εργαλειομηχανές CNC. Για την αντιμετώπιση αυτών των μειονεκτημάτων, αναπτύχθηκαν οι παράλληλοι χειριστές (parallel manipulators) οι οποίοι μπορούν να ανυψώσουν μεγαλύτερα φορτία και διαθέτουν ελαφρύτερους συνδέσμους.

Ένας παράλληλος χειριστής αποτελείται από μία ακίνητη πλατφόρμα βάσης (base platform), μία κινούμενη πλατφόρμα (moving platform), και από διάφορα πόδια (legs) τα οποία συνδέουν τις δύο πλατφόρμες. Κάθε πόδι είναι στην ουσία μία σειριακή κινηματική αλυσίδα, τα δύο άκρα της οποίας είναι οι δύο πλατφόρμες. Σε αντίθεση με τους σειριακούς χειριστές, όλες οι αρθρώσεις των οποίων έχουν την δυνατότητα κίνησης καθοδηγούμενης από ένα κινητήρα, οι παράλληλοι χειριστές διαθέτουν αρθρώσεις χωρίς δυνατότητα καθοδηγούμενης κίνησης, κάτι το οποίο αποτελεί σημαντική διαφορά μεταξύ των δύο τύπων, και που καθιστά την ανάλυση των παράλληλων χειριστών εν γένει πολύ πιο πολύπλοκη.

Ένα κλασσικό παράδειγμα παράλληλων χειριστών είναι ο προσομοιωτής πτήσεων (flight simulator) ο οποίος αποτελείται από έξι πόδια καθοδηγούμενα από υδραυλικά έμβολα. Τέτοιου τύπου χειριστές καλούνται και πλατφόρμες Stewart (Stewart platform. Πρόσφατα έχουν παρουσιασθεί πολλές εναλλακτικές μορφές παράλληλων χειριστών, όπως το ρομπότ Delta που αναπτύχθηκε στο Lausanne Federal Polytechnic Institute, το ρομπότ Hexa που αναπτύχθηκε στο University of Montpellier και το ρομπότ Star που αναπτύχθηκε στην Ecole Centrale στο Παρίσι. Άλλο παράδειγμα παράλληλου χειριστή είναι το Trussarm που αναπτύχθηκε στο University of Toronto Institute of Aerospace Studies (UTIAS) [HSC91], όπως και το «αριστερό χέρι» (main gauche) που αναπτύχθηκε στο INRIA, Sophia-Antipolis, προκειμένου να χρησιμοποιηθεί βοηθητικά προς ένα σειριακό ρομπότ για να βελτιώσει την επιδεξιότητα του.

3.3.8 Ρομποτικά Χεριά

Τα μηχανικά χεριά είναι ρομποτικά συστήματα που έχουν ως σκοπό την παραγωγή των κινήσεων του ανθρώπινου χεριού και προορίζονται να εκτελούν εργασίες χειρισμού (manipulation), διακρινόμενες σε απλές και επιδέξιες (dextrous). Στις απλές, τα δάκτυλα παίζουν δευτερεύοντα ρόλο και χρησιμοποιούνται ως απλές στατικές δομείς που συγκρατούν σταθερά ένα αντικείμενο σε σχέση με την παλάμη του χεριού, η οποία θεωρείται ως στερεό σώμα. Ο απλός χειρισμός μπορεί να επιτευχθεί με τη βοήθεια ενός χειριστή και μίας αρπάγης. Ο επιδέξιος χειρισμός, αντίθετα, εμπλέκει την ελεγχόμενη κίνηση του συγκροτούμενου αντικειμένου σε σχέση με την παλάμη. Αυτό το είδος κίνησης εμφανίζεται κατά την εκτέλεση έργων με υψηλές απαιτήσεις ακρίβειας, όπως γραφή ή κοπή ιστών με νυστέρι. Συνήθως, τα ρομποτικά χέρια έχουν πολλά δάκτυλα, αν και υπάρχουν ορισμένες συσκευές συγκράτησης με τη μορφή μίας απλής, ανοικτής, ιδιαίτερα πλεονάζουσας κινηματικής αλυσίδας.

Η βασική κινηματική δομή ενός ρομποτικού χεριού απαρτίζεται από μία παλάμη, που χρησιμεύει ως η βάση ενός απλού χειριστή και από ένα σύνολο δακτύλων, δημιουργώντας έτσι από κινηματική άποψη, μία τοπολογία δένδρου. Κατά τη συγκράτηση (grasping) ενός αντικειμένου με όλα τα δάκτυλα, η κινηματική αλυσίδα καθίσταται κλειστή με πολλούς βρόχους. Η αρχιτεκτονική

των δακτύλων είναι ίδια με αυτή απλών ρομποτικών χειριστών και αποτελείται από δύο έως τέσσερις συνδέσμους που αντιστοιχούν στις φάλαγγες του ανθρώπινου χεριού, συζευγμένους μέσω περιστροφικών αρθρώσεων. Ωστόσο, οι αρθρώσεις των μηχανικών δακτύλων δεν κινούνται ανεξάρτητα, σε αντίθεση με αυτές των σειριακών χειριστών, και συχνά κινούνται από ένα μόνο κύριο (master) κινητήρα και οι υπόλοιπες αρθρώσεις λειτουργούν ως υπηρέτες (slaves).

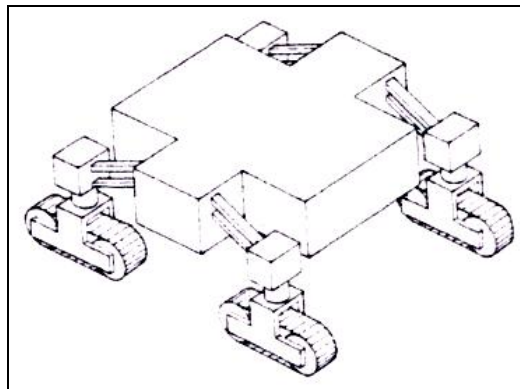
Υπάρχουν διάφοροι τύποι πολυδάκτυλων χεριών (multi-fingered hands), μεταξύ των οποίων τα γνωστότερα είναι το χέρι που αναπτύχθηκε στο University of Yale, το χέρι Utah/MIT, το χέρι που αναπτύχθηκε στο University of Karlsruhe, το Stanford/JPK, το TU Munich, κ.ά. Εξ' αυτών, το Utah/MIT είναι εμπορικά διαθέσιμο. Αποτελείται από τέσσερα δάκτυλοι, ένα εκ των οποίων είναι τοποθετημένο απέναντι από τα υπόλοιπα τρία και αντιστοιχεί στον αντίχειρα. Κάθε δάκτυλο αποτελείται από τέσσερις φάλαγγες συζευγμένες με περιστροφικές αρθρώσεις, κάθε μία εκ των οποίων κινείται μέσω δύο εντατήρων (ή τενόντων-tendons).

Ένα βασικό πρόβλημα του επιδέξιου χειρισμού είναι ο προγραμματισμός των κινήσεων των δακτύλων, που είναι κατά πολύ περισσότερο σύνθετος από τον προγραμματισμό ενός εξαζονικού χειριστή. Οι Liu, Iberall και Bekey πρότειναν μία προσέγγιση ανάλυσης έργου για τον προγραμματισμό της κίνησης ρομποτικών χεριών σε υψηλό επίπεδο, χρησιμοποιώντας μία ευρετική, βασισμένη στη γνώση μέθοδο. Από την ανάλυση των διαφόρων καταστάσεων συγκράτησης, κατέληξαν στο συμπέρασμα ότι οι απαιτήσεις έργων συγκράτησης είναι: (α) η ευστάθεια (stability), (β) η διαχειρισσιμότητα ή ευχρηστία (manipulability), (γ) η δυνατότητα άσκησης ροπής (torquability) και (δ) η ακτινική περιστρεψιμότητα (radial rotatability). Η ευστάθεια ορίζεται ως ένα μετρό της τάσης του αντικειμένου να επιστρέψει στην αρχική του θέση έπειτα από κάποια διαταραχή. Η ευχρηστία εκφράζει την ικανότητα μετάδοσης κίνησης στο συγκροτούμενο αντικείμενο, διατηρώντας τα δάκτυλα σε επαφή με αυτό. Η δυνατότητα άσκησης ροπής η αλλιώς εφαπτομενική περιστρεψιμότητα (tangential rotatability) είναι η ικανότητα περιστροφής του επιμήκους άξονα ενός αντικείμενου με την ελάχιστη δύναμη, για δεδομένες προδιαγραφές ροπής. Τέλος, η ακτινική περιστρεψιμότητα είναι η ικανότητα περιστροφής του συγκροτούμενου αντικείμενου γύρω από τον επιμήκη άξονα του με την άσκηση ελάχιστης ροπής γύρω από αυτόν τον άξονα.

3.3.9 Κινητά Ρομπότ

Τα περισσότερα κινητά ρομπότ είναι τοποθετημένα πάνω σε τροχούς. Σήμερα δεν υπάρχει ακόμη συστηματική παραγωγή βιομηχανικών ρομπότ με τροχούς, αν και υπάρχει η ανάγκη για κινητικότητα σε εργοστασιακούς χώρους. Έχουν ωστόσο δημιουργηθεί πειραματικά και ερευνητικά ρομπότ με τροχούς. Εξάλλου σε πειραματικό στάδιο υπάρχουν κινητά ρομπότ με ερπύστριες ή ρομπότ με τέσσερα έως έξι πόδια (legged robots), έτσι ώστε το ρομπότ να μπορεί να κινηθεί σε ανώμαλα εδάφη. Τα ρομπότ αυτά έχουν αναπτυχθεί για εξερευνητικούς ή στρατιωτικούς σκοπούς. Τέλος έχουν αναπτυχθεί σε πρωταρχικό στάδιο ρομπότ με δύο ποδιά προκειμένου να μιμηθούν τις ανθρώπινες κινήσεις. Το μεγαλύτερο πρόβλημα για τα ρομπότ αυτά είναι η διατήρηση της ισορροπίας, έτσι ώστε το ρομπότ να μπορεί να παραμένει όρθιο ενώ εκτελεί κάποια εργασία. Επίσης πρόβλημα αποτελεί και η παροχή ισχύος για ένα τέτοιο μηχανισμό. Ένα τυπικό παράδειγμα κινητού ρομπότ απεικονίζεται στο σχήμα 3.4.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται εν συντομία τα βαδίζοντα κινητά ρομπότ και τα κυλιόμενα κινητά ρομπότ.



Σχήμα 13.4 Κινητό Ρομπότ.

3.3.9.1 Βαδίζοντα Κινητά Ρομπότ

Στις μηχανές που έχουν δυνατότητα βαδίσματος, το βασικό πρόβλημα είναι η ευστάθεια, η οποία διακρίνεται σε στατική και δυναμική. Η στατική ευστάθεια αφορά την ικανότητα διατήρησης μίας κατάστασης ή ενός σχηματισμού μόνο από δυνάμεις αντίδρασης, ενώ στη δυναμική ευστάθεια η ικανότητα αυτή προκαλείται τόσο από δυνάμεις αντίδρασης όσο και από αδρανειακές δυνάμεις. Προφανώς, η στατική ευστάθεια απαιτεί περισσότερα σημεία επαφής, και άρα περισσότερα πόδια, απ' ό,τι η δυναμική ευστάθεια. Μονόποδα ή δίποδα ρομπότ που εκτελούν αναπηδήσεις, όπως το Hopping Robot αποτελούν παραδείγματα μηχανών βαδίσματος με κίνηση εξαρτώμενη από δυναμική ευστάθεια. Επίσης, μοντέλα ανθρώπινου βαδίσματος και προσομοιώσεις έχουν κατά καιρούς αναπτυχθεί.

Μία μηχανή βαδίσματος που βασίζεται σε στατική ευστάθεια, απαιτεί κινηματική δομή ικανή να παρέχει τις δυνάμεις αντίδρασης του εδάφους που απαιτούνται για την εξισορρόπηση του βάρους της μηχανής. Ένα δίποδο (biped) δεν έχει την ικανότητα στατικής ισορροπίας, διότι κατά τη φάση κίνησης ή προώθησης (swing phase) του ενός ποδιού, το σώμα στηρίζεται σε ένα μόνο σημείο επαφής, το οποίο δεν μπορεί να αναπτύξει τις απαιτούμενες δυνάμεις για να το διατηρήσει σε ισορροπία.

Για κίνηση σε οριζόντια επιφάνεια, απαιτούνται τουλάχιστον τρία πόδια για την παραγωγή στατικής ευστάθειας. Πράγματι, όταν ένα από τα πόδια βρίσκεται σε άσση προώθησης, τα άλλα δύο πόδια βρίσκονται σε επαφή με το έδαφος, και στα δύο σημεία επαφής είναι δυνατόν να παραχθούν οι απαιτούμενες εξισορροπητικές δυνάμεις. Με τον ίδιο συλλογισμό, για να επιτευχθεί στατική ευστάθεια σε γενικές επιφάνειες απαιτούνται τουλάχιστον τέσσερα πόδια, αν και μία ιδιαίτερα συνήθης αρχιτεκτονική μηχανών που βαδίζουν είναι το εξάποδο (hexapod). Γνωστά εξάποδα ρομπότ είναι το Attila και το Hannibal που αναπτύχθηκαν στο MIT, το Genghis II της IS Robotics, το Hermes, όπως επίσης και το Odex της Odetics. Ένα γνωστό ρομπότ με οκτώ πόδια είναι το Dante II, όπως και άλλα ρομπότ της Odetics τα οποία είναι αξονικά συμμετρικά. Έξαλλου, τέτοιου είδους ρομπότ έχουν χρησιμοποιηθεί και σε υποβρύχιες εφαρμογές.

Άλλες αξιοσημείωτες κατασκευές είναι το εξάποδο που αναπτύχθηκε στο

Ohio State University (OSU Hexapod), το TU Munich Hexapod, η βαδίζουσα ράβδος και η σειρά τετραπόδων Titan.

Οι μηχανές βαδίσματος αποτελούν ίσους μοναδικό μέσο κινούμενου ιδιαίτερα σε ιδιαίτερα μη δομημένα περιβάλλοντα. Οι μηχανές αυτές διαθέτουν προσαρμοστική ανάρτηση που τα καθιστά ικανά για πλοήγηση σε ανώμαλα εδάφη. Ωστόσο, δεν μπορούν να κινηθούν σε οποιοδήποτε τύπο εδάφους εξαιτίας περιορισμών στις διαστάσεις τους. Εάν, για παράδειγμα, υπάρχει ένα χάσμα βάθους μεγαλύτερου της μέγιστης κάθετης έκτασης των ποδιών, τότε η μηχανή δεν μπορεί να το ξεπεράσει. Ο περιορισμός αυτός μπορεί να ξεπεραστεί εάν προσδοθεί στη μηχανή η ικανότητα να προσαρτά το πόδι της στο έδαφος όπως ένας ορειβάτης σε ένα βουνό.

Η λειτουργία της μηχανής έξαλλου, εμποδίζεται όχι μόνο από την τοπογραφία του εδάφους αλλά και από τη σύνθεση του. Σκληρά βραχώδη εδάφη είναι εύκολα προσπελάσιμα, σε αντίθεση με υγρά, λασπώδη εδάφη. Ακόμη και έτσι, τα ρομποτικά αυτά οχήματα παρέχουν καλύτερες υπηρεσίες από άλλους τύπους οχημάτων. Τα ρομποτικά οχήματα OSU και TU Munich Hexapod είναι τεχνολογικά τα πιο προηγμένα της κατηγορίας τους.

Τέλος, στην ίδια κατηγορία ανήκουν και τα ρομποτικά δίποδα, όπως και το pipe climbing robot.

3.3.9.2 Κυλιόμενα Κινητά Ρομπότ

Οι σειριακοί χειρίστες έχουν περιορισμένο χώρο εργασίας εξαιτίας του πεπερασμένου μήκους των συνδέσμων τους και κατά συνέπεια, δεν είναι σε θέση να εξυπηρετήσουν ένα ευρύ περιβάλλον εργασίας. Το πρόβλημα αυτό μπορεί να ξεπεραστεί εάν οι χειρίστες αυτοί τοποθετηθούν σε κυλιόμενα (rolling) κινητά ρομπότ. Τα ρομπότ αυτά αποτελούν μετεξέλιξη των αυτόματα καθοδηγούμενων οχημάτων (automatic guided vehicles) ή AGVs. Τα AGVs στην αρχική τους μορφή ήταν ηλεκτροκινούμενα οχήματα με τέσσερις τροχούς που εκτελούσαν εργασίες κίνησης με κάποιο βαθμό αυτονομίας. Τα οχήματα αυτά ωστόσο περιορίζουν την κίνηση τους κατά μήκος προδιαγεγραμμένων

διαδρομών, οι οποίες είναι σιδηροτροχιές ή μαγνητικές ταινίες τοποθετημένες στο έδαφος.

Μία ουσιαστική διαφορά μεταξύ των κυλιόμενων ρομπότ και των λοιπών ρομποτικών μηχανισμών είναι η ύπαρξη κινηματικών περιορισμών μεταξύ των τροχών του οχήματος και του εδάφους. Οι περιορισμοί αυτοί καλούνται μη ολονομικοί (nonholonomic).

Τα πλέον συνηθισμένα κυλιόμενα ρομπότ χρησιμοποιούν συμβατικούς ελαστικούς τροχούς, που μπορούν να περιστραφούν γύρω από άξονες προσαρτημένους στην πλατφόρμα του ρομπότ. Άλλοι εξειδικευμένοι τύποι κυλιόμενων ρομπότ διαθέτουν ερπύστριες. Κυλιόμενα ρομπότ με ειδικές κατασκευές τροχών έχουν χρησιμοποιηθεί σχεδόν αποκλειστικά στην εξερεύνηση πλανητών του ηλιακού συστήματος. Σε ερευνητικό επίπεδο, σμήνη από μικρά κινητά ρομπότ έχουν επιλεγεί για τη μελέτη διαδικασιών κοινωνικής συμπεριφοράς.

Εξάλλου, αλλά κυλιόμενα ρομπότ χρησιμοποιούν τροχούς Mecanum οι οποίοι είναι ,αμφικατευθυντικοί, (omnidirectional) και προσδίδουν στο ρομπότ ικανότητες τριών βαθμών ελευθερίας. Το ρομπότ δηλαδή, μπορεί ελεύθερα να κινηθεί σε δύο οριζόντιες κατευθύνσεις και να περιστραφεί ανεξάρτητα γύρω από ένα κάθετο άξονα. Οι τροχοί Mecanum αποτελούνται από μια ζάντα, στην περιφέρεια της οποίας είναι τοποθετημένα κυλινδροειδή στοιχεία περιστρεφόμενα γύρω από τον άξονα τους, ο οποίος βρίσκεται σε σταθερή γωνία ως προς τον άξονα του τροχού.

3.4. ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΕΦΑΡΜΟΓΗΣ

Μία άλλη κατηγορία ταξινόμησης η οποία χρησιμοποιείται συχνά, είναι η κατηγορία εφαρμογής του ρομπότ. Τα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ έχουν τέτοιο σχεδιασμό έτσι ώστε να μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μία ποικιλία εφαρμογών, και αντίστροφα, οι περισσότερες εφαρμογές μπορούν να εκτελεσθούν από μία ποικιλία ρομπότ. Ορισμένες εφαρμογές, ωστόσο, έχουν μοναδικά χαρακτηριστικά και/ή απαιτήσεις, για τις οποίες τα ρομπότ έχουν ειδικά σχεδιασθεί. Αυτές περιλαμβάνουν τη βαφή, τη συναρμολόγηση, τις εργασίες «θαλάμων κενού» (clean-room), και την εκπαίδευση/έρευνα. Η

παρακάτω ταξινόμηση είναι ενδεικτική, δεδομένου ότι το πλήθος των ρομποτικών εφαρμογών σήμερα έχει κατά πολύ αυξηθεί.

3.4.1 Ρομπότ Βαφής

Τα ρομπότ βαφής είναι όλα σερβοελεγχόμενα και συνεχούς τροχιάς. Οι δομές των χειριστών είναι σχεδιασμένες για μικρό βάρος, μικρή αδράνεια, και μεγάλη σκληρότητα (rigidity) έτσι ώστε να μπορούν να επαναλάβουν πολύπλοκες τροχιές με ταχύτητες μέχρι 2m/sec. Η πιο συνήθης γεωμετρία για ρομπότ βαφής είναι η ανθρωπομορφική.

3.4.2 Ρομπότ Συναρμολόγησης

Οι εργασίες συναρμολόγησης εμπλέκουν ρομπότ που τοποθετούν αντικείμενα μεταξύ τους σύμφωνα με μία προγραμματισμένη ακολουθία κινήσεων. Αν και η συναρμολόγηση περιλαμβάνει και μηχανικά κομμάτια οποιασδήποτε μορφής, οι περισσότερες ρομποτικές συναρμολογήσεις σήμερα είναι εισαγωγές ηλεκτρονικών συνιστωσών σε τυπωμένα ηλεκτρονικά κυκλώματα στις βιομηχανίες ηλεκτρονικοί προϊόντων.

3.4.3 Ρομπότ Εφαρμογών θαλάμων Κενού

Στην έρευνα καθώς και στη βιομηχανία κατασκευής ημιαγωγών και ολοκληρωμένο κυκλωμάτων, οι περισσότερες επεξεργασίες πραγματοποιούνται σε περιβάλλοντα απαλλαγμένα από κάθε είδους (στο μέτρο του εφικτού) πρόσμιξη στον αέρα, όπου και οι διαδικασίες εξαερισμού ελέγχονται αυστηρά. Τα ρομπότ αυτά έχουν σχεδιασθεί και κατασκευασθεί με αυστηρές προδιαγραφές ούτως ώστε να μην επιδρούν στις συνθήκες του περιβάλλοντος χώρου (θερμοκρασία, ηλεκτρομαγνητικές παρεμβολές, διαρροές, υγρασία, σκόνη. κλπ.).

3.4.4 Ρομπότ Εκπαίδευσης/Ερευνας

Τα ρομπότ που χρησιμοποιούνται στην έρευνα και την εκπαίδευση είναι γενικά χαμηλού κόστους, μικρά σε μέγεθος και βάρος, καθότι δεν υπάρχουν συνήθως απαιτήσεις απόδοσης και χαρακτηριστικών. Μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε ένα γραφείο ή τραπέζι προκειμένου να επιδειχθούν για θεωρία, εφαρμογές και προγραμματισμό.

3.5 ΤΥΠΟΣ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Τα ρομπότ επίσης ταξινομούνται ανάλογα με τη μέθοδο παροχής ισχύος για κίνηση. Οι κυριότεροι από τους χρησιμοποιούμενους τύπους κινητήρων είναι οι πνευματικοί, οι υδραυλικοί ή ηλεκτροϋδραυλικοί και οι ηλεκτρικοί. Οι τύποι αυτοί περιγράφονται στη συνέχεια.

3.5.1 Πνευματικοί Κινητήρες

Τα περισσότερα ρομπότ εργασιών ανάκτησης και τοποθέτησης λειτουργούν με αεροσυμπιεστές (air-compressors). Αυτό επιτρέπει την εκτέλεση απλών, επαναληπτικών κινήσεων, με ελάχιστο κόστος. Η έκταση ή συσπίρωση ενός μέλους του βραχίονα, ή η περιστροφή μίας άρθρωσης πραγματοποιείται από απλά ή διπλά έμβολα αέρα. Τα απλά έμβολα είναι η φθηνότερη μέθοδος και είναι έτσι σχεδιασμένα, ώστε να λειτουργούν και προς τις δύο κατευθύνσεις με τη βοήθεια ελατηρίου επιστροφής (return spring).

Τα πλεονεκτήματα των πνευματικών κινητήρων είναι:

- Ευκολία εγκατάστασης και συντήρησης.
- Χαμηλό κόστος λειτουργίας και συντήρησης.
- Διαθεσιμότητα συμπιεσμένου αέρα στην παραγωγική μονάδα.
- Μεγάλη ακρίβεια με μηχανικά όρια.
- Απλή Λειτουργία ελεγκτή.

- Αξιοπιστία.
- Μείωση πιθανότητας ρευμάτων διαρροής ηλεκτροπληξίας.

Τα μειονεκτήματα τους είναι:

- Περιορισμός σε κινήσεις.
- Δυσκολία επαναπρογραμματισμού (πολύ χρονοβόρα).
- Περιορισμένος αριθμός προγραμμάτων.
- Μη ελεγχόμενη κίνηση (αδυναμία ελέγχου θέσης και ταχύτητας) λόγω συστήματος ελέγχου ανοικτού βρόχου.
- Χαμηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα που μειώνεται λόγω φθοράς των εξαρτημάτων.
- Θόρυβος.
- Τοποθέτηση του ρομπότ εξαρτώμενη από τη δυνατότητα παροχής αέρα.

3.5.2 Υδραυλικοί ή Ηλεκτροϋδραυλικοί Κινητήρες

Ρομπότ που χρησιμοποιούν κινητήρες αυτού του τύπου αναφέρονται απλά ως υδραυλικά και είναι ιδιαίτερα ισχυρά και γρήγορα. Συνήθως, ένας ηλεκτρικός κινητήρας, τριφασικού τυλίγματος, χρησιμοποιείται για τη λειτουργία της υδραυλικής αντλίας και των υδραυλικών σερβοβαλβίδων. Παρά τις ηλεκτρικές αυτές απαιτήσεις, η κινητήρια δύναμη παράγεται ολοκληρωτικά από έμβολα λαδιού τα οποία μεταβάλλουν τη θέση μίας άρθρωσης γραμμικά ή περιστροφικά. Οι συσκευές αυτές, εν συνεχεία, είναι συνδεδεμένες με τους συνδέσμους ή τις αρθρώσεις του ρομπότ και παρέχουν την απαραίτητη δύναμη για μία συγκεκριμένη κίνηση.

3.5.3 Ηλεκτρικοί Κινητήρες

Τα ρομπότ με κινητήρες αυτού του τύπου τροφοδοτούνται συνήθως από σερβοκινητήρες συνεχούς ρεύματος (DC), αν και ένας περιορισμένος αριθμός κατασκευαστών χρησιμοποιεί σερβοκινητήρες εναλλασσόμενου ρεύματος (AC), ή ακόμη και βηματικούς κινητήρες (step motors). Η ηλεκτρική παροχή είναι ίσως η πιο συχνή από τους τρεις τύπους κινητήρων και ο σερβοκινητήρας συνεχούς

ρεύματος είναι ο πιο κοινός τύπος ηλεκτρικού κινητήρα. Οι ηλεκτρικοί και υδραυλικοί κινητήρες εξετάζονται περαιτέρω στο κεφάλαιο 4.

3.6 ΑΛΛΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΕΙΣ

Η Ένωση Ρομποτικών Βιομηχανιών (Robotic Industries Association-RIA) διεξάγει μία ετήσια απογραφή του παγκόσμιου ρομποτικού πληθυσμού και δημοσιεύει την Παγκόσμια Ρομποτική Επιθεώρηση και Κατάλογο (Worldwide Robotics Survey and Directory). Σε αυτήν, ο ρομποτικός πληθυσμός διαχωρίζεται κατά τύπο στις ακόλουθες τρεις κατηγορίες:

1. Επαναπρογραμματιζόμενα, σερβοελεγχόμενα, συνεχούς τροχιάς.
2. Επαναπρογραμματιζόμενα, σερβοελεγχόμενα, σημείου προς σημείο.
3. Επαναπρογραμματιζόμενα, μη σερβοελεγχόμενα, σημείου προς σημείο.

Επιπλέον, αναφέρεται ο πληθυσμός κατά εφαρμογή, ο οποίος περιλαμβάνει: Σημειακή συγκόλληση, συγκόλληση τόξου, βαφή/επικάλυψη, φινίρισμα, συναρμολόγηση, φόρτωση/εκφόρτωση, διαχείριση υλικών, χυτήρια, κλπ. Τέλος, αν και δεν υπάρχουν επίσημα πρότυπα για την ταξινόμηση ρομπότ σε παγκόσμιο επίπεδο, αρκετοί οργανισμοί αναπτύσσουν σήμερα ανεπίσημα πρότυπα ταξινόμησης, ένας τοπικά πρότυπα έχουν αναπτυχθεί στην Ιαπωνία και αλλού.

Στις ΗΠΑ τέλος η Αμερικανική Ένωση Δοκιμών και Υλικών (American Society for Testing and Materials-ASTM), έχει εκδώσει έναν Οδηγό Ταξινόμησης Ρομπότ, ο οποίος ταξινομεί τα βιομηχανικά ρομπότ κατά πρωτεύουσες πηγές τροφοδοσίας, είδος ελέγχου κίνησης, ανυψωτική ικανότητα, μέθοδο προγραμματισμού, γεωμετρικό σχηματισμό, αριθμό και είδος βαθμών ελευθερίας, και κατηγορία εφαρμογής.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

4.1 Η ΓΕΝΙΚΗ ΔΟΜΗ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Στην παρούσα πτυχιακή εργασία εξετάζονται σχεδόν αποκλειστικά ρομποτικοί χειρίστες σειριακού τύπου, που αποτελούν την πλειοψηφία των βιομηχανικών ρομπότ. Τα ρομπότ αυτά είναι ανοικτές κινηματικές αλυσίδες στερεών σωμάτων που ονομάζονται σύνδεσμοι (links), συνδεδεμένων σειριακά μέσω ανεξάρτητα κινούμενων αρθρώσεων (joints). Το ένα άκρο, η βάση του ρομπότ, είναι σταθερά στερεωμένο στο έδαφος, ενώ το άλλο άκρο, στο οποίο είναι συνήθως προσαρτημένο ένα εργαλείο (tool) ή ένα τελικό στοιχείο όρασης (end-effector), μπορεί να κινείται ελεύθερα στο χώρο και να ασκεί δυνάμεις ή/και ροπές σε αντικείμενα που χειρίζεται το ρομπότ κατά την εκτέλεση εργασιών. Κάθε ζεύγος συνδέσμου-άρθρωσης συγκροτεί ένα βαθμό ελευθερίας (Degree-of-Freedom-DOF), ο οποίος μπορεί να είναι περιστροφικός (δηλαδή να εκτελεί περιστροφή γύρω από έναν άξονα x ή γραμμικός (δηλαδή να εκτελεί μετατόπιση κατά μήκος ενός άξονα).

Το πρόβλημα του ρομποτικού ελέγχου επικεντρώνεται στο σχεδιασμό ευσταθών (stable) και σθεναρών (εύρωστων-robust) αλγορίθμων που συντονίζουν την κίνηση των αρθρώσεων και επιτρέπουν στο ρομπότ να ακολουθεί μία συγκεκριμένη τροχιά που περιγράφεται συνήθως σε ένα καρτεσιανό σύστημα συντεταγμένων (Cartesian coordinate system). Το σύστημα αυτό, το οποίο θεωρείται σταθερό, καλείται απόλυτο, γενικό, ή παγκόσμιο (universal, global) και ισοδυναμεί με ένα ακίνητο σύστημα αναφοράς στο οποίο αναφέρονται όλα τα αντικείμενα του χώρου καθώς και το ίδιο το ρομπότ. Η λειτουργία ενός βιομηχανικού ρομπότ περιλαμβάνει την εκτέλεση των ακόλουθων βασικών λειτουργιών: χειρισμός (manipulation), αίσθηση (sensing), επικοινωνία (communication), έλεγχος (control) και επεξεργασία ή λήψη αποφάσεων (processing or decision making). Ο τρεις πρώτες λειτουργίες εμπλέκουν αλληλεπίδραση μεταξύ του ρομπότ και του

περιβάλλοντος του, ενώ οι υπόλοιπες δύο, είναι εσωτερικές λειτουργίες του ρομπότ. Οι πέντε αυτές λειτουργίες εξαρτώνται και επηρεάζονται από τις βασικές συνιστώσες ενός ρομποτικού συστήματος.

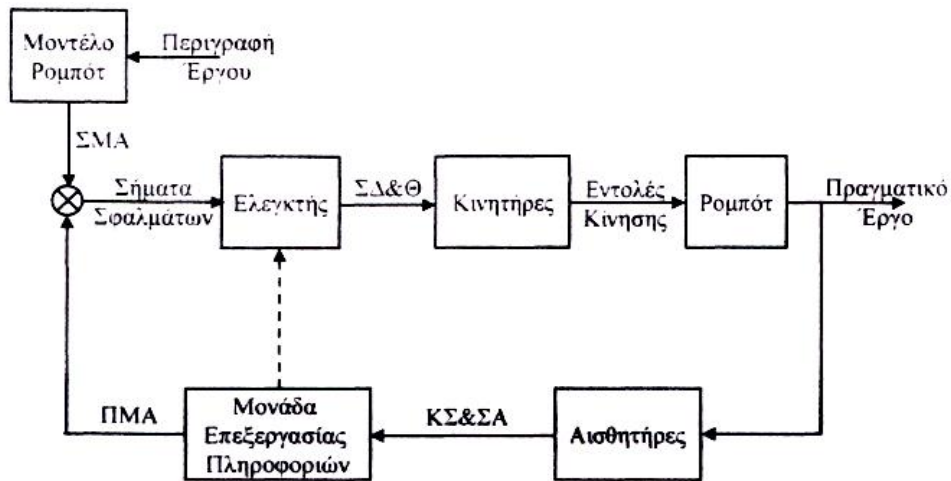
Οι συνιστώσες των σημερινών ρομποτικών συστημάτων είναι οι ακόλουθες:

1. Το μηχανικό υποσύστημα ή σύστημα χειρισμού αποτελούμενο από το μηχανικό βραχίονα και το τελικό στοιχείο δράσης.
2. Το μηχανικό υποσύστημα κίνησης αποτελούμενο από τους κινητήρες των αρθρώσεων και το σύστημα, μετάδοσης της κίνησης (άξονες, γρανάζια, κλπ.), που είναι υπεύθυνο για την κίνηση των αρθρώσεων και του τελικού στοιχείου δράσης.
3. Ο ελεγκτής (controller) με το λογισμικό ελέγχου κίνησης (motion control software) και η μονάδα επεξεργασίας της πληροφορίας.
4. Το ηλεκτρονικό σύστημα κίνησης, το οποίο αφορά τη μεταφορά, αποκωδικοποίηση και εκτέλεση των εντολών του ελεγκτή από τους κινητήρες, καθώς και την παρακολούθηση της εκτέλεσης των εντολών μετατόπισης μέσω των γωνιακών κωδικοποιητών.
5. Οι εσωτερικοί αισθητήρες (sensors), οι μετατροπείς (transducers) και οι συσκευές διασύνδεσης (interface devices) που μπορούν να παρέχουν εξωτερικές πληροφορίες σχετικά με το περιβάλλον του ρομπότ (π.χ. οπτικοί αισθητήρες), ή να μετρούν τις ασκούμενες από ή στο τελικό στοιχείο δράσης δυνάμεις/ροπές.
6. Το σύστημα επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής (man-machine interface devices), δηλ. το περιβάλλον προγραμματισμού και χρήσης του ρομπότ, όλες οι συσκευές (hardware) όπως οθόνη, πληκτρολόγιο, άκρο διδασκαλίας, κλπ. με τα ανάλογα κυκλώματα, καθώς και το λογισμικό (λειτουργικό σύστημα, γλώσσες προγραμματισμού, κ.ά.) που επιτρέπουν την επικοινωνία του χρήστη με το ρομπότ.

Οι εσωτερικοί και εξωτερικοί αισθητήρες/μετατροπείς παρέχουν στο σύστημα ελέγχου τα δεδομένα και στοιχεία ώστε να μπορεί να λειτουργήσει αποδοτικά, ακόμη και υπό την επίδραση διαταραχών και αποτελούν το υποσύστημα αίσθησης.

Τα παραπάνου υποσυστήματα αυτά επικοινωνούν μεταξύ τους μέσω διεπικοινωνιών (interfaces), η βασική λειτουργία των οποίων έγκειται στην

αποκωδικοποίηση της μεταδιδόμενης πληροφορίας μεταξύ των υποσυστημάτων. Το σχήμα 4.1 απεικονίζει το σχηματικό διάγραμμα ενός τυπικού ρομποτικού συστήματος.



- ΣΜΑ: Σύνθετες Μεταβλητές Αρθρώσεων (μετατοπίσεις και ροπές)
- ΣΔ&Θ: Σήματα Δύναμης και θέσης
- ΚΣ&ΣΑ: Καρτεσιανά Σήματα και Σήματα Αρθρώσεων
- ΠΜΑ: Πραγματικός Μεταβλητές Αρθρώσεων (μετατοπίσεις και ροπές)

Σχήμα 4.1 Συνιστώσες Ρομποτικού Συστήματος.

Η είσοδος στο σύστημα είναι η περιγραφή του έργου (prescribed), η οποία προσδιορίζεται εκτός λειτουργίας (off-line) όπως συμβαίνει σε προγραμματιζόμενες μηχανές, ή σε πραγματικό χρόνο, όμως προϋποθέτει λειτουργία πραγματικού χρόνου (real-time). Τα προγραμματιζόμενα ρομπότ απαιτούν ανθρώπινη παρεμβολή είτε για την κωδικοποίηση των έργων σε κάποια γλώσσα προγραμματισμού χαμηλού επιπέδου ή για τηλεχειρισμό (telemanipulation). Προγραμματισμός σε χαμηλό επίπεδο σημαίνει ότι οι κινήσεις του ρομπότ προσδιορίζονται ως ακολουθίες μετακινήσεων των αρθρώσεων ή ως ακολουθίες καρτεσιανών σημείων σε σχέση με κάποιο απόλυτο σύστημα αναφοράς ή χαρακτηριστικά σημεία του χώρου.

Η έξοδος του ρομποτικού συστήματος είναι το πραγματικό ή

εκτελούμενο έργο (actual task) το οποίο παρακολουθείται από τους αισθητήρες. Οι αισθητήρες εν συνεχεία, μεταδίδουν την πληροφορία γύρω από το έργο με τη μορφή σημάτων ανατροφοδότησης, προκείμενου να γίνει σύγκριση με την περιγραφή του έργου. Τα σφάλματα μεταξύ του πραγματικού και του προδιαγεγραμμένου έργου ακολούθως ανατροφοδοτούνται στον ελεγκτή, ο οποίος κατόπιν παράγει τα αναγκαία διορθωτικά σήματα. Αυτά τροφοδοτούνται στους κινητήρες οι οποίοι οδηγούν το μηχανικό σύστημα προς την επίτευξη του έργου, και κλείνουν το βρόχο ελέγχου.

Στη συνέχεια, περιγράφονται συνοπτικά οι συνιστώσες ενός ρομποτικού συστήματος.

4.2 ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΧΕΙΡΙΣΜΟΥ

Το σύστημα χειρισμού των σημερινών βιομηχανικών ρομπότ αποτελείται από ένα μηχανικό βραχίονα (mechanical arm) η χειριστή (manipulator) και ένα μηχανικό χέρι ή άκρο στο οποίο είναι κατά κανόνα προσαρτημένο ένα τελικό στοιχείο δράσης (end-effector), όπως π.χ. ένα εργαλείο, ένα συγκολλητικό ακροφύσιο, η αρπάγη, κλπ.

Ο χειριστής χρησιμοποιείται για να καθοδηγεί το μηχανικό χέρι ή το τελικό στοιχείο δράσης στη διαχείριση ενός αντικειμένου η του ίδιου του εργαλείου σε σχέση με ένα απόλυτο σύστημα αναφοράς. Οι ρομποτικοί χειριστές διαφέρουν από τις περισσότερες παραδοσιακές μηχανές στο ότι διαθέτουν πολλούς βαθμούς ελευθερίας και έχουν δυνατότητα επαναπρογραμματισμού της συντονισμένης κίνησης των διαφόρων βαθμών ελευθερίας του, έτσι ώστε να εκτελούν μία μεγάλη ποικιλία πολύπλοκων κινήσεων.

Οι περισσότεροι βιομηχανικοί χειριστές αποτελούνται από τέσσερις έως έξι βαθμούς ελευθερίας. Έξι βαθμοί ελευθερίας απαιτούνται για την τοποθέτηση του τελικού στοιχείου δράσης σε οποιαδήποτε θέση και προσανατολισμό μέσα στο χώρο εργασίας του χειριστή. Για εφαρμογές συγκόλλησης τόξου, η πολύπλοκη ακολουθία τροχιάς, είναι συνήθως απαραίτητοι μόνο πέντε βαθμοί ελευθερίας. Ρομπότ με τέσσερις βαθμούς

ελευθερίας είναι επίσης συνηθισμένα σε πολλούς τύπους επίπεδης ακολουθίας τροχιάς ή για επίπεδες εφαρμογές συναρμολόγησης. Σε αυτά τα βιομηχανικά ρομπότ, οι τρεις πρώτες αρθρώσεις, αυτές δηλαδή που βρίσκονται πλησιέστερα στη ρομποτική βάση, συνήθως χρησιμοποιούνται για την τοποθέτηση του άκρου του βραχίονα σε ένα σημείο στο χώρο, ενώ οι τελευταίες (τρεις ή λιγότερες) αρθρώσεις σχηματίζουν τον καρπό (wrist), ο οποίος είναι υπεύθυνος για τον προσανατολισμό του άκρου ή του τελικού στοιχείου δράσης.

Η ποσότητα του φορτίου (βάρος και μέγεθος) (δηλ. η ανυψωτική ικανότητα ή ικανότητα φόρτωσης-payload capacity) που μπορεί να διαχειρισθεί ένα ρομπότ, καθώς και η ακρίβεια του, επηρεάζονται από την κατασκευή, τη γεωμετρία και τη δομή του χειριστή. Τα περισσότερα εμπορικά διαθέσιμα συστήματα σειριακού τύπου, απαρτίζονται από συνδέσμους εσωτερικά κενούς και έχουν λόγο ικανότητας Φόρτωσης προς βάρος μικρότερο του 10%. Στα συστήματα αυτά, οι τελικές διακυμάνσεις εξαιτίας φορτίων ισοδύναμων με την προσδιορισμένη ανυψωτική ικανότητα μπορούν να προκαλέσουν κάμψη ίση με 10-20 φορές την επαναληψιμότητα του ρομπότ.

Πρόσφατα, έχουν κατασκευασθεί συστήματα με περισσότερους από έξι βαθμούς ελευθερίας. Τέτοια συστήματα έχουν εν γένει καλύτερη επιδεξιότητα από συστήματα με λιγότερους βαθμούς ελευθερίας, και μπορούν, για παράδειγμα, να υπερβούν/ παρακάμψουν εμπόδια. Η πολυπλοκότητα του ελέγχου και το κατασκευαστικό κόστος, ωστόσο, έχουν περιορίσει την ανάπτυξη και την εμπορική διάθεση τέτοιων συστημάτων.

Έχουν επίσης πραγματοποιηθεί ορισμένες προσπάθειες προσέγγισης του ισοδύναμου αποτελέσματος, δηλ. περισσότερων από έξι βαθμών ελευθερίας, μέσω της ταυτόχρονης ή παράλληλης λειτουργίας πολλαπλών χειριστών ή ρομπότ με πολλαπλούς βραχίονες. Οι προσπάθειες αυτές βρίσκονται προς το παρόν σε ερευνητικό στάδιο, αλλά είναι ενδεικτικές των προσπαθειών επίλυσης τέτοιων προβλημάτων, δηλ. προβλημάτων εκτεταμένης επιδεξιότητας (dexterity) και εκτέλεσης έργων πολλαπλών βραχιόνων.

Όσον αφορά τα τελικά στοιχεία δράσης, τα περισσότερα ες' αυτών είναι αρπαγές (grippers) δύο δακτύλων προσαρτημένων στο ελεύθερο άκρο των χειριστών. Άλλα τελικά στοιχεία δράσης είναι εργαλεία, άλλοτε απλά, όπως

π.χ. συγκολλητικά ακροφύσια, ψεκαστήρες βαφής, κ.ά., και άλλοτε πιο πολύπλοκα και προσαρμοσμένα στις απαιτήσεις του χρήστη, προκειμένου να αντιμετωπίσουν τις προδιαγραφές των διαδικασιών. Υπάρχει ένα μεγάλο εύρος εμπορικών σχεδίων τελικών στοιχείων δράσης με διάφορα επίπεδα πολυπλοκότητας και κόστους. Οι πρόσφατες τάσεις στο σχεδιασμό τελικών στοιχείων δράσης είναι προς συστήματα με μεγαλύτερη επιδεξιότητα και ευελιξία. Ορισμένα επιδέξια σχήματα τελικών στοιχείων δράσης έχουν εμφανιστεί σε διάφορα ερευνητικά εργαστήρια. Ωστόσο, τα στοιχεία αυτά δεν έχουν χρησιμοποιηθεί εμπορικά στα άκρα χειριστών.

4.3 ΟΙ ΚΙΝΗΤΗΡΕΣ ΤΩΝ ΑΡΘΡΩΣΕΩΝ

Η κίνηση του χειριστή και κατ' επέκταση του ρομποτικού εργαλείου είναι αποτέλεσμα της συνδυασμένης κίνησης των αρθρώσεων, οι οποίες οδηγούνται από κινητήρες. Οι κινητήρες των αρθρώσεων, όπως προαναφέρθηκε στο Υποκεφάλαιο 3.5, μπορεί να είναι ηλεκτρικοί, υδραυλικοί, ή πνευματικοί, με συνηθέστερο τύπο τον ηλεκτρικό, συνήθως συνεχούς ρεύματος (DC) ή βηματικό (stepper). Στο παρόν υποκεφάλαιο εξετάζεται με μεγαλύτερη λεπτομέρεια η λειτουργία των ηλεκτρικών και των υδραυλικών κινητήρων.

4.3.1 Κινητήρας Συνεχούς Ρεύματος (DC)

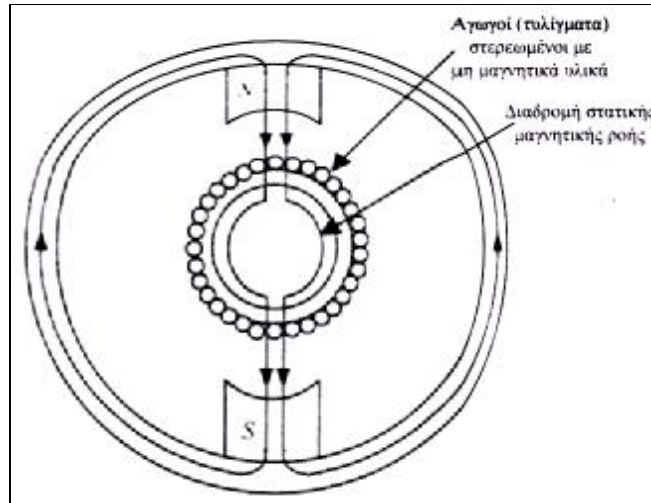
Οι ηλεκτρικοί κινητήρες που χρησιμοποιούνται στα ρομπότ είναι κινητήρες ροπής, συνεχούς ρεύματος (DC) και συνεχούς περιστροφής, με μόνιμη μαγνήτιση και διενεργεί οπλισμού και παρέχουν πλεονεκτήματα όπως υψηλό λόγο ροπής-ισχύος, ομαλή και χαμηλής ταχύτητας λειτουργία, γραμμικά χαρακτηριστικά ροπής-ταχύτητας και μικρές χρονικές σταθερές.

Ο κινητήρας συνεχούς ρεύματος είναι ουσιαστικά ένας μετατροπέας ροπής, ο οποίος μετατρέπει ηλεκτρική ενέργεια σε μηχανική. Η ροπή που αναπτύσσεται στον άξονα του κινητήρα είναι ανάλογη προς τη ροή του μαγνητικού πεδίου και του ρεύματος οπλισμού. Επιπρόσθετα προς την

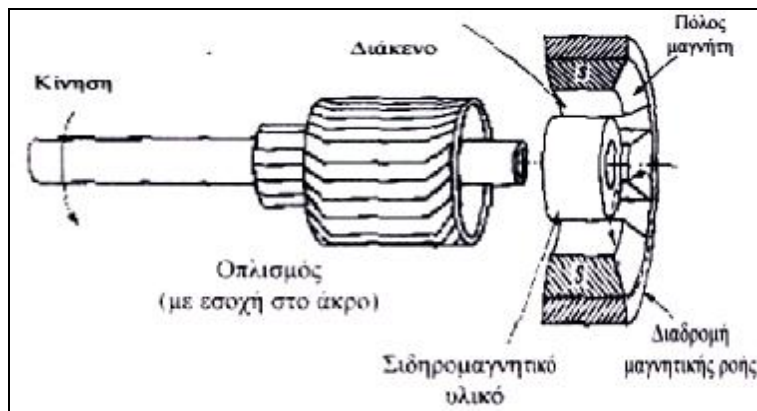
αναπτυσσόμενη ροπή, όταν ο αγωγός κινείται σε ένα μαγνητικό πεδίο, αναπτύσσεται μια τάση στα άκρα του. Η τάση αυτή είναι ανάλογη προς την ταχύτητα περιστροφής του κινητήριου άξονα και τείνει να αντιστέκεται στην ροή του ρεύματος, και ονομάζεται αντί-ηλεκτρεγερτική δύναμη (ή αντί-ΗΕΔ, back electromotive force ή back-emf) του κινητήρα.

Ο κινητήρας ροπής-συνεχούς ρεύματος αποτελείται από ένα στατικό και ένα περιστρεφόμενο τμήμα. Το μη περιστρεφόμενο τμήμα του κινητήρα, ο στάτης (stator), αποτελείται από ένα κέλυφος, σφαιροτριβεία (ρουλεμάν) και μόνιμους μαγνήτες ή ηλεκτρομαγνήτες. Οι μαγνήτες του στάτη δημιουργούν ένα μαγνητικό πεδίο γύρω από το κινούμενο τμήμα του κινητήρα, τον ρότορα (rotor). Ο ρότορας αποτελείται από τον άξονα και τα τυλίγματα, στα οποία ρέει ρεύμα για την τροφοδοσία του κινητήρα. Το ρεύμα οδηγείται στα τυλίγματα μέσω ψηκτρών οι οποίες κάνουν επαφή με το μεταγωγέα (commutator). Ο μεταγωγέας συνδέεται ηλεκτρικά με τα τυλίγματα (που καλούνται επίσης οπλισμός (armature)) με τέτοιο τρόπο ώστε να παράγεται ροπή πάντοτε κατά την επιθυμητή διεύθυνση.

Οι κινητήρας συνεχούς ρεύματος, κινητού πηνίου (moving-coil DC motors), είναι σχεδιασμένοι έτσι ώστε να έχουν μικρή ροπή αδρανείας και πολύ μικρή επαγωγή οπλισμού. Αυτό επιτυγχάνεται τοποθετώντας τα τυλίγματα του οπλισμού στο κενό ανάμεσα στις καμπύλες τις στατικής μαγνητικής ροής και του μόνιμου μαγνήτη (σχήμα 4.2). Η δομή των τυλιγμάτων υποστηρίζεται από μη μαγνητικά υλικά -συνήθως εποξικές ρητίνες ή fiberglass-ώστε να σχηματίζεται ένας κύλινδρος κενός στο εσωτερικό του. Το ένα άκρο του κυλίνδρου σχηματίζει μία εσοχή, η οποία προσαρτάται στον άξονα του κινητήρα, με τέτοιο τρόπο ώστε ο μόνιμος μαγνήτης να βρίσκεται στο εσωτερικό των τυλιγμάτων. Μία επιμήκης τομή του κινητήρα απεικονίζεται στο σχήμα 4.3.

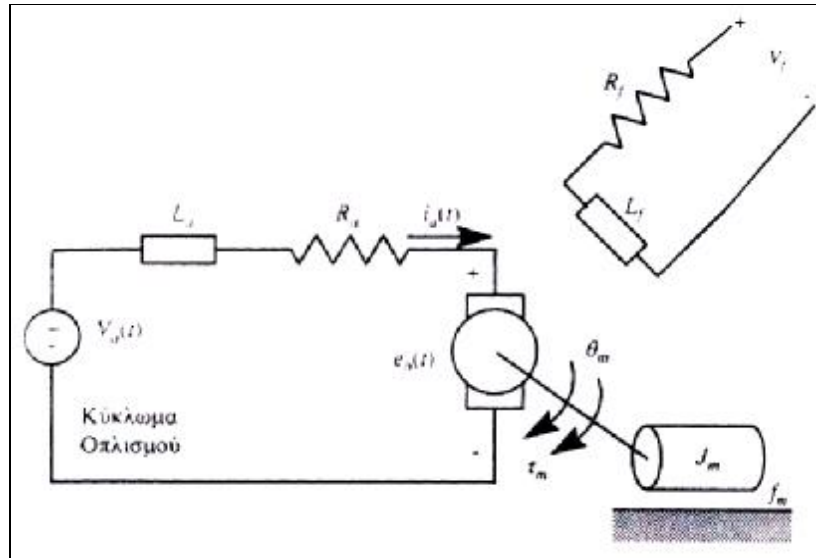


Σχήμα 4.2 Εγκάρσια Διατομή Κινητήρα Συνεχούς Ρεύματος, Κινητού Πηνίου, Μόνιμης Μαγνήτισης.



Σχήμα 4.3 Επιμήκης Τομή Κινητήρα Συνεχούς Ρεύματος, Κινητού Πηνίου.

Εφόσον τα μη απαραίτητα στοιχεία έχουν απομακρυνθεί από τον κινητήρα κινητού πηνίου, η ροπή αδρανείας του είναι πολύ μικρή. Ωστόσο, επειδή έχει μεγαλύτερο διάκενο από άλλους τύπους κινητήρων συνεχούς ρεύματος, η μαγνητική δομή του είναι μεγαλύτερη ώστε να παράγεται η ισοδύναμη μαγνητική ροή. Εξάλλου, οι αγωγοί του οπλισμού δεν βρίσκονται σε άμεση επαφή με σίδηρο, με συνέπεια η επαγωγή του κινητήρα να είναι μικρή, συνήθως μικρότερη από 100mH.



Σχήμα 4.4 Ηλεκτρικό Ισοδύναμο Κύκλωμα DC Κινητήρα

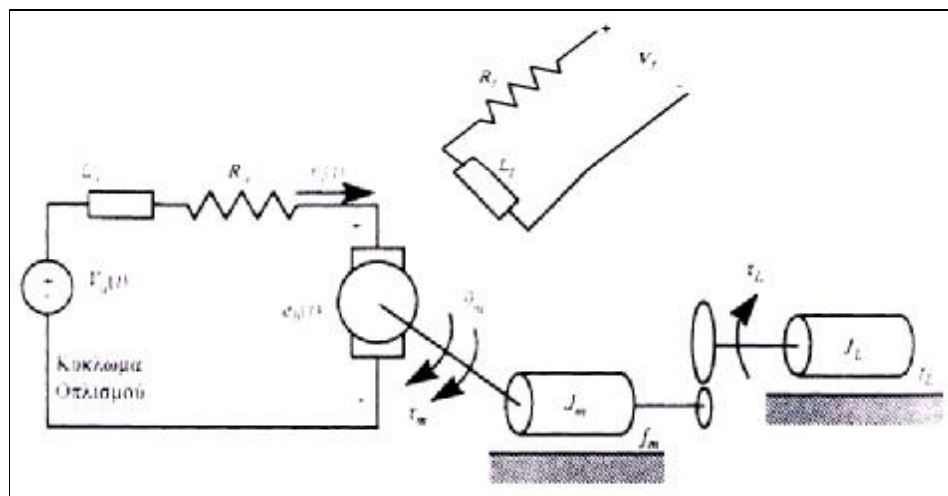
Η χαμηλή ροπή αδρανείας και η χαμηλή επαγωγή, καθιστούν τον κινητήρα κινούμενου πηνίου την καλύτερη επιλογή για συστήματα ελέγχου υψηλής απόδοσης.

Το ηλεκτρικό ισοδύναμο κύκλωμα ενός DC κινητήρα, με ξεχωριστό κύκλωμα διέγερσης, απεικονίζεται στο σχήμα 4.4.

Η ταχύτητα του DC κινητήρα ελέγχεται συνήθως από την τάση ή το ρεύμα του οπλισμού, για σταθερή μαγνητική ροή. Κατ' αυτόν τον τρόπο, οποιαδήποτε τιμή στο εύρος μεταξύ 0-100% της ονομαστικής ταχύτητας μπορεί να επιλεγεί σαν επιθυμητή ταχύτητα. Βεβαίως, η ταχύτητα του DC κινητήρα μπορεί να ελεγχθεί επίσης διατηρώντας σταθερή την τάση ή την ένταση του οπλισμού, και ελέγχοντας το ρεύμα μαγνητισμού του τυλίγματος διέγερσης. Πρακτικά προβλήματα ωστόσο, περιορίζουν το εύρος της ταχύτητας εξόδου στο 80-100% της ονομαστικής τιμής, η οποία αντιπροσωπεύει μόνο ένα μικρό εύρος για τον έλεγχο της ταχύτητας. Αυτό οφείλεται στην υπερβολική μορφή της χαρακτηριστικής καμπύλης του κινητήρα, η οποία περιγράφει τη γωνιακή ταχύτητα σε συνάρτηση με το ρεύμα διέγερσης.

Στην κατασκευή συστημάτων ελέγχου με ανατροφοδότηση που εμπλέκουν κινητήρες DC, ο σχεδιαστής πρέπει να λάβει υπόψιν του ότι η επαγωγή στο κύκλωμα οπλισμού των μηχανών συνεχούς ρεύματος είναι συνήθως αμελητέα, ενώ αυτή του κυκλώματος πεδίου είναι αρκετά μεγάλη.

Επομένως, οι μεταβολές στο κύκλωμα διέγερσης συσχετίζονται με μεγάλη χρονική σταθερά, με αποτέλεσμα αργή χρονική απόκριση, συγκρινόμενη με τις αποκρίσεις του κυκλώματος οπλισμού.



Σχήμα 4.5 DC Κινητήρας Συνδεδεμένος με Φορτίο.

Ο άξονας του κινητήρα είναι συνήθως συνδεδεμένος με το φορτίο μέσω γραναζιών, όπως φαίνεται στο σχήμα 4.5. Ο άξονας του συνδυασμού των γραναζιών που είναι απευθείας συνδεδεμένος με τον άξονα του κινητήρα, αναφέρεται συχνά ως πρωτεύον (κατ' αναλογία προς ένα μετασχηματιστή). Ο άξονας στην έξοδο των γραναζιών είναι η δευτερεύουσα πλευρά. Τα γρανάζια σύνδεσης επηρεάζουν επίσης τις δυναμικές παραμέτρους ενός κινητήρα.

Αν και οι σύνδεσμοι στους περισσότερους χειριστές οδηγούνται μέσω γραναζιών, σήμερα γίνονται όλο και πιο δημοφιλείς οι DC κινητήρες άμεσης οδήγησης (direct drive motors). Όταν οι κινητήρες είναι άμεσα συνδεδεμένοι με τους άξονες των αρθρώσεων, πρέπει να παράγουν πολύ υψηλές ροπές. Από την άλλη πλευρά, τα τυπικά προβλήματα που συναντώνται στην έμμεση μετάδοση κίνησης με γρανάζια, όπως τριβή (friction) και υστέρηση (backlash), μπορούν να αποφευχθούν.

Τα πλεονεκτήματα των ηλεκτρικών κινητήρων είναι:

- Πολύ υψηλή ακρίβεια θέσης και επαναληψιμότητα.

- Παραμονή σε σταθερή θέση ακόμη και όταν διακοπεί η ισχύς.
- Ιδιαίτερα απλή υλοποίηση ανάδρασης θέσης και ταχύτητας.
- Εύκολη σχεδίαση του συστήματος με γραμμική συμπεριφορά.
- Ικανότητα χρήσης και σε ειδικές περιβαλλοντικές συνθήκες (ψύχος, υψηλή θερμοκρασία, κλπ.).
- Ασφάλεια καλωδίου ισχύος (σε αντίθεση με το σωλήνα μίας γραμμής λαδιού).
- Χαμηλό κόστος.
- Χαμηλός θόρυβος.

Τα μειονεκτήματα τους είναι:

- Κατώτερος λόγος ισχύος προς βάρος έναντι των υδραυλικών (οι βηματικοί κινητήρες έχουν το μικρότερο λόγο).
- Χαμηλή ταχύτητα.
- Απαιτήση ψύξης του κινητήρα, με παράλληλη αύξηση του μεγέθους του.
- Ιδιαίτερα εύκολη θέρμανση των βηματικών κινητήρων.
- Μεγάλη πολυπλοκότητα του σερβοκινητήρα εναλλασσόμενου ρεύματος.
- Πολύ αργή απόκριση σε σύγκριση με όλους τους τύπους κινητήρων.
- Απαιτήση γρاناζιών σε όλους τους κινητήρες για το ταίριασμα των μηχανικών φορτίων.
- Κατάληψη περισσότερου χώρου από έναν ηλεκτρικό κινητήρα σε σύγκριση με έναν υδραυλικό της ίδιας ισχύος.

4.3.2 Βηματικοί Κινητήρες

Ένα βηματικός κινητήρας (step motor) είναι μία ηλεκτρομηχανική συσκευή που δέχεται παλμικά και/ή λογικά σήματα σαν είσοδο, και παράγει διακριτά επαναληπτικά βήματα στη γωνιακή θέση του άξονα σαν έξοδο. Η θέση αντιστοιχεί σε ένα από τα διακριτά επίπεδα που προκύπτουν από την κβάντιση του εύρους της γωνιακής θέσης.

Η βασική λειτουργία ενός βηματικού κινητήρα μπορεί να περιγραφεί θεωρώντας ένα απλοποιημένο μοντέλο στο οποίο το περιστρεφόμενο τμήμα

(ο ρότορας) περιέχει ένα μόνιμο μαγνήτη ή ένα πηνίο, ενώ το στατικό τμήμα (ο στάτης) έχει πολλά πηνία ενωμένα κατά τέτοιο τρόπο ώστε δύο πηνία ευρισκόμενα διαμετρικά αντίθετα να είναι σειριακά συνδεδεμένα, αλλά ηλεκτρικά απομονωμένα από τα άλλα ζεύγη. Το κινούμενο τμήμα παράγει ένα μαγνητικό πεδίο, ενώ το ρεύμα μέσα από ένα ζεύγος σειριακά συνδεδεμένων πηνίων του στάτη εξαρτάται από έναν ηλεκτρικό διακόπτη, και επομένως από μια παλμική είσοδο. Όταν ενεργοποιείται ένα συγκεκριμένο ζεύγος πηνίων, παράγεται ένα μαγνητικό πεδίο και το τύλιγμα του ρότορα περιστρέφεται σε μία γωνιακή θέση έτσι ώστε να ελαχιστοποιείται η μαγνητική ενέργεια που συσχετίζεται με τα μαγνητικά πεδία του κινούμενου πηνίου και του ζεύγους των στατικών πηνίων. Αυτό συμβαίνει όταν το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου του ρότορα, ευθυγραμμίζεται με το διάνυσμα του μαγνητικού πεδίου από το ρεύμα του ενεργοποιημένου τμήματος των στατικών πηνίων.

Η είσοδος σε ένα βηματικό κινητήρα συνήθως αποτελείται από μία ακολουθία παλμών σταθερού πλάτους πάνω σε διακριτά χρονικά διαστήματα. Η έξοδος, δηλαδή η θέση του άξονα, εξαρτάται από τα χαρακτηριστικά του συστήματος του βηματικού κινητήρα. Η βηματική απόκριση σε ένα παλμό πάνω σε ένα διάστημα δειγματοληψίας πρέπει να έχει σταθεροποιηθεί, δηλαδή να έχουν εξαλειφθεί τα μεταβατικά Φαινόμενα, πριν εφαρμοσθεί ο επόμενος παλμός. Εάν κάτι τέτοιο δεν συμβαίνει μπορεί να προκύψουν σοβαρά προβλήματα.

Ένας βηματικός κινητήρας συνεπώς λειτουργεί σαν συσκευή τοποθέτησης, της οποίας η είσοδος είναι ένας παλμός ή ένα ψηφιακό σήμα και η έξοδος είναι μία κβαντοποιημένη γωνιακή θέση του άξονα της άρθρωσης. Η ακρίβεια της γωνιακής θέσης, δηλαδή η διακριτική ικανότητα, εξαρτάται από αριθμό των διακριτών επιπέδων που δημιουργούνται από την κβαντοποίηση του εύρους γωνιακών θέσεων σε ίσα βήματα, και επομένως από τον αριθμό των ζευγών των πηνίων.

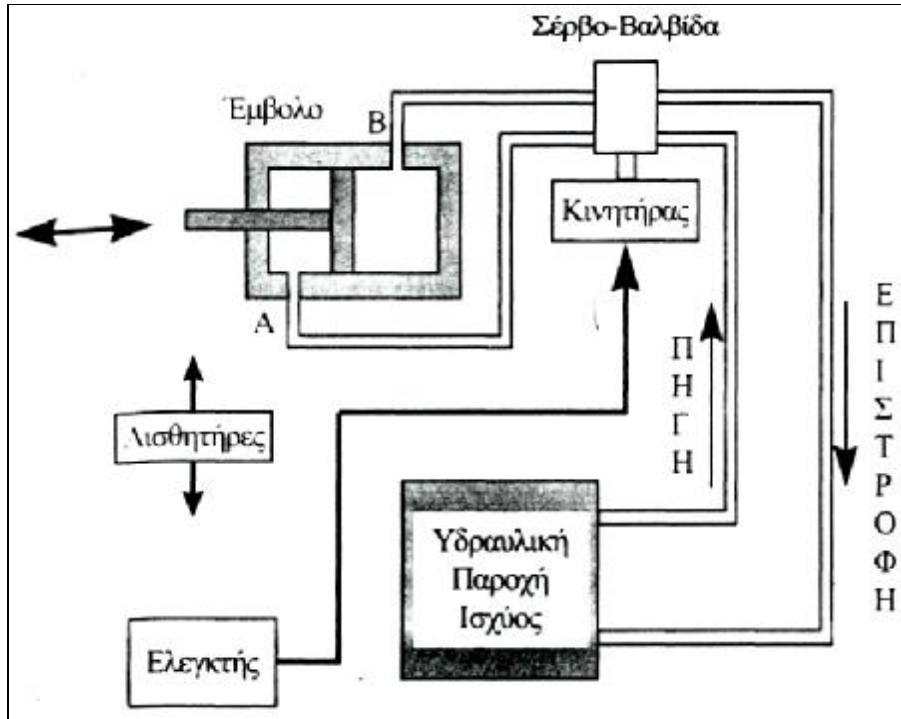
Οι βηματικοί κινητήρες παρέχονται από τον κατασκευαστή με ξεχωριστή μονάδα ελέγχου. Η είσοδος της ελέγχει την ισχύ στο βηματικό κινητήρα μέσω ηλεκτρονικών διακόπτων. Δεν απαιτείται επιπλέον εξοπλισμός για τη μετατροπή του σήματος εισόδου του κινητήρα. Η διασύνδεση μεταξύ ενός ηλεκτρονικού υπολογιστή και του κινητήρα είναι πολύ απλή. Τα χαρακτηριστικά ενός βηματικού κινητήρα είναι παρόμοια με αυτά ενός κινητήρα

DC, εάν τα επίπεδα κβαντοποίησης του εύρους της γωνιακής θέσης είναι επαρκώς μικρά. Στην πράξη, οι επιδράσεις της εσωτερικής ροπής, της ροπής αδρανείας και της τριβής ενός φορτίου στον άξονα ενός βηματικού κινητήρα μπορούν να περιγραφούν με εντελώς ανάλογο τρόπο.

4.3.3 Υδραυλικοί Κινητήρες

Οι ρομποτικοί χείριστες που κινούνται από υδραυλικούς κινητήρες χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλη ισχύ, για παράδειγμα στην ανύψωση βαρέων αντικείμενων. Η λειτουργία ενός υδραυλικού κινητήρα οφείλεται στη ροή λαδιού με τη βοήθεια ενός εμβόλου. Η ροή αυτή μπορεί να αναλυθεί σε τρεις κύριες συνιστώσες: τη ροή προς τον κινητήρα, τις διαρροές, και τη συνιστώσα της συμπιεστότητας (compressibility). Οι συνιστώσες αυτές καθορίζουν τη δυναμική συμπεριφορά του συστήματος, η οποία εξαρτάται από την υδραυλική μετάδοση και το μηχανικό (περιστρεφόμενο) τμήμα. Το σχηματικό διάγραμμα της υδραυλικής μετάδοσης απεικονίζεται στο σχήμα 4.6, όπου φαίνεται ο δρόμος της ροής ελαίου στον υδραυλικό κινητήρα. Το κύκλωμα υδραυλικής ροής είναι κλειστό και διατηρείται πλήρες μέσω ενός συστήματος αναπλήρωσης του ελαίου. Κάτω από ορισμένες συνθήκες, μπορεί να αποκτηθεί ένα γραμμικό μοντέλο για τη σχέση εισόδου/εξόδου (διαδρομή του εμβόλου-γωνιακή θέση του άξονα κίνησης). Ωστόσο, ένας υδραυλικός κινητήρας ενδέχεται να παρουσιάσει δυναμική συμπεριφορά η οποία μπορεί να είναι αρκετά ταλαντούμενη (oscillatory).

Η υδραυλική μετάδοση έχει πολλά ελκυστικά χαρακτηριστικά. Έχει παρατηρηθεί γενικά ότι οι υδραυλικοί κινητήρες λειτουργούν πιο ομαλά σε χαμηλές ταχύτητες σε σχέση με τους ηλεκτρικούς κινητήρες. Εφόσον οι υδραυλικοί κινητήρες διαθέτουν εσωτερικό σύστημα ψύξης, μπορούν να λειτουργήσουν σε συνθήκες κορεσμού (stall) π.χ. (σε περίπτωση βραχυκυκλώματος χωρίς να καταστραφούν.



Σχήμα 4.6 Ροή Ελαίου σε Υδραυλικό Κινητήρα.

Τα χαρακτηριστικά ταχύτητας διαδρομής των κινητήρων υδραυλικής μετάδοσης είναι τέτοια ώστε ο άξονας του κινητήρα περιστρέφεται με ταχύτητα ανάλογη της διαδρομής του εμβόλου. Η σχέση ταχύτητας-διαδρομής διατηρείται σε ένα μεγάλο εύρος μεταβολών του φορτίου. Συγκεκριμένα, η ταχύτητα του άξονα σε έναν υδραυλικό κινητήρα δεν μεταβάλλεται σημαντικά ακόμα και όταν η ροπή του φορτίου μεταβάλλεται σε μεγάλο εύρος. Η διατήρηση της διαδρομής του εμβόλου κατά τη διανομή μιας ροπής απαιτεί μία σημαντική δύναμη. Κατά συνέπεια, απαιτείται συχνά μια σημαντική ενίσχυση του σήματος εισόδου για το μηχανισμό μετακίνησης του εμβόλου. Η ενίσχυση αυτή μπορεί να επιτευχθεί ηλεκτρικά ή υδραυλικά.

Τα πλεονεκτήματα των κινητήρων αυτών είναι:

- Ο υψηλότερος λόγος ισχύος προς βάρος από κάθε άλλο τύπο μετάδοσης κίνησης.
- Υψηλή ταχύτητα και μηχανική απλότητα.
- Πολύ γρήγορη απόκριση.
- Δυνατότητα ανάδρασης θέσης και ταχύτητας.

- Αξιοπιστία (μικρός αριθμός βλαβών κατά τη διάρκεια ζωής τους).
- Κατασκευαστική τυποποίηση.

Τα μειονεκτήματα τους είναι:

- Επικινδυνότητα λόγω κρουστικής πίεσης (εάν ο σωλήνας τροφοδοσίας σπάσει).
- Απαίτηση ιδιαίτερα καλού φιλτραρίσματος του λαδιού.
- Διαρροή λαδιού (ενδεχομένως πολύ μικρή) και κίνδυνος ανάφλεξης.
- Απαίτηση χρόνου προθέρμανσης σε ψυχρή εκκίνηση.
- Σημαντικός επηρεασμός της ακρίβειας από τις θερμοκρασιακές συνθήκες.
- Περιορισμένη χρήση στη βιομηχανία τροφίμων εξαιτίας της τονικότητας του λαδιού.
- Απαίτηση για μεγάλο χώρο εγκατάστασης και συντήρησης.
- Αργή κάμψη (drooping) του ρομπότ όταν διακοπεί η παροχή ισχύος.

4.4 Ο ΕΛΕΓΚΤΗΣ ΚΑΙ ΤΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Ο σκοπός του ρομποτικού ελέγχου είναι η εκτέλεση και διατήρηση της κίνησης του ρομποτικού βραχίονα κατά μήκος μίας επιθυμητής τροχιάς, μέσω της εφαρμογής κατάλληλων διορθωτικών ή αντισταθμιστικών ροπών στους κινητήρες των αρθρώσεων ώστε να εξαλειφθούν τυχόν αποκλίσεις του βραχίονα από την τροχιά. Η τροχιά μπορεί να είναι προδιαγεγραμμένη ή να προσδιορίζεται σε πραγματικό χρόνο βάσει, κυρίως εξωτερικής αισθητήριας πληροφορίας.

Το πρόβλημα του ελέγχου συνεπώς εστιάζεται στον προσδιορισμό των απαραίτητων τιμών ρεύματος οδήγησης των αρθρώσεων προκειμένου να παραχθούν οι επιθυμητές ροπές σε κάθε χρονική στιγμή δειγματοληψίας. Η λύση αυτού του προβλήματος είναι αρκετά περίπλοκη λόγω των μεταβλητών αδρανειακών και φυγόκεντρων δυνάμεων, των δυνάμεων σύζευξης Coriolis που εμφανίζονται κατά την κίνηση του χειριστή, των βαρυτικών φορτίων των συνδέσμων, καθώς και των λοιπών ασαφειών του

δυναμικού μοντέλου. Επιπλέον, οι καμπύλες τάσης (ή ρεύματος)-ροπής για τους κινητήρες των αρθρώσεων είναι γνωστές προσεγγιστικά και επιπλέον μεταβάλλονται με το χρόνο.

Το λογισμικό ελέγχου της κίνησης είναι υπεύθυνο για την παραγωγή, το συντονισμό και την παρακολούθηση της κίνησης των αρθρώσεων του ρομπότ, έτσι ώστε να επιτευχθεί μία επιθυμητή κίνηση του ρομποτικού άκρου. Η βασική λειτουργία του είναι η τροφοδότηση των κυκλωμάτων των κινητήρων με τις κατάλληλες εισόδους, έτσι ώστε να ελαχιστοποιηθεί το σφάλμα μεταξύ της πραγματικής και της επιθυμητής τοποθέτηση (και συνήθως και της ταχύτητας) του τελικού στοιχείου όρασης κατά την εκτέλεση μιας κίνησης.

Το λογισμικό ελέγχου της κίνησης επηρεάζει τη λειτουργία του ρομπότ. Ορισμένα ρομπότ είναι σχεδιασμένα να λειτουργούν με έλεγχο της κίνησης ως προς συντεταγμένες του απολύτου συστήματος ή του χώρου εργασίας. Στον καρτεσιανό χώρο, η επιθυμητή τροχιά μπορεί να είναι μία ευθεία γραμμή ή συνδυασμός ευθύγραμμων τμημάτων και συνήθως αναλύεται σε μια ακολουθία βραχύτερων τμημάτων. Τα ακραία σημεία των τμημάτων αυτών καλούνται σημεία παρεμβολής (interpolation points). Το λογισμικό ελέγχου κίνησης κατόπιν μετατρέπει τις θέσεις του τελικού στοιχείου όρασης στα σημεία παρεμβολής σε θέσεις αρθρώσεων χρησιμοποιώντας την αντίστροφη κινηματική λύση ή κάποια αριθμητική προσέγγιση προς αυτήν. Οι προκύπτουσες αντίστοιχες μετατοπίσεις των αρθρώσεων χρησιμοποιούνται εν συνεχεία για τον υπολογισμό των τιμών ρεύματος οδήγησης των σερβομηχανισμών των αρθρώσεων.

Οι χρόνοι απόκρισης των σερβομηχανισμών προσαρμόζονται στο ρυθμό δειγματοληψίας του ελεγκτή ώστε να εξασφαλισθεί ομαλή και συνεχής κίνηση. Οι ταχύτητες και οι επιταχύνσεις ελέγχονται με μεταβολή της απόστασης μεταξύ των διαδοχικών σημείων παρεμβολής.

Σημειώνεται ότι η ακρίβεια του ρομπότ επηρεάζεται από την ακρίβεια του μαθηματικού μοντέλου που χρησιμοποιείται για τέτοιους υπολογισμούς τροχιάς. Τα σημερινά, μη βαθμονομημένα (non-calibrated) ρομπότ, έχουν τυπικές ακρίβειες περίπου 10 φορές χειρότερες από την επαναληψιμότητά τους.

4.5 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΤΗΣ ΚΙΝΗΣΗΣ

Το ηλεκτρονικό σύστημα αποτελείται από τα κυκλώματα πολυπλεξίας/αποπολυπλεξίας των σημάτων του ελεγκτή προς τα επιμέρους συστήματα ελέγχου/κίνησης του n αρθρώσεων, τα κυκλώματα μετατροπής D/A, τα κυκλώματα ενίσχυσης του αναλογικού σήματος για την οδήγηση των κινητήρων, τους κωδικοποιητές (shaft encoders) και το κύκλωμα ελέγχου των επιμέρους αρθρώσεων/ κινητήρων, οι οποίοι μετρούν τα σφάλματα θέσης (με διαφόριση ταχύτητας-επιτάχυνσης) ανατροφοδότησης του βρόγχου ελέγχου της άρθρωσης.

Ένας ψηφιακοαναλογικός μετατροπέας (D/A) χρησιμοποιείται για τη διασύνδεση μεταξύ ενός ψηφιακού υπολογιστή και της διαδικασίας (ή της μονάδας) που ελέγχεται από τον υπολογιστή. Η έξοδος του ψηφιακού υπολογιστή ή ενός μικροεπεξεργαστή έχει τη μορφή παλμών (είναι δηλαδή σήμα διακριτού χρόνου) και συνεπώς πρέπει να μετατραπεί σε αναλογικό (δηλ. συνεχούς χρόνου) πριν εφαρμοσθεί σε μία μονάδα όπως ένα κινητήρα. Στα ρομποτικά συστήματα, τέτοιοι μετατροπείς χρησιμοποιούνται προκειμένου να μετατρέψουν την έξοδο του μικροεπεξεργαστή που παράγει και ελέγχει την κίνηση της, σε κατάλληλα αναλογικά σήματα ρεύματος, που εν συνεχεία ενισχύονται και οδηγούν τον εκάστοτε κινητήρα.

Εξάλλου, είναι συχνά απαραίτητο ένα σύνολο σημάτων να τύχει επεξεργασίας σε έναν ψηφιακό υπολογιστή. Πριν την τροφοδότηση στον υπολογιστή, το αναλογικό σήμα πρέπει να υποστεί δειγματοληψία και να μετατραπεί σε ψηφιακό. Η δειγματοληψία επιτυγχάνεται με τη χρήση ενός διακόπτη, ο οποίος θεωρείται ιδανικός, δηλαδή ανοίγει και κλείνει στιγμιαία κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η έξοδος να αποτελείται από παλμούς των οποίων η επιφάνεια ισούται με την τιμή του σήματος κατά τη στιγμή της δειγματοληψίας.

Η συσκευή που πραγματοποιεί την κβάντιση και παράγει το ψηφιακό σήμα, καλείται αναλογικοψηφιακός μετατροπέας (A/D). Αυτό επιτυγχάνεται από τη σύγκριση του άγνωστου αναλογικού δείγματος εισόδου με μία γνωστή τάση, σε σχέση με την οποία λαμβάνεται η δυαδική αναπαράσταση. Μετά τον προσδιορισμό του πλησιέστερου επίπεδου κβάντιση της τάσης,

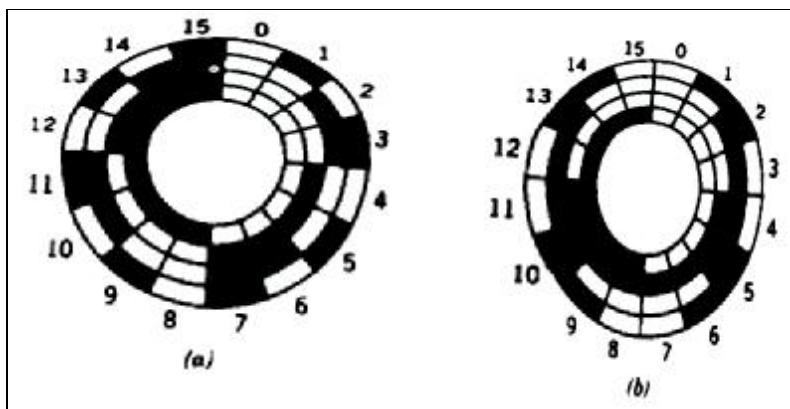
λαμβάνεται η αναπαράσταση του ψηφιακού σήματος. Η λειτουργία αυτή μπορεί να πραγματοποιηθεί με συγκριτή (comparator).

Τα κυκλώματα ισχύος, εξάλλου, αποστολή έχουν να ενισχύσουν το αναλογικό σήμα από την έξοδο του μετατροπέα D/A, το οποίο αντιπροσωπεύει την εντολή μετακίνησης από τον ελεγκτή και το οποίο θα οδηγήσει τον κινητήρα.

Η θέση ενός άξονα άρθρωσης μπορεί να μετρηθεί με έναν κωδικοποιητή (encoder) ή με ένα ποτενσιόμετρο (potentiometer), ενώ η ταχύτητα του με ένα ταχύμετρο (tachometer). Οι συνιστώσες αυτές παρέχουν την αναγκαία πληροφορία για τις πραγματικές τιμές αυτών των μεγεθών των αρθρώσεων. Όταν χρησιμοποιούνται βρόχοι ανατροφοδότησης, οι μετρήσεις συγκρίνονται με τις επιθυμητές τιμές και τα σφάλματα χρησιμεύουν για τον έλεγχο των κινητήρων, έτσι ώστε οι έξοδοί τους να επιτύχουν, ή να προσεγγίσουν επιθυμητές τιμές.

Ένα απλό κυλινδρικό ποτενσιόμετρο αποτελείται από ένα σύρμα αντίστασης τυλιγμένο στην επιφάνεια ενός κυλίνδρου. Το κεντρικό σημείο του ποτενσιόμετρου μπορεί να κυλιέται στο εσωτερικό κυλινδρικό τοίχωμα. Η θέση του εξαρτάται από τη γωνία του άξονα του. Εάν τα δυο ακραία σημεία του πηνίου του ποτενσιόμετρου συνδεθούν υπό σταθερή τάση, τότε η τάση μεταξύ του κυλιόμενου σημείου και ενός εκ των ακραίων σημείων θα είναι ανάλογη της γωνίας του άξονα που είναι προσαρτημένος στο κυλιόμενο σημείο. Αυτός ο τύπος ποτενσιόμετρου είναι μικρός και απλός, και προσαρμόζεται σε δύσκολα μέρη όπως ο καρπός ή οι αρθρώσεις στο χέρι ενός χειριστή.

Ένας γωνιακός κωδικοποιητής προσαρτημένος στον άξονα μίας άρθρωσης είναι ένας ανατροπέας (transducer), του οποίου η έξοδος είναι μία σειρά παλμών (ένας δυαδικός αριθμός), που αντιπροσωπεύει τη σχετική θέση του άξονα (γωνιακή μετατόπιση) ως προς μία αρχική θέση. Το βασικό στοιχείο ενός κωδικοποιητή είναι ένας δίσκος που μετατρέπει τη θέση του άξονα σε ένα δυαδικό αριθμό.



Σχήμα 4.7 Συνηθισμένα Είδη Κωδικοποιητών.

Το σχήμα 4.7 απεικονίζει τη βασική αρχή που χρησιμοποιείται στην κωδικοποίηση της γωνίας του άξονα σε δυαδικό αριθμό. Κάθε τομέας του δίσκου χωρίζεται από δύο γειτονικές ακτίνες και αντιπροσωπεύει ένα δυαδικό αριθμό, όπου η φωτεινή περιοχή αντιστοιχεί σε μηδέν και η σκοτεινή σε μονάδα. Το λιγότερο σημαντικό δυαδικό ψηφίο (least significant bit) είναι το εξωτερικό ψηφίο ενός τομέα, ενώ το πλέον σημαντικό δυαδικό ψηφίο (most significant bit) είναι το εσωτερικό ψηφίο ενός τομέα.

Ο αριθμός των ομόκεντρων κύκλων σε ένα γωνιακό κωδικοποιητή ισούται με τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων της λέξης που μπορεί να αναπαραστήσει ο κωδικοποιητής. Για παράδειγμα, ένας κωδικοποιητής των 8 bits αποτελείται από οκτώ ομόκεντρους κύκλους, εκ των οποίων ο εξωτερικός είναι χωρισμένος σε 128 φωτεινές και 128 σκοτεινές περιοχές τοποθετημένες, ενώ ο εσωτερικός κύκλος είναι χωρισμένος σε μία φωτεινή και μία σκοτεινή περιοχή. Ο κωδικοποιητής αυτός έχει επομένως την ικανότητα παραγωγής $256 (=2^8)$ διαφορετικών λέξεων των 8 bits. Η δυαδική λέξη 00111101 του κωδικοποιητή αυτού αντιστοιχεί στο δεκαδικό αριθμό 61. Η δυαδική έξοδος που αντιπροσωπεύει τη θέση του δίσκου μπορεί να διαβασθεί χρησιμοποιώντας οπτικές, μαγνητικές, ή άλλες συσκευές. Ένας οπτικός κωδικοποιητής αποτελείται από έναν κατατμημένο δίσκο, μία πηγή φωτός και έναν ανιχνευτή φωτός. Ένας μαγνητικός κωδικοποιητής αποτελείται από μία μαγνητική κεφαλή τοποθετημένη κοντά στην επιφάνεια του δίσκου.

Στους εμπορικά διαθέσιμους κωδικοποιητές, η έξοδος εκφράζεται είτε σε δυαδικά κωδικοποιημένους δεκαδικούς (BCD-Binary Coded Decimals), είτε σε κώδικα Gray, στον οποίο διαδοχικοί κωδικοποιημένοι χαρακτήρες διαφέρουν κατά ένα μόνο bit. Οι περισσότεροι κωδικοποιητές έχουν λέξεις μήκους 4, 8, 12 ή 16 bit.

Το μήκος της λέξης και η ακρίβεια του κωδικοποιητή προσδιορίζονται από την εσωτερική του δομή. Το εύρος των τομέων του δίσκου καθορίζει τον αριθμό των τομέων, και κατά συνέπεια, τη διακριτική ικανότητα (resolution). Τυπικές τιμές διακριτικής ικανότητας κυμαίνονται μεταξύ 0.1° και 0.02° στα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ με περιστροφικές αρθρώσεις. Εάν μειωθεί το εύρος των τομέων σε ένα δεδομένο δίσκο, βελτιώνεται και η ακρίβεια των ενδείξεων του κωδικοποιητή. Η ακρίβεια της εξόδου ενός κωδικοποιητή στην ένδειξη θέσης είναι σημαντικά καλύτερη από αυτήν μίας αναλογικής συσκευής όπως το προαναφερόμενο ποτενσιόμετρο. Επιπλέον, μπορεί να βελτιωθεί σημαντικά με τη βοήθεια γραναζιών.

Η έξοδος ενός κωδικοποιητή αντιπροσωπεύει τη γωνιακή θέση του άξονα άρθρωσης. Εάν χρειάζεται να ληφθεί η γωνιακή ταχύτητα του άξονα, για παράδειγμα, για έναν ελεγκτή, μπορεί αυτή να σχηματισθεί από τις εξόδους του κωδικοποιητή είτε με λογισμικό είτε με υλικό. Έτσι, πρόσθετες λειτουργίες απαιτούνται για την απόκτηση της γωνιακής ταχύτητας (και ενδεχομένως και της επιτάχυνσης) από τις ενδείξεις του κωδικοποιητή.

Ένα ταχύμετρο είναι ένας μετατροπέας του οποίου η αναλογική τάση εξόδου είναι ευθέως ανάλογη της γωνιακής ταχύτητας του άξονα. Ένα τυπικό ταχύμετρο μπορεί να θεωρηθεί σαν μία DC γεννήτρια με σταθερό πεδίο διέγερσης, ενώ χρησιμοποιούνται επίσης και ταχύμετρα AC. Ένα ταχύμετρο είναι συνηθισμένη συνιστώσα στο βρόχο ανάδρασης πολλών βιομηχανικών εφαρμογών ελέγχου ταχύτητας, στις οποίες χρησιμοποιούνται συνήθως για τη μείωση των ταλαντώσεων στην απόκριση του συστήματος.

Σε ορισμένα ρομπότ, όπως π.χ. το PUMA, υπάρχει και ένας μικρότερος βρόγχος ελέγχου της κίνησης της κάθε άρθρωσης, ο οποίος είναι υπεύθυνος για τις μικρορυθμίσεις της τροχιάς της κίνησης.

4.6 ΕΞΩΤΕΡΙΚΕΣ ΔΙΑΣΥΝΔΕΣΕΙΣ ΚΑΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

Το σύνολο των εξωτερικών διασυνδέσεων ενός ρομπότ αφορά τους εξωτερικούς αισθητήρες που χρησιμοποιούνται από το ρομπότ για την παρατήρηση του περιβάλλοντος του και τις διασυνδέσεις επικοινωνίας δεδομένων (data communication interfaces) μεταξύ του ρομπότ και άλλων μηχανών ή υπολογιστών. Οι συνιστώσες αυτές επηρεάζουν τις λειτουργίες αίσθησης, εξωτερικών ελεγκτών/ επικοινωνίας και ελέγχου του ρομπότ.

Οι αισθητήρες επηρεάζουν τις λειτουργίες χειρισμού και ελέγχου του ρομπότ. Παρέχουν στο ρομπότ τη δυνατότητα βελτίωσης των ικανοτήτων χειρισμού, εισάγοντας πληροφορία της εξέλιξης του έργου και διορθώνοντας τις αποκλίσεις. Οι διασυνδέσεις επικοινωνίας δεδομένων εξάλλου, επίσης επηρεάζουν τη λειτουργία χειρισμού εκ μέρους του ρομπότ αλλά με έμμεσο τρόπο, επιτρέποντας του να συνεργάζεται με άλλες μηχανές ή ρομπότ για την εκτέλεση μιας εργασίας.

Υπάρχουν δύο γενικές κατηγορίες εξωτερικών αισθητήρων για ρομποτικές εφαρμογές: (α) οι αισθητήρες επαφής (contact sensors) και (β) οι αισθητήρες μη επαφής (non-contact sensors). Οι αισθητήρες επαφής παρέχουν κυρίως την αίσθηση της αφής μετρώντας την ασκούμενη στις αρθρώσεις ή το τελικό στοιχείο δράσης, πίεση ή δύναμη. Ορισμένα ρομπότ χρησιμοποιούν τέτοιους αισθητήρες στα άκρα των δακτύλων τους προκειμένου να παρακολουθήσουν τις αλληλεπιδράσεις μεταξύ του ρομποτικού χεριού και των αντικειμένων υπό μεταχείριση. Στην περίπτωση αυτή, οι αισθητήρες ονομάζονται αφής (tactile sensors) και μετρούν τη δύναμη ή/και ροπή που το μηχανικό χέρι ασκεί σε ένα αντικείμενο. Τέτοια πληροφορία χρησιμοποιείται συνήθως για τη σωστή συγκράτηση αντικειμένων, ή στην ελεγχόμενη από αισθητήρες μεταχείριση αντικειμένων. Οι αισθητήρες αφής μπορούν να έχουν τη μορφή μικρών πινάκων από αισθητήρια στοιχεία, έτσι ώστε να μετρούν την κατανομή της πίεσης πάνω σε μια επίπεδη περιοχή μεγέθους μίας τετραγωνικής ίντσας. Τέτοιοι πίνακες αφής έχουν πρόσφατα διατεθεί εμπορικά και μπορούν να χρησιμοποιηθούν στα άκρα των δακτύλων μηχανικών χεριών ή σε τελικά στοιχεία δράσης.

Για πολλές εργασίες, εξάλλου, οι δυνάμεις και οι ροπές που εξασκούνται από ένα ρομποτικό χεριστή πρέπει να διατηρούνται μέσα σε

επιτρεπτά όρια. Αυτές οι τιμές μετρώνται με τη βοήθεια αισθητήρων δύναμης/ροπής, οι οποίοι επίσης θεωρούνται αισθητήρες επαφής. Οι μετρήσεις δύναμης και ροπής παρέχουν πληροφορίες σχετικά με την επαφή του τελικού στοιχείου δράσης και του περιβάλλοντος. Χρειάζονται για την λειτουργία του χειριστή, ειδικά σε επιδέξιες εργασίες του απαιτούν ακριβή και λεπτομερή χειρισμό αντικειμένων. Παραδείγματα τέτοιων εργασιών συναντώνται στη διαχείριση υλικών και στη συναρμολόγηση κατά την οποία χρειάζονται συγκρατήσεις εύθραυστων αντικειμένων, εισαγωγές, περιστροφές και πιέσεις. Οι εργασίες αυτές απαιτούν τον έλεγχο μικρών κινήσεων.

Ο απλούστερος τύπος αισθητήρα δύναμης βασίζεται στη δυαδική επαφή (μικροδιακόπτης-microswitch). Εάν ανιχνευθεί επαφή, τότε ενεργοποιείται κάποια δράση, η οποία μπορεί να είναι ακόμη και παύση της λειτουργίας του χειριστή. Είναι επίσης δυνατόν, η κίνηση του χειριστή να παύσει κατά τη διεύθυνση της παρατηρούμενης επαφής, αλλά να συνεχισθεί σε άλλες κατευθύνσεις. Αυτός ο τύπος αίσθησης της δύναμης χρησιμοποιείται συχνά για την ανίχνευση συγκρούσεων με εμπόδια του χώρου, σε εφαρμογές κινητών ρομπότ.

Εάν ωστόσο, ζητείται η μέτρηση της δύναμης/ροπής, όπως για παράδειγμα σε ενέργειες ελέγχου με ανατροφοδότηση, τότε απαιτείται πιο ακριβής πληροφορία. Υπάρχουν αρκετές μέθοδοι για τη μέτρηση δυνάμεων και ροπών. Έτσι, για τη μέτρηση δυνάμεων που ασκούνται από ένα βραχίονα στο περιβάλλον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ελαστικά στοιχεία. Όταν οι διαστάσεις ενός τέτοιου στοιχείου μεταβληθούν εξαιτίας μίας εφαρμοζόμενης δύναμης, παρατηρούνται μεταβολές σε κάποια φυσική ιδιότητα του στοιχείου. Εάν το στοιχείο είναι ένα ελατήριο, τότε η εφαρμογή της δύναμης έχει σαν αποτέλεσμα τη μεταβολή του μήκους του. Εάν είναι μετρητής τάσης (strain gauge) από κατάλληλα επιλεγμένο υλικό, τότε μεταβάλλεται η ηλεκτρική του αντίσταση. Οι μετρητές αυτοί είναι συνήθως κατασκευασμένοι από αγώγιμο υλικό προσαρτημένο στο αντικείμενο. Η παραμόρφωση του αντικείμενου έχει σαν αποτέλεσμα την έκταση του μετρητή, γεγονός του προκαλεί τη μεταβολή της ηλεκτρικής του αντίστασης, ανάλογα με την εφαρμοζόμενη δύναμη.

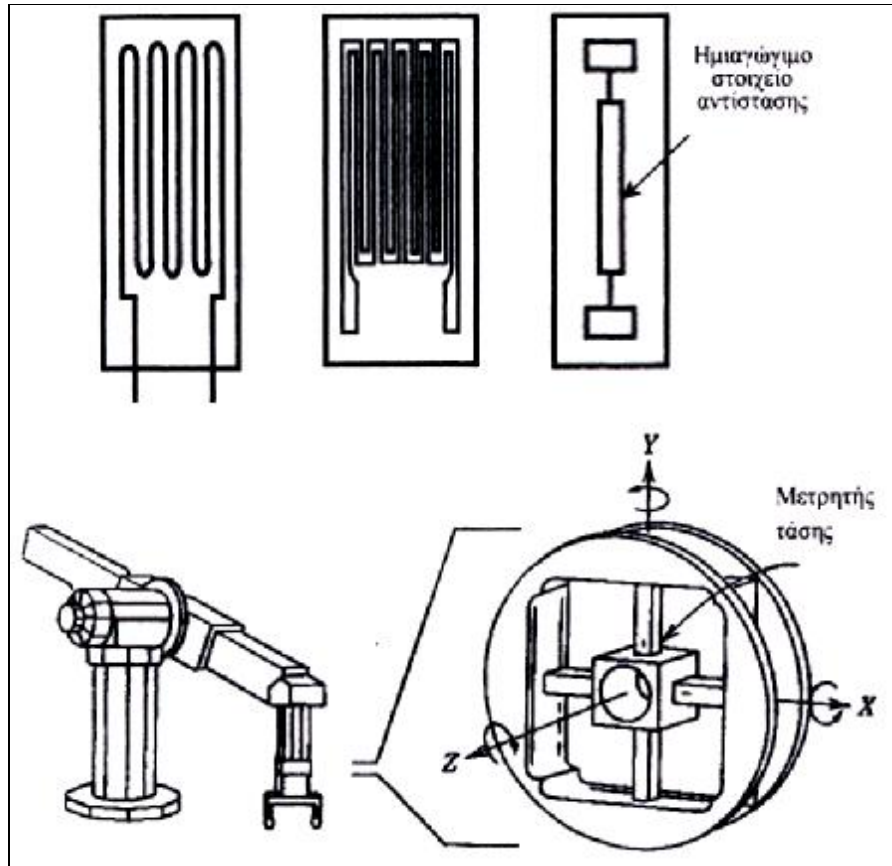
Οι μετρητές τάσης είναι εν γένει πολύ μικροί σε διαστάσεις. Τα μεγέθη τους ποικίλουν μεταξύ 20mm^2 και $6-7\text{cm}^2$. Είναι επίσης ιδιαίτερα λεπτοί (πάχος 0.02mm ή μικρότερο), ενώ η αντίστασή τους λαμβάνει τιμές μεταξύ 50 και 100Ω . Το υλικό κατασκευής τους είναι συνήθως πυρίτιο ή κάποιο

πιεζοηλεκτρικό υλικό, στο οποίο η παραμόρφωση δημιουργεί ηλεκτρικό σήμα ανάλογο της εφαρμοζόμενης δύναμης. Τυπικά σχέδια μετρητών τάσης απεικονίζονται στο σχήμα 4.8. Οι μετρητές τάσης χρησιμοποιούνται επίσης ως αισθητήρες δύναμης του καρπού ενός βραχίονα και μετρούν τη δύναμη και ροπή που ασκεί το τελικό στοιχείο δράσης στο περιβάλλον.

Μεταξύ των αισθητήρων μη επαφής που χρησιμοποιούνται σε ορισμένα ρομποτικά συστήματα, τα συστήματα όρασης είναι τα πλέον δημοφιλή. Πέραν της εξωτερικής αίσθησης στη ρομποτική, τα συστήματα όρασης έχουν ένα μεγάλο αριθμό εφαρμογών στο βιομηχανικό αυτοματισμό, συμπεριλαμβανομένης της επίβλεψης, της αναγνώρισης προτύπων και της οπτικής πλοήγησης.

Άλλος τύπος αισθητήρων μη επαφής είναι οι ακουστικοί αισθητήρες (sonar sensor). Αυτοί αποτελούνται κυρίως από ενεργά στοιχεία τα οποία προσδιορίζουν προσεγγιστικά την απόσταση από αντικείμενα. Παθητικοί ακουστικοί αισθητήρες ήδη παρέχουν πρωταρχικά την αίσθηση της ακοής σε ρομπότ μέσω μεθόδων που έχουν αναπτυχθεί για την κατανόηση και ερμηνεία των ακουστικών σημάτων.

Χημικοί αισθητήρες που θα προσεγγίζουν την αίσθηση της γεύσης και της όσφρησης. ίσως αναπτυχθούν μελλοντικά για ρομποτικές εφαρμογές. Ήδη υπάρχουν τέτοιοι χημικοί αισθητήρες οι οποίοι αναμένεται να παίξουν κάποιο ρόλο και στη ρομποτική. Η μελέτη της τεχνολογίας, της λειτουργίας, και των διαφόρων τύπων αισθητήρων είναι ιδιαίτερα σημαντική στη Ρομποτική, με δεδομένο ότι σήμερα η πλειοψηφία των βιομηχανικών εφαρμογών με ρομπότ, χρησιμοποιεί σε κάποιο βαθμό αισθητήρια ανατροφοδότηση.



Σχήμα 4.8 Τυπικά Σχέδια Μετρητών Τάσης.

4.7 Το Σύστημα Επικοινωνίας Ανθρώπου-Μηχανής

Το τελευταίο σύνολο λειτουργιών ενός ρομποτικού συστήματος είναι το σύστημα διεπικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής (man-machine interface). Το σύστημα αυτό εξυπηρετεί την αμφίδρομη επικοινωνία του χρήστη με το ρομποτικό σύστημα. Οι διασυνδέσεις αυτές είναι απαραίτητες για τον αποδοτικό προγραμματισμό εκ μέρους του ανθρώπου, για τη σωστή πραγματοποίηση ενός έργου, την παρακολούθηση, και τον έλεγχο του ρομπότ. Η κατεύθυνση της επικοινωνίας από το χρήστη προς το ρομποτικό σύστημα εκφράζεται με τη μορφή εντολών προς αυτό ή με τη μορφή ερωτήσεων σχετικά με την τρέχουσα κατάσταση λειτουργίας. Η επικοινωνία από το ρομποτικό σύστημα προς το χρήστη έχει τη μορφή

πληροφοριών που αφορούν την κατάσταση του βραχίονα ή/και των άλλων συνιστωσών του συστήματος.

Οι συνθηθέστερες συσκευές διασύνδεσης είναι ο τερματικός σταθμός (terminal) (πληκτρολόγιο, οθόνη, κλπ.), το άκρο διδασκαλίας (teach pendant) και σπανιότερα ένας μοχλός καθοδήγησης (joystick). Ο χρήστης μέσω του τερματικού σταθμού μπορεί να στέλνει εντολές στο ρομπότ ή στα περιφερειακά του κατά τη διάρκεια της λειτουργίας του, να συντάσσει, να αποθηκεύει, να ανακαλεί και να εκτελεί ένα πρόγραμμα κωδικοποιημένο στη γλώσσα προγραμματισμού του ρομποτικού συστήματος, να ζητάει πληροφορίες για την τρέχουσα κατάσταση του βραχίονα ή των περιφερειακών, κ.ά.

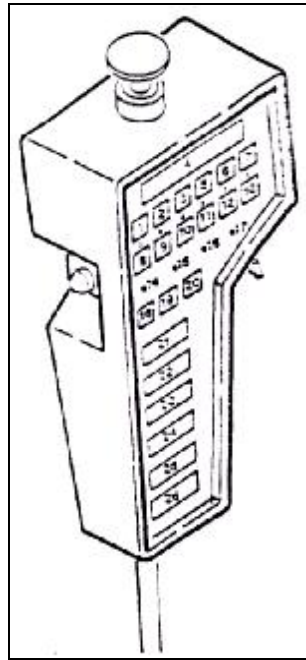
Οι εντολές προς το σύστημα μπορεί να είναι εντολές προς το βραχίονα που να περιγραφούν κάποια λειτουργία (π.χ. μετακίνηση μίας άρθρωσης κατά ένα ποσό), εντολές προς κάποιο περιφερειακό (π.χ. απόκτηση εικόνας από τον οπτικό αισθητήρα), εντολές εσωτερικών λειτουργιών μεταξύ περιφερειακών και ελεγκτή (π.χ. αποστολή αισθητήριου σήματος σε κατάλληλο επεξεργαστή για την καθοδήγηση του βραχίονα), κλπ. Το πλήθος και το είδος των εντολών καθορίζεται από τη γλώσσα προγραμματισμού με την οποία είναι εφοδιασμένο το ρομποτικό σύστημα, και η οποία είναι συνήθως υψηλού επιπέδου, στα πιο σύγχρονα συστήματα δε, είναι αλληλεπιδραστική (interactive).

Το άκρο διδασκαλίας, είναι μία συσκευή που παρέχεται στην πλειοψηφία των ρομποτικών συστημάτων. Μέσω αυτού, ο χρήστης έχει τη δυνατότητα μετακίνησης του ρομποτικού βραχίονα, ή σε επίπεδο αρθρώσεων (joint level), δηλαδή μετακινώντας κάθε άρθρωση ξεχωριστά, ή σε καρτεσιανό επίπεδο (Cartesian level), όπου μετακινείται το ρομποτικό άκρο κατά ή γύρω από τους άξονες του απόλυτου συστήματος, εξαιτίας της συντονισμένης κίνησης των αρθρώσεων.

Στο άκρο διδασκαλίας είναι επίσης ενσωματωμένες λειτουργίες όπως ή άμεση παύση (emergency stop), η καταγραφή σημείων διδασκαλίας (record teach points), η αρχικοποίηση (HOME), κ.ά. ενώ είναι επίσης δυνατή και η φόρτωση και εκτέλεση προγραμμάτων αποθηκευμένων στη μνήμη του ελεγκτή. Το άκρο διδασκαλίας χρησιμοποιείται εκτενώς σε διαδικασίες διδασκαλίας κινήσεων στο ρομπότ, η καταγραφής ενδιάμεσων σημείων από τα οποία πρέπει να διέλθει το άκρο. Το άκρο διδασκαλίας του ρομπότ PUMA 560 απεικονίζεται στο σχήμα 4.9. Πιο σύγχρονα άκρα διδασκαλίας, όπως αυτά των ρομπότ KUKA, διαθέτουν

οθόνη, αλληλεπιδραστικό περιβάλλον και μπορούν να εμφανίζουν πληροφορίες από τα αισθητήρια του συστήματος.

Ο μοχλός καθοδήγησης, τέλος, χρησιμοποιείται κυρίως ως συσκευή τηλεχειρισμού του ρομπότ, ειδικά σε μεγάλες δομικά κατασκευές. Εφαρμογές με ανάδραση δύναμης (force feedback) συνήθως χρησιμοποιούν μοχλούς καθοδήγησης.



Σχήμα 4.9 Άκρο Διδασκαλίας Ρομπότ PUMA 560.

Το ρομποτικό σύστημα εξάλλου, μπορεί να αποκρίνεται στις αιτήσεις του χρήστη μέσω μηνυμάτων που στέλνονται στην οθόνη του τερματικού σταθμού, ή και στην οθόνη LED του άκρου διδασκαλίας. Τα μηνύματα αυτά συνήθως αφορούν πληροφορίες σχετικά με την εξέλιξη μίας εργασίας, την κατάσταση του ρομπότ, τις μετατοπίσεις των αρθρώσεων, το είδος των χρησιμοποιούμενων εργαλείων, κλπ.

Ενδέχεται εξάλλου, να παρέχονται στο χρήστη αισθητήριες πληροφορίες, όπως π.χ. η παρατηρούμενη από μία κάμερα περιοχή, ή το αποτύπωμα δύναμης σε έναν αισθητήρα αφής, εφόσον το περιβάλλον του συστήματος το

επιτρέπει. Τέλος, υπάρχουν ρομποτικά προγραμματιστικά περιβάλλοντα βασισμένα σε CAD. Τα περισσότερα από αυτά τα συστήματα, ωστόσο, έχουν χρησιμοποιηθεί μόνο για σχεδιασμό και προσομοίωση ρομποτικών εφαρμογών εκτός γραμμής και δεν έχουν διασυνδεθεί με πραγματικό ρομποτικό υλικό.

4.8 ΚΡΙΤΗΡΙΑ ΚΙΝΗΜΑΤΙΚΗΣ ΑΠΟΔΟΣΗΣ ΡΟΜΠΟΤ

Κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού και της παραγωγής ενός ρομπότ, εμφανίζονται συνήθως τρεις ξεχωριστές φάσεις ανάπτυξης, που αποσκοπούν κυρίως στον έλεγχο της ποιότητας:

Φάση Άλφα. Η φάση αυτή αντιπροσωπεύει τη δοκιμαστική κατασκευή ενός πρωτότυπου ρομπότ το οποίο έχει σχεδιασθεί με βάση τους στόχους που τέθηκαν αρχικά από τους μηχανικούς σχεδιασμού, και που αφορούν τις λειτουργικές και σχεδιαστικές προδιαγραφές. Οι δοκιμές κατά τη φάση αυτή περιλαμβάνουν την επαλήθευση των σχεδιαστικών προδιαγραφών, καθώς και τις δυνατότητες πραγματοποίησής των, ενώ επιδιώκεται η πληρότητα του συστήματος.

Φάση Βήτα. Η φάση αυτή αποτελείται είτε από την προ-παραγωγή ή από την παραγωγή αρχικών μονάδων οι οποίες στέλνονται σε συγκεκριμένους πελάτες επί παρακαταθήκη για έλεγχο σε συνθήκες πραγματικών έργων. Οι τοποθεσίες των δοκιμών βήτα (beta test sites) επιλέγονται προσεκτικά έτσι ώστε να αντιπροσωπεύουν τυπικές εφαρμογές για το υπό αξιολόγηση ρομπότ. Τόσο οι κατασκευαστές του ρομπότ όσο και οι πελάτες στις τοποθεσίες βήτα χρησιμοποιούν τη δοκιμή αυτή προκειμένου να προσδιορίσουν εάν ορισμένα χαρακτηριστικά θα έπρεπε να ενσωματωθούν, να απαλειφθούν, ή να βελτιωθούν, όπως και να παρουσιασθούν πιθανές ατέλειεθ'αστοχίες ή ατέλειες στο σχεδιασμό και την κατασκευή. Το προϊόν αυτής της φάσης είναι ο τελικός προσδιορισμός των χαρακτηριστικών του ρομπότ.

Φάση Παραγωγής. Η φάση αυτή αποτελείται από τη μαζική παραγωγή ρομπότ. Οι δοκιμές και οι έλεγχοι στη φάση αυτή προσδιορίζουν εάν ένα ρομπότ ανταποκρίνεται ή όχι στις προδιαγραφές του και πώς αποδίδει σε συγκεκριμένες εφαρμογές.

Υπάρχουν, εν γένει, διάφοροι τύποι μεθόδων δοκιμής της απόδοσης (performance) ενός ρομπότ, που εκτείνονται από την επαλήθευση των σχεδιαστικών στόχων του κατασκευαστή μέχρι τον προσδιορισμό του καλύτερου ρομπότ για μία συγκεκριμένη εφαρμογή. Κάθε τύπος δοκιμής σχετίζεται με τις διάφορες φάσεις από τις οποίες περνάει ένα ρομποτικό μοντέλο κατά τη διάρκεια της ωφέλιμης ζωής του.

Οι δοκιμές που επιτελούνται σε κάθε μία από τις παραπάνω φάσεις μπορεί να είναι όμοιες ή ταυτόσημες, ανάλογα με τις παραμέτρους απόδοσης που πρέπει να μετρηθούν. Το είδος της πληροφορίας που μπορεί να ληφθεί περιορίζεται συχνά από τον εξοπλισμό των δοκιμών, ο οποίος χρησιμοποιείται για τη μέτρηση θέσεων ή τροχιών του ρομπότ. Πολλές από τις τεχνικές που χρησιμοποιούνται για τη μέτρηση αριθμητικά ελεγχόμενων (numerically controlled-NC) εργαλειομηχανών (machine tools), έχουν χρησιμοποιηθεί και για την ποσοτικοποίηση της ρομποτικής απόδοσης, αλλά έγινε γρήγορα εμφανές ότι οι παράμετροι απόδοσης των ρομπότ ήταν αρκετά διαφορετικές, ειδικά στην περίπτωση ρομπότ μη-Καρτεσιανού τύπου.

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα των εργαλειομηχανών είναι η ικανότητα σταθερής τοποθέτησης του δοκιμίου του έργου με τη βοήθεια σταθερών αρπάγων πάνω στο τραπέζι της εργαλειομηχανής. Η εργαλειομηχανή ελέγχει κατ' αυτόν τον τρόπο ολόκληρο το περιβάλλον της διαδικασίας και συνεπώς, οι τεχνικές δοκιμής των εργαλειομηχανών έχουν σχεδιασθεί για τη μέτρηση των κομματιών που παράγονται και παρακολουθούν τη μηχανή.

Τα περισσότερα σημερινά βιομηχανικά ρομπότ, από την άλλη πλευρά, είναι μηχανισμοί τοποθέτησης στο χώρο που επιτελούν έργα σε αντικείμενα που είναι τοποθετημένα κάπου στο χώρο. Καθώς ο σχεδιαστής του ρομπότ δεν γνωρίζει που θα τοποθετήσουν οι χρήστες του ρομπότ τα αντικείμενα, η απόδοση του ρομπότ δεν μπορεί να βελτιστοποιηθεί για κάποια συγκεκριμένη περιοχή. Συνεπώς, οι τεχνικές δοκιμής των ρομπότ πρέπει να προσδιορίσουν την απόδοση για όλα τα αντικείμενα μέσα σε όλο το χώρο εργασίας, ανεξάρτητα από την πραγματική εφαρμογή, η οποία μπορεί να διαφέρει σημαντικά.

Αυτό θέτει αυστηρούς περιορισμούς στον εξοπλισμό δοκιμών, διότι απαιτείται όχι μόνο η επίτευξη μίας θέσης του ρομπότ, αλλά και αυξημένη ακρίβεια. Καθόσον, τα περισσότερα βιομηχανικά ρομπότ έχουν χώρους εργασίας όγκου μεγαλύτερου από 1m^3 , η παρατήρηση του όγκου αυτού με

διακριτική ικανότητα τάξης μεγέθους περίπου δέκα φορές μεγαλύτερη από αυτή που καταγράφεται για ένα τυπικό ρομπότ, υπερβαίνει τις ικανότητες των διαθέσιμων σήμερα εξοπλισμών δοκιμής.

Οι πλέον κρίσιμες παράμετροι απόδοσης, ενός ρομπότ, είναι η διακριτική ικανότητα, η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα, οι οποίες ορίζονται ως ακολούθως

Διακριτική ικανότητα (resolution) είναι το μέτρο της μικρότερης δυνατής μεταβολής στη μεταβλητή έξοδο μίας συσκευής.

Ακρίβεια (accuracy) είναι ο βαθμός στον οποίο η πραγματική τοποθέτηση αντιστοιχεί στην επιθυμητή ή διατεταγμένη τοποθέτηση.

Επαναληψιμότητα (repeatability) είναι το μέτρο της απόκλισης επαναλαμβανόμενων κινήσεων τοποθέτησης (θέσης και προσανατολισμού), κάτω από τις ίδιες συνθήκες περιβάλλοντος, φορτίου και εργασίας.

Η διακριτική ικανότητα του ρομπότ, διακρίνεται σε Διακριτική Ικανότητα Ελέγχου (Control Resolution) και σε Χωρική Διακριτική ικανότητα (Spatial Resolution).

Ως διακριτική ικανότητα ελέγχου του ρομπότ ορίζεται η μικρότερη μεταβολή που μπορεί να παράγει το ρομπότ μέσω κινήσεων των αρθρώσεων του, και προσδιορίζεται από την ευαισθησία των εσωτερικών κωδικοποιητών. Ο έλεγχος αυτός πραγματοποιείται μέσω των εντολών του μετατροπέα των κινηματικών εντολών σε αναλογικές εντολές ρεύματος (ψηφιακοαναλογικές Εντολές - ΨΑΕ (D/A Commands-DACS)). Οι εντολές αυτές είναι δυαδικοί αριθμοί με μήκος ίσο με το μήκος της λέξης που μπορεί να αναπαραστήσει ο κωδικοποιητής. Κάθε τέτοιος αριθμός αναπαριστά τη διακριτή θέση μίας άρθρωσης όπως προκύπτει από την ένδειξη του κωδικοποιητή. Εάν, για παράδειγμα, το εύρος κίνησης του ρομποτικού άκρου είναι d και οι ΨΑΕ έχουν μήκος λέξης n bits τότε η μικρότερη μεταβολή που μπορεί να δώσει ο ελεγκτής είναι $d/2^n$, διότι η απόσταση d κβαντίζεται σε 2^n επίπεδα. Για περιστροφικές κινήσεις, το γωνιακό εύρος θ διαιρείται με 2^n προκειμένου να ληφθεί η γωνιακή διακριτική ικανότητα ελέγχου, και κατόπιν αυτό πολλαπλασιάζεται με το μήκος του βραχίονα προκειμένου να ληφθεί η διακριτική ικανότητα ελέγχου στο άκρο του ρομπότ.

Παράδειγμα

Το άκρο ενός γραμμικού άξονα μπορεί να διαλύσει μία απόσταση 40cm λαμβάνοντας ΨΑΕ των 10 bits. Η διακριτική ικανότητα ελέγχου του είναι: $40/2^{10}=0.0391\text{cm}$.

Παράδειγμα

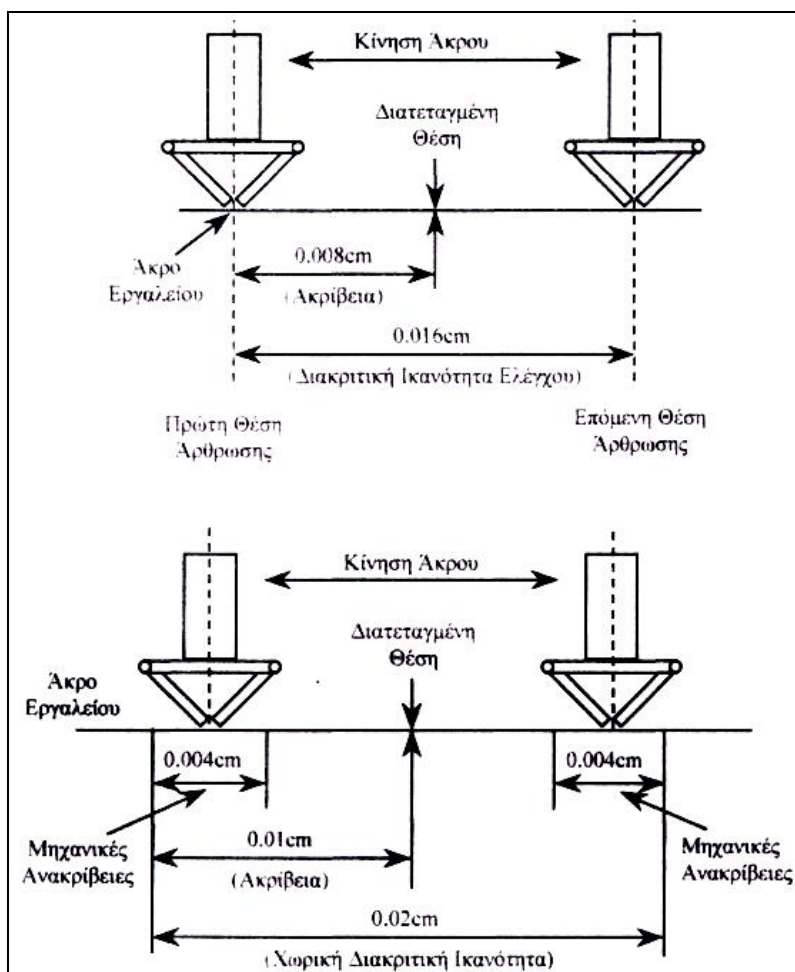
Ένα πολικό ρομπότ έχει μήκος βραχίονα 24cm και μπορεί να περιστραφεί σε ένα εύρος 270° , εάν ο κινητήρας της άρθρωσης λαμβάνει ΨΑΕ των 8 bits. Η γωνιακή διακριτική του ικανότητα είναι: $\delta\theta=270/(2^8\pi)=0.01851 \text{ rads}$ ή 1.054° . Επομένως, η διακριτική ικανότητα στο άκρο είναι: $24 \times 0.01841=0.044179\text{cm}$. Εάν είχε χρησιμοποιηθεί γραμμική άρθρωση για το ίδιο μήκος βραχίονα, η διακριτική της ικανότητα θα ήταν: $24/256=0.0945\text{cm}$. γεγονός το οποίο δείχνει ότι σε αυτήν την περίπτωση η γραμμική διακριτική ικανότητα είναι καλύτερη της γωνιακής.

Παράδειγμα

Έστω ότι το πολικό ρομπότ του προηγούμενου παραδείγματος πρέπει να μετακινήσει την άρθρωση του από την αρχική της θέση κατά 78.1° . Εφόσον η γωνιακή διακριτική ικανότητα της άρθρωσης είναι 1.054° , έπεται ότι πρέπει να σχηματισθεί στον κωδικοποιητή της άρθρωσης η δυαδική λέξη 01001010. η οποία αντιστοιχεί στον αριθμό $78.1^{\circ}/1.054^{\circ}=74$.

Η χωρική διακριτική ικανότητα (spatial resolution) εξάλλου, ορίζεται ως η μικρότερη μεταβολή κίνησης που μπορεί να επιτύχει ένας ρομποτικός χειριστής στο τελικό στοιχείο δράσης του. Προκύπτει, κατά σύμβαση, ως το άθροισμα της διακριτικής ικανότητας ελέγχου και των ανακρίβειών της κίνησης που προέρχονται από τη μηχανική κατάσταση και τη δυναμική αλληλεπίδραση του ρομπότ και του περιβάλλοντος του. Οι μηχανικές ανακρίβειες μπορεί να οφείλονται στη βαρύτητα, σε ταλαντώσεις, σε επιταχύνσεις (κεντρομόλες, Coriolis

κλπ.), σε παραμορφώσεις (ελαστικές, πλαστικές, κλπ.) των συνδέσμων, σε "τζόγο" των γραναζιών, κ.ά. Μία άλλη πηγή ανακρίβειών υπεισέρχεται κατά τον υπολογισμό τροχιών του ρομπότ σε υπολογιστή μέσω των κινηματικών του εξισώσεων. Κατ' αυτόν τον τρόπο, η ακρίβεια του ρομπότ επηρεάζεται επιπρόσθετα από τα αριθμητικά σφάλματα αποκοπής, στρογγυλοποίησης ή και προσέγγισης τριγωνομετρικών και άλλων συναρτήσεων.



Σχήμα 4.10 Ακρίβεια, Επαναληψιμότητα, και Διακριτική Ικανότητα.

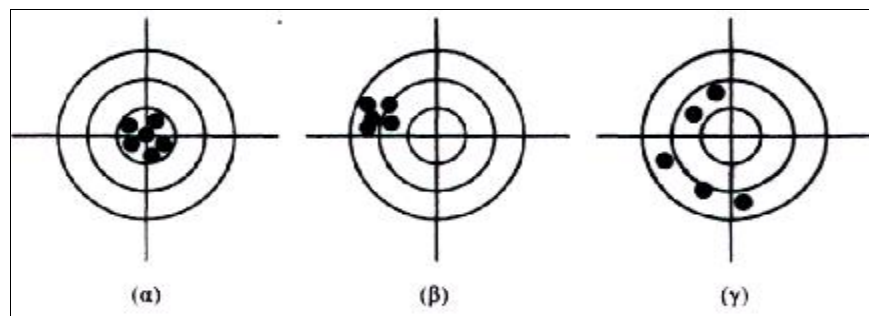
Η χωρική διακριτική ικανότητα επομένως καθορίζεται από τις συσκευές ανατροφοδότησης της τοποθέτησης, π.χ. τους γωνιακούς κωδικοποιητές, που είναι στοιχεία του συστήματος ελέγχου του ρομπότ και μεταβάλλεται ανάλογα

με τη θέση του, γι' αυτό και σπάνια προσδιορίζεται από τον κατασκευαστή. Στα αρθρωτά ρομπότ είναι συνήθως καλύτερη στα σημεία κοντά στη βάση του ρομπότ και χειροτερεύει κοντά στα εξωτερικά όρια του χώρου εργασίας. Το σχήμα 4.10 απεικονίζει τη σχέση μεταξύ διακριτικής ικανότητας ελέγχου και χωρικής διακριτικής ικανότητας. Συνεπώς, η ακρίβεια είναι το ήμισυ της διακριτικής ικανότητας ελέγχου του ρομπότ.

Συχνά, ένα ρομπότ διδάσκεται μία ακολουθία τοποθετήσεων από τον χειριστή μέσω π.χ. του άκρου διδασκαλίας, ενώ ταυτόχρονα καταγράφονται οι θέσεις των αρθρώσεων στις αντίστοιχες τοποθετήσεις. Εάν αργότερα δοθεί εντολή στο ρομπότ να επαναλάβει την διδαγμένη κίνηση ή να τοποθετήσει το άκρο του σε διδαγμένες θέσεις, τότε ως επαναληψιμότητα ορίζεται η ικανότητα του ρομπότ να το πράξει αυτό. Η επαναληψιμότητα επηρεάζεται μόνο από τη διακριτική ικανότητα ελέγχου και τις μηχανικές ανακρίβειες (σχήμα 4.10). Τόσο η επαναληψιμότητα όσο και η ακρίβεια εξαρτώνται από τη διακριτική ικανότητα, καθώς ο ελεγκτής πρέπει να χρησιμοποιήσει την πληροφορία θέσης από τις συσκευές ανατροφοδότησης για να προσδιορίσει εάν βρίσκεται στο προκαθορισμένο σημείο ή κατά μήκος της επιθυμητής τροχιάς.

Η ακρίβεια συνεπώς είναι ένα μέτρο του ποσό καλά ένα ρομπότ μετακινείται στην απόλυτη θέση και προσανατολισμό της διδαγμένης τοποθέτησης κάθε φορά που του ζητείται, ενώ η επαναληψιμότητα μετράει το πόσο καλά το ρομπότ επιστρέφει στη διδαγμένη θέση κάθε φορά. Η ακρίβεια είναι μέτρο της θεωρητικής τοποθέτησης η τροχιάς, ενώ η επαναληψιμότητα είναι μέτρο της σχετικής τοποθέτησης ή τροχιάς. Διάφορα σενάρια απόδοσης ενός ρομπότ ως προς την ακρίβεια και την επαναληψιμότητά του, απεικονίζονται στο σχήμα 4.11.

Όταν ένα ρομπότ ξεκινάει τη λειτουργία του, πραγματοποιεί τη βαθμονόμηση (calibration) ή αρχικοποίηση του (initialization), δηλαδή μετακινεί όλες τις αρθρώσεις του σε τέτοια θέση ώστε οι ενδείξεις σε όλους τους κωδικοποιητές να έχουν κάποια τιμή αναφοράς. Όταν δίνεται η εντολή μετακίνησης του ρομπότ σε μία συγκεκριμένη θέση, επιλύονται από τον ελεγκτή οι αντίστροφες κινηματικές εξισώσεις και προσδιορίζονται οι απαραίτητες μετατοπίσεις κάθε άρθρωσης, οι οποίες αντιστοιχούν σε μία συγκεκριμένη λέξη για κάθε κωδικοποιητή.



Σχήμα 4.11: (α) Καλή Ακρίβεια και Επαναληψιμότητα, (β) Κακή Ακρίβεια και Καλή Επαναληψιμότητα, (γ) Κακή Ακρίβεια και Επαναληψιμότητα.

Στη συνέχεια ο ελεγκτής παράγει τα κατάλληλα σήματα για τον κινητήρα κάθε άρθρωσης ώστε ο αντίστοιχος κωδικοποιητής να βρεθεί στη ζητούμενη θέση. Οι περισσότερες δοκιμές απόδοσης που έχουν αναπτυχθεί για βιομηχανικά ρομπότ απορούν να σχεδιασθούν για να μετρούν τη συμπεριφορά είτε για κίνηση από σημείο -σε- σημείο είτε για συνεχή τροχιά. Οι δοκιμές από σημείο-σε-σημείο μετρούν παραμέτρους όπως και ημιστατική επαναληψιμότητα, η ημιστατική ακρίβεια και η δυναμική ευστάθεια. Οι δοκιμή συνεχούς τροχιάς μετρούν παραμέτρους όπως η κινηματική επαναληψιμότητα και η κινηματική ακρίβεια. Κάθε τύπος δοκιμής θέτει διαφορετικές απαιτήσεις στο δοκιμαστικό εξοπλισμό. Συστήνονται οι ακόλουθες γενικές κατευθύνσεις:

1. Η διακριτική ικανότητα των οργάνων μέτρησης πρέπει να είναι τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους μικρότερη από την τιμή που πρόκειται να μετρηθεί.
2. Η διαδικασία και τα όργανα μέτρησης γενικά μπορούν να επηρεάσουν τη μέτρηση κάποιων δεικτών απόδοσης. Μετρήσεις χωρίς άμεση επαφή (π.χ. λέιζερ, μετρητές προσέγγισης, συστήματα τεχνητής όρασης) προτιμώνται από τις μετρήσεις με επαφή. Οι μετρητές επαφής έχουν μία τάση να ολισθαίνουν με την πάροδο του χρόνου εξαιτίας δυνάμεων επαφής που προκαλούνται από το ρομπότ κατά τη διάρκεια κάθε μέτρησης. Επίσης αντιπροσωπεύουν μεγαλύτερο κόστος επένδυσης όταν συνδέονται με υπολογιστές για εκτίμηση δεδομένων σε πραγματικό χρόνο.
3. Η βάση πάνω στην οποία είναι τοποθετημένο το ρομπότ πρέπει να είναι σταθερή. Οποιαδήποτε μετατόπιση της βάσης κατά τη διάρκεια της μέτρησης θα εμφανισθεί σαν μετατόπιση του ρομπότ. Το φαινόμενο

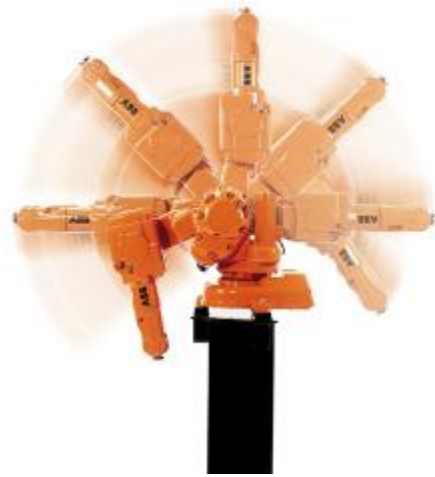
αυτό ενισχύεται κατά τη διάρκεια εφαρμογής δυναμικών Φορτίων και ιδιαίτερα όταν ο βραχίονας βρίσκεται σε πλήρη έκταση και κρατάει πλήρες φορτίο.

4. Πρέπει να γίνεται προσπάθεια μεταβολής μίας μόνο παραμέτρου ελέγχου κάθε φορά για την παρατήρηση κάποιου μεγέθους. Οι δείκτες απόδοσης όπως η επαναληψιμότητα εξαρτώνται από παραμέτρους όπως η ταχύτητα, ο χρόνος σταθεροποίησης (settling time), η θερμοκρασία του ρομπότ και του περιβάλλοντος χώρου, το φορτίο και ο βαθμός έκτασης του βραχίονα. Εάν πολλές από αυτές τις παραμέτρους μεταβληθούν ταυτόχρονα, καθίσταται δύσκολο να απομονωθούν και να αποδοθούν τα αποτελέσματα της μέτρησης.
5. Ο εξοπλισμός των δοκιμών πρέπει να είναι αμετάβλητος ως προς το χρόνο και τη θερμοκρασία. Πολλές παράμετροι απόδοσης δοκιμάζονται για παρατεταμένες χρονικές περιόδους. Είναι απαραίτητο ο δοκιμαστικός εξοπλισμός να παραμένει σταθερός καθ' όλη τη διάρκεια των δοκιμών. Για το λόγο αυτό, συχνή επαναβαθμονόμηση (recalibration) του εξοπλισμού μπορεί να είναι απαραίτητη.

Επίσης, πρέπει να είναι κανείς προσεκτικός όταν δοκιμάζει και προγραμματίζει το ρομπότ, ειδικά κοντά σε σημεία ιδιομορφίας (singular points), και όλα τα προληπτικά μέτρα για την ασφάλεια πρέπει να λαμβάνονται. Οι μηχανικοί των δοκιμών δεν πρέπει να βρίσκονται μέσα στο χώρο πρόσβασης του ρομπότ, ούτε μεταξύ του ρομπότ και οποιουδήποτε άλλου αντικειμένου όταν το ρομπότ βρίσκεται σε λειτουργία.





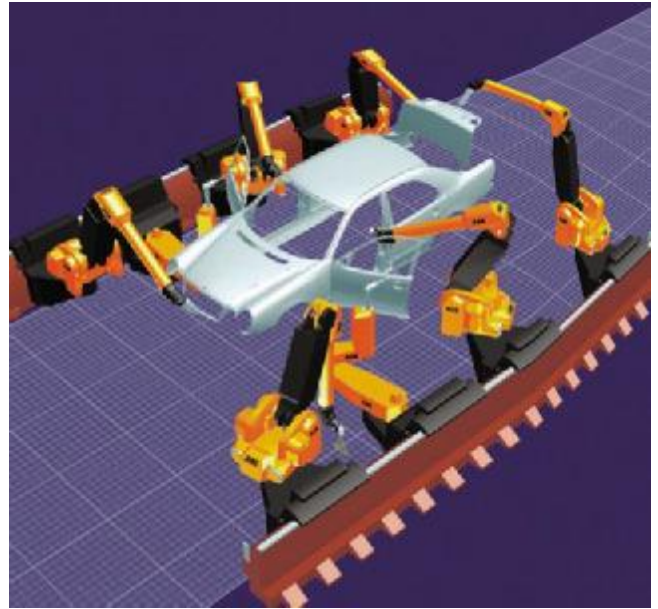
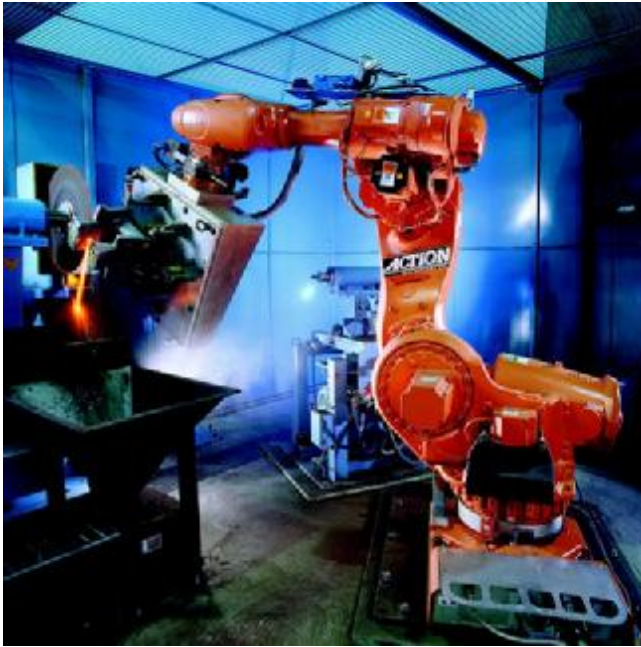






Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάζονται διάφορα μοντέλα ρομπότ, των εταιριών Fanuc και ABB.









Στις ανωτέρω εικόνες παρουσιάζονται ρομπότ σε συνθήκες παραγωγής, παλετοποίηση, βαφή αυτοκίνητων, ηλεκτροσυγκολλήσεις, παρασκευή τροφίμων, μεταφορές κ.α.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5⁰

ΤΑ ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ

5.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις κυριότερες εφαρμογές των ρομπότ ήταν και εξακολουθεί να είναι η αυτόματη συγκόλληση σημείων. Αυτό δεν είναι επειδή είναι μια απλή διαδικασία, αντιθέτως είναι αρκετά σύνθετη. Εντούτοις, είναι ένα καλό παράδειγμα μιας κόστο-δικαιολογημένης εφαρμογής που ανακουφίζει επίσης τους ανθρώπους από μια κουραστική και δύσκολη εργασία. Επιπλέον, οι αυτοκινητοβιομηχανίες σε όλο τον κόσμο ένωσαν τις δυνάμεις τους με τους κατασκευαστές ρομπότ για να βελτιώσουν και να προωθήσουν αυτόν τον τομέα εφαρμογής. Παραδοσιακά, τα μεγάλα και βαριά κομμάτια των αυτοκινήτων που κρατιόντουσαν μαζί από σφικτήρες, συγκολλούνταν πρόχειρα από τους χειριστές χρησιμοποιώντας πολύπλοκα πιστολέτα συγκόλλησης και έπειτα συγκολλούνταν τα σημεία επίσης χειροκίνητα.

Το 1966 έγιναν τα πρώτα βήματα για τη χρησιμοποίηση ενός ρομπότ που θα καθοδηγεί τα πιστολέτα συγκόλλησης και για το συνδυασμό του έλεγχου του ρομπότ μαζί με αυτόν του πιστολέτου. Το 1969 η General Motors στις Ηνωμένες Πολιτείες εγκατέστησε 26 ρομπότ της Unimate σε μια γραμμή συγκόλλησης μελών αυτοκινήτων. Έπειτα το 1970 η Daimler-Benz στην Ευρώπη χρησιμοποίησε τα ρομπότ της Unimate για πλευρική συγκόλληση σημείων. Από τότε η χρησιμοποίηση των ρομπότ στη συγκόλληση σημείων έχει ανθήσει και προς το τέλος του 1982 αντιστοιχούσε στο 25% όλων των ρομποτικών εφαρμογών στην Ιαπωνία και περισσότερο από 30% όλων των ρομποτικών εφαρμογών στις Ηνωμένες Πολιτείες.

Τα ρομπότ συγκόλλησης σημείων απασχολούνται σε τρεις βάρδιες (με την τρίτη αφιερωμένη εξ' ολοκλήρου στη συντήρηση της συνολικής γραμμής παραγωγής), και παράγουν 80 και μερικές φορές περισσότερα από 150

αυτοκίνητα ανά ώρα. Όλοι οι σημαντικοί κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν τα ρομπότ για τη συγκόλληση σημείων λόγω της ταχύτητας, της ακρίβειας και της αξιοπιστίας τους. Η επαναλαμβανόμενη συνέπεια στην ακρίβεια του καθορισμού του σημείου που τα ρομπότ συγκόλλησης σημείων μπορούν να επιτύχουν, δίνουν ένα προϊόν πολύ καλύτερης ποιότητας από αυτό της χειρονακτικής λειτουργίας. Σε μερικές περιπτώσεις αυτό μπορεί να επιτευχθεί καλύτερα με τη συγκόλληση λιγότερων σημείων σε περιοχές που μπορούν να ελεγχθούν ακριβέστερα.

Το αντικείμενο αυτού του κεφαλαίου είναι να εξηγήσει την λειτουργία συγκόλλησης σημείων, τα χαρακτηριστικά των ρομπότ συγκόλλησης σημείων και τα θέματα που τα λαμβάνουμε ιδιαίτερωσ υπόψιν στον σχεδιασμό της εφαρμογής συγκόλλησης σημείων των ρομπότ.

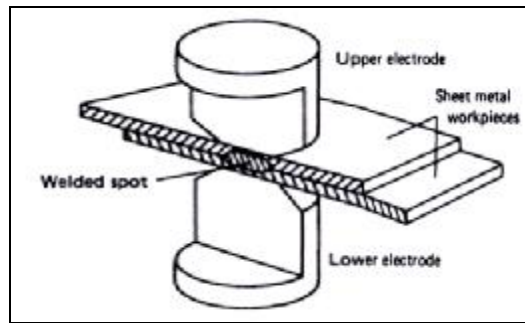
5.2. Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ

Συγκόλληση είναι μια διαδικασία κατά την οποία ενώνουμε μέταλλα κολλώντας τα με τήξη. Αυτό διακρίνεται από τη συγκόλληση ορείχαλκο, η οποία ενώνει τα μέταλλα με προσκόλληση. Στη συγκόλληση σημείων φύλλα μετάλλου ενώνονται από μια σειρά από σημεία σύνδεσης (ή αρθρώσεις) ,τα σημεία, που θερμότητα παραγόμενη από ένα έντονο ηλεκτρικό φορτίο προκαλεί τήξη (σχήμα 5.1).

Τρεις παράγοντες είναι κρίσιμοι για την επιτυχή συγκόλληση σημείων:

1. Η πίεση μεταξύ των ηλεκτροδίων.
2. Το επίπεδο του φορτίου ρεύματος.
3. Ο χρόνος συγκόλλησης.

Η πίεση που ασκείται από τα ηλεκτρόδια στις επιφάνειες καθορίζεται από την αντίσταση του υλικού που πρόκειται να συγκολληθεί. Με μεγάλη πίεση το κενό αέρος ελαχιστοποιείται, η αντίσταση μειώνεται και υψηλότερο φορτίο ρεύματος απαιτείται για να παραχθεί η θερμότητα για την τήξη. Με ανεπαρκή πίεση η αντίσταση είναι υψηλότερη και το σημείο μπορεί να καεί εξαιτίας της υπερβολικής θερμότητας. Κατά συνέπεια, υπάρχει μια βέλτιστη σχέση μεταξύ των τριών παραγόντων, ανάλογα με το υλικό των κομματιών προς κατεργασία και του πάχους τους.



Σχήμα 5.1. Ρύθμιση των ηλεκτροδίων και των κομματιών προς κατεργασία στη συγκόλληση σημείων αντίστασης.

5.2.1. Ακολουθία συγκόλλησης

Μια τυπική διαδικασία συγκόλλησης σημείων περιλαμβάνει τα ακόλουθα τέσσερα βήματα:

ΒΗΜΑ 1^ο : Πιέζουμε τις δύο επιφάνειες με τα ηλεκτρόδια.

ΒΗΜΑ 2^ο : Συγκολλούμε, ανάβοντας το ρεύμα για την απαιτούμενη διάρκεια, παράγοντας έτσι θερμότητα στο σημείο.

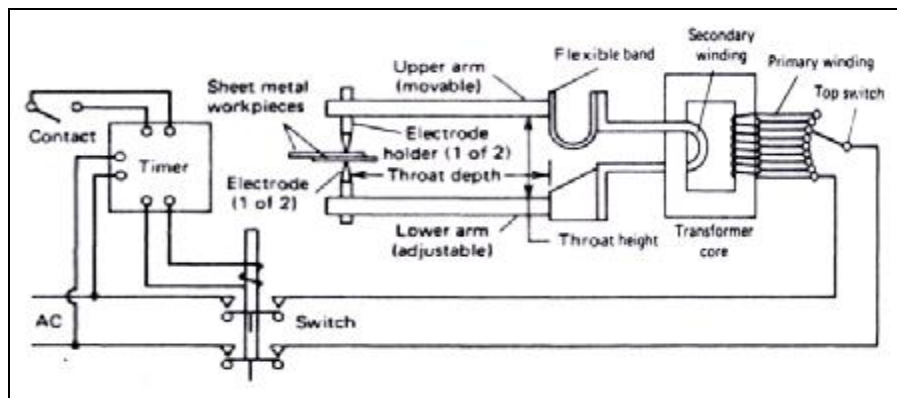
ΒΗΜΑ 3^ο : Κρατάμε τα ηλεκτρόδια κλειστά κατά τη διάρκεια που απαιτείται για να κρυώσει το σημείο, όπου παράλληλα συνήθως κρύο νερό διαχέεται μέσα από τα ηλεκτρόδια.

ΒΗΜΑ 4^ο : Αφήνουμε την λαβή των ηλεκτροδίων και σταματάμε έτσι την διαδικασία.

Η μηχανή συγκόλλησης σημείων έχει προγραμματιστεί ώστε να επαναλαμβάνει αυτόματα την ακολουθία με ακρίβεια και ο έλεγχος καθορίζεται ανάλογα με τις όποιες συνθήκες συγκολλήσεως. Τα ηλεκτρονικά μέρη μιας ηλεκτροπύλης απεικονίζονται σχήμα 5.2.

Τα πιο κατάλληλα υλικά για τη συγκόλληση σημείων είναι τα άλατα δισθενούς σιδήρου-είναι ηλεκτρικοί αγωγοί και δεν έχουν χαμηλή αντίσταση (όπως το αλουμίνιο και ο χαλκός), που απαιτεί υπερβολικά μεγάλο ρεύμα. Τα προς κατεργασία κομμάτια που συναντώνται πιο συχνά αποτελούνται από τον

ψυχρής έλασης χαμηλού σε άνθρακα χάλυβα αλλά και ο υψηλής αντοχής χάλυβας και το γαλβανισμένο υλικό είναι επίσης κοινά. Το πάχος διαφέρει από 0,6 έως 1,0mm. Τα κομμάτια είναι συνήθως λειασμένα και χωρίς κενά μεταξύ τους, ώστε να διευκολύνουν τη διαδικασία συγκόλλησης. Οι πιο χαρακτηριστικοί τομείς εφαρμογής της συγκόλλησης σημείων είναι η κατασκευή αμαξωμάτων των αυτοκινήτων, οικιακών συσκευών, επίπλων από φύλλα σιδήρου, όπως επίσης και άλλες κατασκευές από φύλλα σιδήρου.



Σχήμα 5.2. Ηλεκτρικά μέρη μιας ηλεκτροπνότητας συγκόλλησης σημείων.

5.3. ΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΘΟΔΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ

Οι γραμμές συγκόλλησης σημείων έχουν αλλάξει πολλές φορές από την αρχική τους σύλληψη. Οι πρότερες γραμμές συναρμολόγησης αποτελούνταν από έναν μακρύ μεταφορέα πάνω στον οποίο τα κομμάτια συναρμολογούνταν με συγκόλληση σημείων. Οι εργάτες χρησιμοποιούσαν χειροκίνητα υπερυψωμένα σύνολα συγκόλλησης, όπου κάθε ένα εκτελούσε συγκεκριμένη εργασία. Το σύστημα αυτό χρησιμοποιείται ακόμα και σήμερα σε γραμμές χαμηλής παραγωγής και έχει τα πλεονεκτήματα της υψηλής ευελιξίας και της προσαρμοστικότητας. Οι αλλαγές στο μοντέλο είναι δυνατές χωρίς υπερβολικά έξοδα.

Η έρευνα για βελτιωμένη παραγωγικότητα επέφερε τη χρήση των μηχανών συγκόλλησης πολλαπλών σημείων και των γραμμών μεταφοράς.

Η βασική αρχή συνίσταται στη μεταφορά των κομματιών που πρόκειται να συναρμολογηθούν μέσα από μια σειρά από αυτόματους σταθμούς συγκόλλησης, που ο καθένας έχει ένα ηλεκτρόδιο για μια συγκεκριμένη συγκόλληση σημείου. Μια γραμμή παραγωγής μπορεί να έχει αρκετές εκατοντάδες ηλεκτρόδια. Αυτές οι αυτόματες γραμμές ήταν ιδιαίτερα άκαμπτες και το κύριο μειονέκτημα τους ήταν ο κίνδυνος της μη απόσβεσης των ειδών κατασκευής, αν το μοντέλο για το οποίο είχαν σχεδιαστεί δεν έκανε ικανοποιητικές πωλήσεις.

Με την εμφάνιση των βιομηχανικών υπολογιστών και των ρομπότ στις γραμμές συναρμολόγησης, ήταν δυνατό να επιστρέψουμε στην αρχική ευελιξία που προσέφεραν τα πιστολέτα συγκόλλησης, αλλά με τα πλεονεκτήματα της αυξημένης ακρίβειας και ποιότητας παραγωγής. Οι εγκαταστάσεις της παραγωγής είναι σε θέση τώρα να προσαρμόσουν τρεις ή τέσσερις διαφορετικές μορφές αμαξωμάτων και σε συνεργασία με τον πολυεπίπεδο έλεγχο των υπολογιστών διαχείρισης, να συντονίσουν όλα τα στάδια της παραγωγής.

5.4. ΔΟΜΗ ΚΑΙ ΔΙΑΡΘΡΩΣΗ ΕΝΟΣ ΡΟΜΠΟΤ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ

Ένα ρομπότ συγκόλλησης σημείων αποτελείται από τρία κύρια μέρη:

1. Μια μηχανική συναρμολόγηση που αποτελείται από το σώμα, το βραχίονα και τον καρπό του ρομπότ.
2. Ένα εργαλείο συγκόλλησης, συνήθως ένα πιστολέτο συγκόλλησης.
3. Μια μονάδα ελέγχου.

5.4.1. Μηχανική συναρμολόγηση

Αυτή είναι μια αρθρωτή μηχανική κατασκευή που έχει τις ακόλουθες λειτουργίες:

- Να καθορίσει τα όρια της εκτέλεσης της εργασίας του ρομπότ-του εργαλείου που φέρει-σε κάθε σημείο την περιοχής ασχολίας του

- Να καθοδηγήσει το εργαλείο προς κάθε ορισμένη από τα δεδομένα κατεύθυνση, ώστε να εκτελέσει την απαραίτητη εργασία.

Κριτήρια απόδοσης

Όταν πρέπει να γίνει επιλογή ανάμεσα σε αρκετά ρομπότ για μια δεδομένη εφαρμογή, είναι απαραίτητη η σύγκριση των μηχανικών αποδόσεων τους. Αυτή περιλαμβάνει:

1. Τους βαθμούς ελευθερίας ή των αριθμό των αξόνων.
2. Τη μέγιστη πίεση κατά μήκος κάθε άξονα και το εύρος της κίνησης.
3. Τη προκύπτουσα μέγιστη ταχύτητα.
4. Το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο με τη μέγιστη ταχύτητα για μια δεδομένη απόσταση, μεταξύ του κέντρου βαρύτητας και του σημείο εφαρμογής.
5. Τον όγκο που καταλαμβάνεται όγκος που παράγεται από τη μετατόπιση απ' το σημείο λειτουργίας (ηλεκτρόδια πιστολέτου συγκόλλησης).
6. Την ακρίβεια προσδιορισμού θέσης.
7. Την επαναληψιμότητα.

Ο πίνακας 5.1 δίνει τις αριθμητικές τιμές γι' αυτά και για άλλα κριτήρια των βιομηχανικών ρομπότ συγκόλλησης σημείων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 5.1. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΕΣ ΣΕΙΡΕΣ ΤΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΑΠΑΙΤΗΣΕΩΝ ΓΙΑ ΤΑ ΡΟΜΠΟΤ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ

Φορτίο εργαλείων	40-100kg
Ροπή	120-240Nm
Ταχύτητα μετατοπίσεων	
Γραμμική	0.5-1.5m/sec
Γωνιακή	60-180βαθμοί/sec
Ακρίβεια	±0.5 με ±1mm
Επαναληψιμότητα	1,5 με 2mm

5.4.2. Το εργαλείο συγκόλλησης (πιστολέτο)

Το εργαλείο συγκόλλησης θεωρείται ως ένα συγκολλητικό πιστολέτο που αποτελείται από ένα μετασχηματιστή, ένα δευτερεύον κύκλωμα και ένα στοιχείο πίεσης.

Όταν οι γραμμές συγκόλλησης σημείων είναι ευθείες και δεν παρουσιάζουν κανένα πρόβλημα πρόσβασης, ο εφικτός ρυθμός είναι 60 σημεία ανά λεπτό. Συγκολλώντας δύο κομμάτια από φύλλο σιδήρου πάχους 1mm το καθένα, με αυτόν τον ρυθμό απαιτείται ένας ηλεκτρονικός παλμός 10Hz της τάξης των 10kA. Η δύναμη συγκόλλησης που εφαρμόζεται από τα ηλεκτρόδια για να διατηρηθεί η πίεση πρέπει να είναι περίπου 3000-3500N. Η εκτίμηση της ισχύος του μετασχηματιστή συγκόλλησης και της δευτερεύουσας τάσης θα εξαρτηθεί από τη σύνθετη αντίσταση του δευτερεύοντος κυκλώματος.

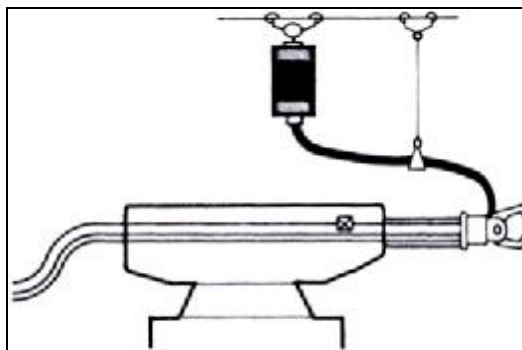
Αυτές οι ηλεκτρικές εκτιμήσεις, μαζί με το πρόβλημα της δυνατότητας πρόσβασης μπορούν να λυθούν με μια από τις τρεις ακόλουθες διαμορφώσεις :

1. Υπερυψωμένος μετασχηματιστής.
2. Αγκιστρωμένος μετασχηματιστής.
3. Ενσωματωμένος μετασχηματιστής.

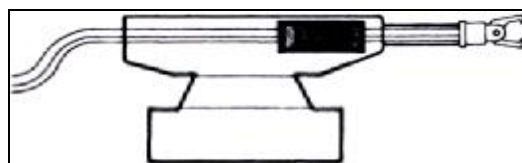
5.4.2.1 Πιστολέτα συγκόλλησης με υπερυψωμένους μετασχηματιστές

Ο μετασχηματιστής συγκόλλησης είναι υπερυψωμένος πάνω από το ρομπότ και τοποθετείται σε μια ράγα, ώστε να ακολουθεί τις μετακινήσεις του καρπού του ρομπότ, χωρίς υπερβολική κίνηση μεταξύ των καλωδίων που συνδέουν το πιστολέτο συγκόλλησης με το μετασχηματιστή. Το μήκος αυτών των καλωδίων είναι επαρκές για τις μετατοπίσεις και τις περιστροφές του καρπού και συνήθως συγκρατώνται από μια ισοροπιστική συσκευή, η οποία φέρει μερικό από το βάρος. Οι κινήσεις των ρομπότ, ειδικά οι περιστροφές του καρπού, καθιστούν τα φορτία από εφελκυσμό και στρέψη αναπόφευκτα στο πιστολέτο συγκόλλησης. Αυτά τα φορτία διαβιβάζονται στον καρπό του ρομπότ.

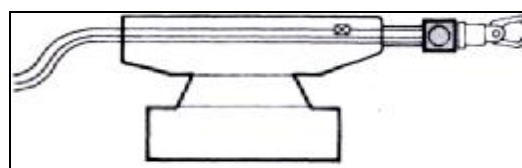
Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, η επαναλαμβανόμενη εφαρμογή 10kA ρεύματος συγκόλλησης παράγει έντονα ηλεκτροδυναμικά φορτία, που μεταφέρονται στο πιστολέτο και στο μηχανισμό του καρπού.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.3. Τρεις διαφορετικές συγκόλλησης σημείων αντίστασης στα ρομπότ
(α) Υπερυψωμένος μετασχηματιστής με το δευτερεύον καλώδιο
(β) Αγκιστρωμένος μετασχηματιστής με ένα κοντό δευτερεύον καλώδιο
(γ) Μετασχηματιστής που ενσωματώνεται στο πιστολέτο συγκόλλησης.

5.4.2.2 Αγκιστρωμένοι μετασχηματιστές

Μια βελτίωση της προηγούμενης διαμόρφωσης αποτελεί η τοποθέτηση (αγκίστρωση) του μετασχηματιστή συγκόλλησης πάνω στο ρομπότ, όσο το δυνατόν πιο κοντά στο πιστολέτο συγκόλλησης. Ο σχεδιασμός του ρομπότ πρέπει να είναι συμβατός με αυτήν την προσέγγιση-είναι γενικά εύκολο να επιτύχει σε ρομπότ με καρτεσιανές συντεταγμένες και είναι επίσης δυνατό σε ρομπότ με σφαιρικές συντεταγμένες.

Όταν ο μετασχηματιστής μπορεί να τοποθετηθεί στο βραχίονα, το μήκος του δευτερεύοντος καλωδίου μειώνεται σημαντικά. Είναι ακόμα δυνατό να συνδεθούν οι δευτερεύουσες εξαγωγές του μετασχηματιστή με τη βοήθεια των άκαμπτων αγωγών, κοντά στον καρπό. Ένας τέτοιος μετασχηματιστής είναι βαρύς και η υπερφόρτωση καθιστά απαραίτητη τη μείωση της ταχύτητας του ρομπότ.

Σε μερικούς τύπους ρομπότ με πολικές συντεταγμένες και αρθρωτό βραχίονα, ο μετασχηματιστής χρησιμοποιείται ως αντίβαρο για να ισορροπήσει το βάρος του πιστολέτου και του καλωδίου στην άκρη του βραχίονα. Επίσης υπάρχουν ορισμένα σχέδια ρομπότ όπου ο μετασχηματιστής τοποθετείται μέσα στο βραχίονα, όπως και το δευτερεύον καλώδιο.

5.4.2.3 Πιστολέτα συγκόλλησης με ενσωματωμένους μετασχηματιστές

Μια ελκυστική λύση, που δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλες τις περιπτώσεις, είναι να χρησιμοποιηθεί ένα πιστολέτο συγκόλλησης συνδυάζοντάς το με έναν ενσωματωμένο μετασχηματιστή ειδικά σχεδιασμένο γι' αυτό. Το κύριο πλεονέκτημα είναι η αποβολή των βαριών δευτερευόντων καλωδίων, που αντικαθίστανται με κύρια καλώδια μικρότερης διατομής. Η δευτερεύουσα σύνθετη αντίσταση γίνεται πολύ χαμηλότερη δεδομένου ότι περιορίζεται στο κενό του πιστολέτου και συνεπώς το μέγεθος του μετασχηματιστή μειώνεται. Παραδείγματος χάριν, ένας μετασχηματιστής 30kVA είναι όγκου 325 x 135 x 125mm και έχει μια μάζα 18kg. Ο

μετασχηματιστής που ενσωματώνεται πλήρως στο πιστολέτο συγκόλλησης, είναι άμεσα συνδεδεμένος με το ενεργό μέρος του καρπού, έτσι ώστε το κέντρο βάρους του να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντά σε αυτό, ώστε να μειώνει στο ελάχιστο το χρόνο της αδράνειας.

Αυτό το σύστημα έχει δύο μειονεκτήματα:

1. Το πιστολέτο συγκόλλησης είναι ογκωδέστερο. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε δυσκολίες διείσδυσης κατά την πραγματοποίηση ορισμένων συγκολλήσεων, όπου η πρόσβαση είναι περιορισμένη.
2. Μια εμφανώς μεγαλύτερη μάζα. Ο μετασχηματιστής διπλασιάζει τη μάζα του πιστολέτου. Ένα βάρος 40kg είναι αποδεκτό, για τιμές μεγαλύτερες από 50kg αυτό μπορεί να γίνει πρόβλημα για τα περισσότερα ρομπότ.

Περισσότερο και από τα στατικά φορτία, είναι το φορτίο που παράγεται στο ενεργό μέρος του καρπού του ρομπότ, που μπορεί να γίνει υπερβολικό. Πράγματι, τα ρομπότ συγκόλλησης σημείων πρέπει να μπορούν να αντέξουν μια ροπή τουλάχιστον 120Nm. Αυτό αντιστοιχεί σε ένα πιστολέτο με βάρος 50kg, του οποίου το κέντρο βάρους είναι 240mm από τον άξονα του καρπού. Πολλά ρομπότ παράγουν ροπές που υπερβαίνουν 200Nm και έτσι τους ταιριάζει καλύτερα να χειρίζονται πιστολέτα συγκόλλησης με ενσωματωμένους μετασχηματιστές.

5.4.3. Μονάδα ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου ενός ρομπότ συγκόλλησης σημείων εκπληρώνει τρεις ουσιαστικούς στόχους:

- Έλεγχος ενεργοποιητή
- Προγραμματισμός
- Έλεγχος ακολουθίας

Ο έλεγχος ενεργοποιητή και ο μερικός προγραμματισμός είναι χαρακτηριστικά συνήθη στις πιο πολλές ρομποτικές εφαρμογές-είναι η προσθήκη ελέγχου συγκεκριμένης ακολουθίας και της διασύνδεσής της στη διαδικασία παραγωγής, που είναι ιδιαίτερη στη ρομποτική συγκόλληση σημείων. Μέτρα λαμβάνονται κανονικά στο σύστημα ελέγχου, ώστε να

εξασφαλίσουν την ευελιξία, με πρόσβαση από ανώτερου επιπέδου υπολογιστή, που συντονίζεται με την αγορά των υλικών, τον έλεγχο αποθεμάτων και τις παραγγελίες των πελατών. Ο τύπος των παραγόμενων μοντέλων και η ταχύτητα των γραμμών ρυθμίζονται αναλόγως.

Ο έλεγχος διεργασίας στη συγκόλληση περιλαμβάνει έναν ελεγκτή μετατόπισης φάσης εναλλασσόμενου ρεύματος και υπολογισμού του αριθμού περιόδων χρόνου συγκόλλησης. Αυτό μπορεί να πραγματοποιηθεί από ένα συμβατικό χρονόμετρο ελέγχου της συγκόλλησης, αλλά μια αποτελεσματικότερη (και ευέλικτη) μέθοδος είναι να ενσωματωθεί ο έλεγχος διεργασίας σε έναν ολοκληρωμένο έλεγχο, που θα περιλαμβάνει τον προσδιορισμό θέσης του ρομπότ και τις προσαρμοσμένες παραμετρικές πληροφορίες. Αυτό το σύστημα κάνει αποδοτική την χρήση του στον σε πραγματικό χρόνο έλεγχο του συστήματος, δεδομένου ότι η διαδικασία συγκόλλησης πραγματοποιείται όταν οι άξονες του ρομπότ είναι στατικοί. Η ενοποίηση όλων των λειτουργιών ελέγχου αποβάλλει τον πολλαπλασιασμό των διασυνδέσεων, πράγμα που είναι ορατό στα συστήματα που αποτελούνται από τους ελεγκτές ρομπότ, τους ελεγκτές προγραμματιζόμενης λογικής, τα χρονόμετρα συγκόλλησης και τις συνδέσεις επικοινωνιών. Η διασύνδεση απλοποιείται πολύ.

Η ορθότητα των συγκολλήσεων σημείων μπορεί να ελεγχθεί ηλεκτρονικά με τη μέθοδο δυναμικής αντίστασης. Οι πληροφορίες που συγκεντρώνονται από αυτήν εξυπηρετούν δύο ουσιαστικούς σκοπούς. Κατ' αρχάς, εάν διαγνωστεί ότι η συγκόλληση έχει ανεπαρκή διείδυση, τότε τα ρομπότ επαναληπτικών σημείων (respot/robot) πιο κάτω από τη γραμμή προσθέτουν σημεία γύρω από το ελαττωματικό σημείο και ο κεντρικός έλεγχος προειδοποιεί το προσωπικό για την πιθανότητα δυσλειτουργίας του πιστολέτου ή λάθους στην επιλογή των παραμέτρων. Δεύτερον, ο έλεγχος δυναμικής αντίστασης αποκαλύπτει εάν υπήρξε ικανοποιητική «έγγυση» στη συγκόλληση για να αναγκάσει τα ηλεκτρόδια να ενωθούν-στην αντίθετη η κεφαλή του ρομπότ δεν μπορεί να κινηθεί. Ταυτόχρονα, το άνοιγμα και οι θέσεις κλεισίματος του δευτερεύοντος κυκλώματος πιστολέτων συγκόλλησης ελέγχονται για να αποτρέψουν τους ελεγκτές αξόνων από την καθοδήγηση πιστολέτου στην επόμενη θέση συγκόλλησης. Άμεση επέμβαση κρίνεται απαραίτητη.

Η συγκέντρωση του ελέγχου της ακολουθίας συγκόλλησης και των αξόνων είναι απαραίτητη για το ευπροσάρμοστο του ελέγχου του καθορισμού των παραμέτρων. Καθώς τα διάφορα μοντέλα προχωρούν στη γραμμή, διαφορετικές ταξινομήσεις συγκολλήσεων και πάχη φύλλων μετάλλων αντιμετωπίζονται. Οι παράμετροι συγκόλλησης πρέπει να προγραμματιστούν για να προσαρμοστούν σε αυτό.

Ο συνδυασμός του γενικού ελέγχου της λογικής των γραμμών μαζί με τον έλεγχο συγκόλλησης, επιτρέπει την αλληλοασφάλιση της ισχύος των πιστολέτων συγκόλλησης. Σε μερικές περιπτώσεις, η αλληλοασφάλιση της ισχύος εξασφαλίζει σημαντική αποταμίευση ρεύματος στο σύστημα κατά μήκος της γραμμής. Σε άλλες περιπτώσεις, οι συγκολλήσεις καλύτερης ποιότητας παράγονται, επειδή το δίκτυο είναι σε θέση να δίνει το απαιτούμενο ρεύμα σε κάθε πιστολέτο.

Η υποβοηθούμενη με υπολογιστή συντήρηση είναι απαραίτητη όταν περιλαμβάνονται πολλά ρομπότ. Η φθορά των ηλεκτροδίων και η αντικατάστασή τους είναι ένα συνηθισμένο πρόβλημα. Δεδομένου ότι τα ηλεκτρόδια πλαταίνουν με τη χρήση, το ρεύμα μπορεί να προγραμματιστεί για να αυξάνει βαθμιαία, ώστε να διατηρείται μια σταθερή πυκνότητα ρεύματος στο σημείο συγκόλλησης. Έτσι λοιπόν η διάρκεια ζωής των ηλεκτροδίων αυξάνεται. Επίσης το σύστημα ελέγχου ενημερώνει το προσωπικό συντήρησης όταν κάποια συγκεκριμένα ηλεκτρόδια χρήζουν αντικατάστασης. Οι χρόνοι μετατοπίσεων των αξόνων παρακολουθούνται και συγκρίνονται με τις προκαθορισμένες τιμές, ώστε να προειδοποιήσουν για πιθανή μηχανική φθορά.

5.5. ΣΧΕΔΙΑΖΟΝΤΑΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΕΣ ΓΡΑΜΜΕΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΣΗΜΕΙΟΥ

Ο σχεδιασμός μιας ρομποτικής γραμμής συγκόλλησης σημείων, για να ικανοποιήσει συγκεκριμένες ανάγκες παραγωγής ενός κατασκευαστή, απαιτεί λεπτομερείς έρευνες για τη βελτιστοποίηση της προτεινόμενης λύσης. Αυτό το κεφάλαιο εξετάζει συγκεκριμένα την συγκόλληση σημείων από ρομπότ και τις σχεδιαζόμενες εφαρμογές των.

Τα σχεδιαστικά στοιχεία από το προϊόν που κατασκευάζεται μπορούν να συγκεντρωθούν για να δώσουν μια πρώτη εκτίμηση των απαιτήσεων των εγκαταστάσεων. Αυτά περιλαμβάνουν τα εξής:

1. Τα κομμάτια που θα συναρμολογηθούν.
2. Τη γεωμετρική διαμόρφωση αυτών των κομματιών και του αντίστοιχου αριθμού σταθμών που απαιτείται.
3. Τη διανομή των συγκολλήσεων σημείων και του αριθμού ρομπότ που απαιτείται για την συγκόλληση.
4. Τον ρυθμό παραγωγής και τον αριθμό των γραμμών που απαιτούνται για να ικανοποιήσουν τις ανάγκες παραγωγής.
5. Τον επιθυμητό βαθμό ευλυγισίας.

Για την ολοκλήρωση του σχεδιασμού απαιτούνται πρόσθετες πληροφορίες όπως:

6. Τις βασικές αρχές σχετικά με τη μεταφορά και τον προσδιορισμό θέσης των συναρμολογηθέντων κομματιών.
7. Την τελική επιλογή του ρομπότ, του εξοπλισμού του και της εγκατάστασής του.
8. Την περιβάλλον και του διαθέσιμο χώρο.

Αυτές οι αποφάσεις είναι βασισμένες στο τελικό σχέδιο της γραμμής και μπορούν να επηρεαστούν σημαντικά από τις πολιτικές, κοινωνικές, και οικονομικές εκτιμήσεις. Υπό φυσιολογικές συνθήκες, διάφορα σχέδια προτείνονται, όπου η τελική επιλογή πρέπει να απεικονίσει τον καλύτερο δυνατό συμβιβασμό μεταξύ της τεχνολογίας και του κόστους.

5.5.1. Τα κομμάτια που πρέπει να συγκεντρωθούν

Το πρώτο βήμα σε ένα πρόγραμμα είναι να αναληφθεί μια λεπτομερής μελέτη των κομματιών που θα συναρμολογηθούν για λόγους ταξινόμησης. Η λειτουργική διαδικασία καθορίζεται από αυτήν την ταξινόμηση.

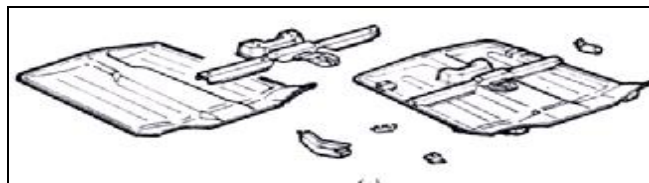
Στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας υπάρχουν πολυάριθμα παραδείγματα διάφορων μικρών ενισχυμένων κομματιών συγκολλούμενα σε ένα κύριο κομμάτι. Μια τέτοια συναρμολόγηση παρουσιάζεται στο σχήμα 5.4.

Υπερβολική φόρτωση και εξοπλισμός χειρισμού μικρών κομματιών πρέπει να προβλεφθεί σε αυτόν τον τύπο συναρμολόγησης. Ένα άλλο παράδειγμα αυτού του τύπου κατασκευής είναι ένας αναρτόμενος βραχίονας, εφοδιασμένος με προεξοχές για γάντζωμα των καλωδίων και ενισχυτικά ελάσματα.

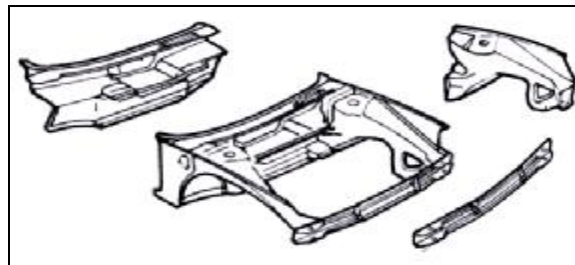
Μια δεύτερη ταξινόμηση είναι η συναρμολόγηση διάφορων μερών του ίδιου μεγέθους. Αυτά περιλαμβάνουν το μπροστινό μερών, που αποτελείται από τα διαφράγματα, την ποδιά, και τα διαγώνια μέλη θερμαντικών σωμάτων και το οπίσθιο πλαίσιο του πατώματος, που αποτελείται από τις επιμήκεις δοκούς και τα διαγώνια μέλη.

Μια τρίτη ταξινόμηση είναι η μέθοδος "toy tab", που η κατά προσέγγιση γεωμετρία επιτυγχάνεται με τη "μηχανική" ασφάλιση των υποσυναρμολογήσεων. Ένα παράδειγμα είναι το "body-in-white", που αποτελείται από το κάτω μέρος, τα πλαϊνά μέρη, τα στηρίγματα της οροφής και την οροφή.

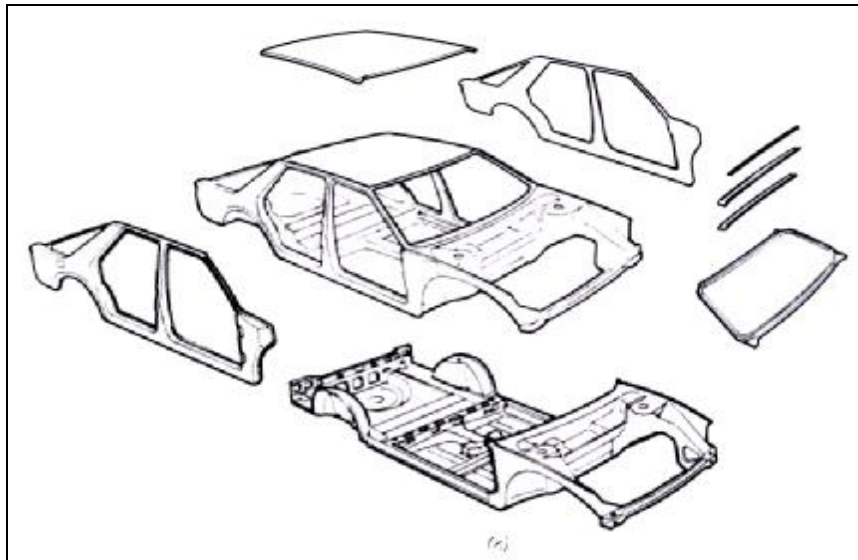
Μια παρόμοια ταξινόμηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε άλλους τομείς όπως στις οικιακές συσκευές και στα μεταλλικά έπιπλα.



(α)



(β)



(γ)

Σχήμα 5.4. Παραδείγματα συναρμολόγησης μεταλλικών φύλλων αυτοκινήτων
(α) Άκαμπτα τμήματα και εξαρτήματα τοποθετούνται στο πλαίσιο του πατώματος
(β) Συναρμολόγηση εμπρόςθιου τμήματος
(γ) τελική συναρμολόγηση του κάτω τμήματος, των πλευρικών κομματιών και της οροφής

5.5.2. Γεωμετρική διαμόρφωση

Οι γεωμετρικές αναφορές είναι σημαντικές ζώνες ενός κομματιού ή μιας μικρότερης συναρμολόγησης, που καθορίζουν τις θεωρητικές θέσεις των X , Ψ και Z διαστάσεων. Η συμμόρφωση με τις αναφορές των συστατικών στοιχείων μιας μικρότερης συναρμολόγησης, εγγυάται τη λειτουργία της ολοκληρωμένης συναρμολόγησης. Ο προσδιορισμός της θέσης αναφοράς είναι επομένως μια ουσιαστική λειτουργία της συναρμολόγησης. Εκτός από τις ενσωματωμένες συναρμολογήσεις (μια συναρμολόγηση και μια μικρότερη συναρμολόγηση, που έχουν ληφθεί βάση σχεδίου από μία προκαταρκτική συγκόλληση), όπου η γεωμετρία είναι ένα έμφυτο

στοιχείο, είναι απαραίτητο πριν από κάθε σχεδιασμό συναρμολόγησης να κάνουμε μία λεπτομερή ανάλυση της λειτουργίας αναφοράς. Τα γεωμετρικά σχέδια αυτού του είδους πρέπει να διαχειρίζονται σε συνεργασία με το χρήστη, είτε ο τελευταίος καθορίζει τις αναφορές και τις θέσεις, είτε ο κατασκευαστής των γραμμών συναρμολόγησης τις καθορίζει και τις εφαρμόζει με την έγκριση του χρήστη.

Οι κύριες αναφορές είναι εκείνες που πρέπει να διατηρηθούν σε όλη τη διαδικασία παραγωγής, από τη φάση της κοπής και μετά. Οι δευτερεύουσες αναφορές είναι εκείνες που χρησιμοποιούνται μόνο όταν συναρμολογείται η μονάδα. Το σχήμα 5.5 παρουσιάζει ένα δάπεδο αμαξώματος με τις αναφορές του. Οι αναφορές πρέπει να διαφυλάσσονται από μηχανικά στοιχεία για κάθε συναρμολόγηση.

Οι ορισμοί αναφοράς πρέπει να διατηρηθούν σε κάθε φάση εάν ολόκληρη η συναρμολόγηση δεν ολοκληρώνεται σε ένα μόνο στάδιο. Ο σταθμός ή οι σταθμοί καθορίζουν την γεωμετρική εξακρίβωση. Η θέση αυτών των αναφορών καθιστά δύσκολο για τα ρομπότ να φτάσουν στην περιοχή συγκόλλησης. Για τη συναρμολόγηση ενός αριθμού μικρότερων κομματιών πάνω σε ένα κύριο στοιχείο (ένα κύριο κομμάτι πάνω στο οποίο έχουν συγκολληθεί διάφοροι μικροί σφινγκτήρες), η πρόσβαση μπορεί να αποδειχθεί ιδιαίτερα προβληματική.

5.5.3. Διανομή της συγκόλλησης

Γενικά, οι παράμετροι σχετικά με τις συγκολλήσεις σημείων, όπως η ποσότητα, η θέση και η δύναμη, καθορίζονται από το σχεδιαστή παραγωγής. Αυτά τα στοιχεία προέρχονται από την έρευνα, τις μελέτες σχεδίου και τις δοκιμές που πραγματοποιούνται προηγουμένως κατά τη διάρκεια της φάσης προγραμματισμού και σχεδιασμού προϊόντων για τη σύνθεση, τη μορφή και την συναρμολόγηση.

5.5.3.1 Επιλογή σημείων συγκόλλησης

Στους σταθμούς γεωμετρικής διαμόρφωσης, είναι απαραίτητο να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα σχέδια σχετικά με τον αριθμό των σημείων που απαιτούνται για τη γεωμετρία της συναρμολόγησης και το σχετικό προσδιορισμό της θέσης του ρομποτικού πιστολέτου λαμβάνοντας υπόψη τα στοιχεία αναφοράς (σχήμα 5.6).

5.5.3.2 Λειτουργική διαδικασία

Η διάταξη με την οποία τα κομμάτια φορτώνονται κατά μήκος της γραμμής, πρέπει να προγραμματιστεί προσεκτικά για να επιτρέψει τη μέγιστη δυνατότητα πρόσβασης των εργαλείων συγκόλλησης μέχρι την ολοκλήρωση της συναρμολόγησης.

5.5.3.3 Ομαδοποίηση σημείων συγκόλλησης

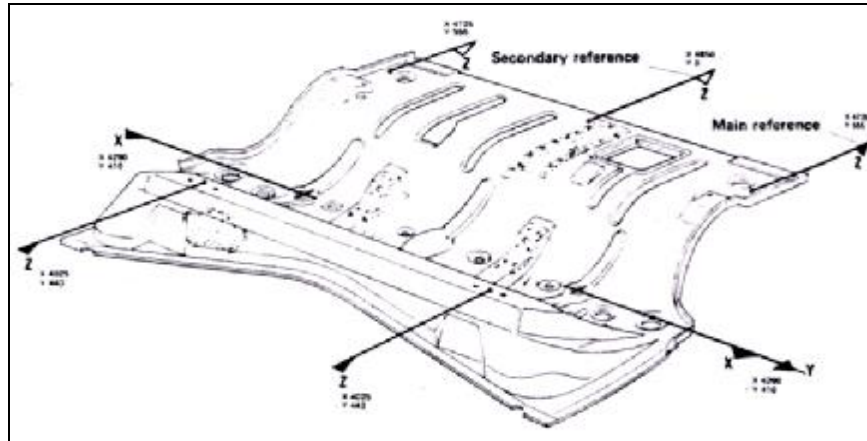
Σε αυτή τη φάση είναι απαραίτητο να καθοριστεί η ομαδοποίηση των σημείων συγκόλλησης, που μπορούν να συγκολληθούν από ένα μόνο στοιχείο συγκόλλησης. Ομοίως, μια πρώτη προσέγγιση πρέπει να γίνει για τους «βασικούς χρόνους» που απαιτούνται για την ένωση των διάφορων ομάδων συγκόλλησης, σαν συνάρτηση της θέσης τους στη συναρμολόγηση και των υπάρχοντων σχεδιαστικών στοιχείων.

5.5.3.4 Φάση σχεδιασμού πιστολέτου συγκόλλησης

Βάση της μέχρι τώρα έρευνας, ο ελάχιστος αριθμός και η διαμόρφωση των διάφορων στοιχείων συγκόλλησης απαραίτητων για αυτές τις συγκολλήσεις ή τις ομάδες συγκόλλησης, μπορούν να προβλεφθούν. Εάν ορισμένα σημεία είναι φυσικώς αδύνατο να συγκολληθούν, εξαιτίας των μεθόδων συγκόλλησης ή της συναρμολόγησης, αυτό θα γίνει εμφανές σ' αυτό το στάδιο της μελέτης.

5.5.4. Ρυθμός παραγωγής

Με βάση τη διαδικασία παραγωγής, ο ρυθμός παραγωγής υπαγορεύει το συνολικό σχεδιασμό και τα στοιχεία που συνθέτουν την γραμμή συναρμολόγησης. Στην αυτοκινητοβιομηχανία οι γραμμές κινούνται συνεχώς και τα ρομπότ πρέπει να ακολουθούν τις γραμμές για να εκτελέσουν τη λειτουργία συγκόλλησης σημείων «επί τόπου».



Σχήμα 5.5 Κύριες και δευτερεύουσες διαστατικές αναφορές για ένα πλαίσιο δαπέδου αυτοκινήτου

5.5.4.1 παράγοντας χρησιμοποίησης γραμμών

Αυτός ο παράγοντας είναι μια συνάρτηση όλων των στοιχείων που συνθέτουν τη δημιουργία της γραμμής, από τον ανεφοδιασμό των κομματιών προς κατεργασία που πρόκειται να συγκολληθούν, μέχρι των ολοκληρωμένων προϊόντων που βγαίνουν από τη γραμμή. Αυτός ο παράγοντας εξαρτάται από το σχεδιασμό των σταθμών συγκόλλησης: μειώνεται εάν αρκετοί σταθμοί εγκατασταθούν στη σειρά, αυξάνεται όταν εφοδιαστούν με ενδιάμεσους σταθμούς προσωρινής καταχώρησης του αποθέματος.

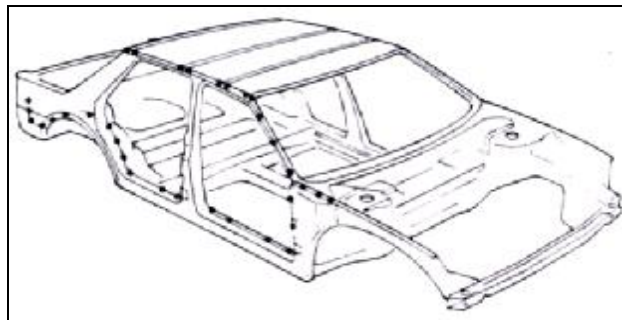
5.5.4.2 Χρόνος συγκόλλησης

Ο επιθυμητός ρυθμός, λαμβάνοντας υπόψη τον παράγοντα χρησιμοποίησης γραμμών που επιλέγεται αρχικά, μετατρέπεται σε κύκλο

χρόνου ανά κομμάτι. Αφού εξάγουμε του χρόνου διακίνησης του προϊόντος και το χρόνο σχεδιασμού, μια προκαταρκτική εκτίμηση του διαθέσιμου χρόνου για την πραγματική λειτουργία συγκόλλησης μπορεί να γίνει. Η σημασία της ελαχιστοποίησης του χρόνου διακίνησης και του χρόνου σχεδιασμού πρέπει να τονιστεί.

5.5.4.3 Προσχεδιάζοντας την γραμμή συναρμολόγησης

Ο χρόνος συγκόλλησης που καθορίστηκε, παρέχει έτσι μια προκαταρκτική βάση για την επιλογή του τύπου γραμμής συναρμολόγησης που πρέπει να εγκατασταθεί. Στην πραγματικότητα, όταν ο υπολογισμένος χρόνος είναι προφανώς ανεπαρκής (ένας μεγάλος αριθμός σημείων για συγκόλληση σε ένα μικρό διάστημα χρόνου), μια πρώτη επιλογή έχει να κάνει με τον παραλληλισμό ενός αριθμού των γραμμών συγκολλήσεως για την ίδια συναρμολόγηση.



Σχήμα 5.6 Χαρακτηριστικά σημεία συγκόλλησης για την πλαϊνή πλευρά

5.5.4.4 Ο ελάχιστος αριθμός των ρομπότ

Οι χρόνοι συγκόλλησης και μετατοπίσεων, λαμβάνοντας υπόψη τις επιταχύνσεις και τις επιβραδύνσεις, καθιστούν πιθανό να προσχεδιάσουμε τον αριθμό σημείων που μπορούν να συγκολληθούν σε έναν κύκλο από ένα ενιαίο ρομπότ. Λαμβάνοντας υπόψη την ομαδοποίηση των σημείων συγκόλλησης και τους απαραίτητους ή πιθανούς τύπους πιστολέτων

συγκόλλησης, είναι δυνατό να καθορίσουμε τον ελάχιστο αριθμό ρομπότ που είναι θεωρητικά απαραίτητα για τη συναρμολόγηση. Αυτός ο αριθμός φυσικά, πρέπει να επαληθευτεί στη συνέχεια.

5.5.5. Ευελιξία

Η ευελιξία μιας γραμμής συναρμολογήσεων καθορίζεται από το βαθμό προσαρμοστικότητάς της λαμβάνοντας υπόψη τα διάφορα προϊόντα που είτε μπορεί να κινούνται ταυτόχρονα πάνω σ'αυτή τη γραμμή, είτε όχι. Αυτή η ευελιξία καθορίζεται από τις ακόλουθες επιλογές:

- Καταλληλότητα των εργαλείων για αρκετά διαφορετικά προϊόντα.
- Ικανότητα για την προσαρμογή και τον χρόνο που απαιτείται για τη μεταστροφή σε ένα άλλο προϊόν.

5.5.5.1 Βαθμοί ευελιξίας

Ο χρήστης μπορεί να ζητήσει διάφορους βαθμούς ευελιξίας για τις γραμμές, οι οποίες μπορεί να αντιπροσωπεύσουν μεγάλο επενδυτικό κόστος.

Μια γραμμή μπορεί να σχεδιαστεί αρχικά για να επεξεργαστεί μόνο έναν τύπο προϊόντος. Η συνολική σχεδίαση της όμως, κάνει δυνατή τη μερική ή την ολική αλλαγή εργαλείων στο τέλος της γραμμής παραγωγής και την αντικατάσταση του αρχικού προϊόντος από ένα προϊόν παρόμοιου σχεδιασμού.

Μια γραμμή μπορεί να έχει εξοπλιστεί αρχικά για ένα τύπο κομματιού, αλλά ο σχεδιασμός της να επιτρέπει τη προσαρμογή σε διάφορα κομμάτια με την προσθήκη ή την προσαρμογή των κατάλληλων εργαλείων. Μια εναλλακτική λύση είναι ο σχεδιασμός της γραμμής, ώστε να είναι ικανή να παράγει αρκετές εκδοχές ενός κοινού μοντέλου παραγωγής.

Μια συνολικά ευέλικτη γραμμή, σχεδιάζεται για να παράγει χωρίς προκαταρκτικές ρυθμίσεις οποιασδήποτε σειρά και ποικίλα διαφορετικά προϊόντα και τις παραλλαγές τους. Φυσικά, αυτά τα διαφορετικά προϊόντα

πρέπει να είναι παρόμοια και να περιλαμβάνουν μια παρόμοια τεχνική παραγωγής.

5.5.5.2 Ευελιξία αντικατάστασης

Αυτός ο τύπος ευελιξίας, καθορίζεται από την ευκολία με την οποία μια γραμμή μπορεί να συνεχίσει να λειτουργεί με ένα μειωμένο ρυθμό, ακόμα και σε περίπτωση αποτυχίας ενός από τα μέρη της (ρομπότ ή εργαλείο). Ο προγραμματισμός της γραμμής διαχείρισης μπορεί να είναι τέτοιος, ώστε τα ρομπότ να αντισταθμίζουν αυτόματα την ελλείπουσα εργασία ενός ελαττωματικού ρομπότ, λαμβάνοντας υπόψη τα προβλήματα σχετικά με το συγκεκριμένο τύπο πιστολέτου συγκόλλησης και τη συγκεκριμένη ικανότητα του ρομπότ. Μια εναλλακτική λύση είναι να εγκατασταθούν ρομπότ επανασυγκόλλησης σημείων, που στο τέλος της γραμμής να κάνουν τις συγκολλήσεις που έλειψαν.

5.5.6. Τοποθέτηση των κομματιών και μεταφορά

5.5.6.1 Τοποθέτηση των κομματιών κατά την επεξεργασία

Οι μεγάλης κλίμακας συναρμολογήσεις, όπως τα φατνώματα δαπέδων, πρέπει να αντιμετωπιστούν στην κανονική τους θέση ή στη θέση αυτοκινήτου. Οι μικρές συναρμολογήσεις, όπως τα πλαϊνά μέρη, αντιμετωπίζονται σε διάφορες θέσεις, ανάλογα με τους περιορισμούς φόρτωσης των μικρότερων κομματιών και της δυνατότητας πρόσβασης στα σημεία συγκόλλησης. Η γεωμετρική σχεδίαση των εργαλείων πρέπει να ληφθεί υπόψη.

5.5.6.2 Μεταφορά των κομματιών

Σε μερικές εγκαταστάσεις, τα φατνώματα δαπέδων διαχειρίζονται πάνω σε μεταφορικές γραμμές. Αυτές οι συσκευές διαχείρισης διατηρούνται σε

όλα τα στάδια παραγωγής, όπως και εκτός γραμμής συναρμολόγησης και αφαιρούνται μόνο μετά από τη τελική συναρμολόγηση. Αυτές οι μονάδες μεταφοράς έχουν γίνει αναπόσπαστο τμήμα της συναρμολόγησης, είτε χρησιμοποιούνται σαν μέσα μεταφοράς, είτε παραμένουν αδρανή. Για υψηλούς ρυθμούς παραγωγικότητας, οι γραμμές μεταφοράς δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την διακίνηση των κομματιών, αλλά παραμένουν απασχολημένες στην συναρμολόγηση, και στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε εναλλακτικά μέσα μεταφοράς.

Οι μεταφορές χρησιμοποιούνται, όταν δύο διαφορετικοί τύποι μικρών συναρμολογήσεων πρόκειται να παραχθούν με συγκεκριμένη γεωμετρική διαμόρφωση ή όταν οι μικρές συναρμολογήσεις έχουν ήδη πραγματοποιηθεί, αλλά η γεωμετρία τους πρέπει να διατηρηθεί καθ' όλο το μήκος της γραμμής.

Συστήματα οχημάτων αυτόματης καθοδήγησης, χρησιμοποιούνται συνήθως σε ευέλικτες βιομηχανίες για την προετοιμασία υποσυναρμολογήσεων, όπως είναι οι πόρτες, οι κουκούλες και τα ταμπλό.

5.5.7. Περιβάλλον

5.5.7.1 Τοποθέτηση του ρομπότ

Η διαχείριση και η διανομή των σημείων συγκόλλησης σε μια δεδομένη συναρμολόγηση, μπορεί να καθορίσει τη θέση του κομματιού προς κατεργασία, λαμβάνοντας υπ' όψιν το ρομπότ, όταν αυτό είναι φυσικά δυνατό ή όταν δεν το καθιστούν απαραίτητο, να εγκατασταθεί το ρομπότ σε μια ορισμένη θέση. Το ρομπότ μπορεί να εγκατασταθεί στο πάτωμα, σε μια βάση ή ανυψωμένη ή υπό κλίση (σχήμα 5.7). Όταν η γραμμή παραγωγής πρέπει να επεκταθεί, είναι δυνατό να εγκατασταθούν δύο, τρία ή ακόμα και τέσσερα ρομπότ.

5.5.7.2 Διαθέσιμος χώρος δαπέδου

Ο διαθέσιμος χώρος γύρω από το σταθμό εργασίας που πρόκειται να εξοπλιστεί, μπορεί ορισμένες φορές να είναι περιορισμένος και τότε σε αυτή

την περίπτωση το γενικό σχεδιάγραμμα απαιτεί την επιλογή των ρομπότ gantry. Αυτού του τύπου η ρομποτική διαμόρφωση επιτρέπει μικρότερες σε όγκο εγκαταστάσεις. Μια γραμμή μεταφοράς με ρομπότ gantry είναι συνήθως 4-5m πλατιά, ενώ η ίδια γραμμή που εξοπλίζεται με ρομπότ πακτωμένα στο έδαφος καταλαμβάνουν πρόσθετα 2-3m από κάθε πλευρά για ένα συνολικό πλάτος γραμμής 8-10m.

5.6. ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΗΣ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΡΟΜΠΟΤ

Πολλές γενικεύσεις μπορούν να γίνουν κατά την επιλογή ενός ρομπότ για μια συγκεκριμένη εργασία συγκόλλησης σημείων. Κάθε εργασία συσχετίζεται με ειδικά γεωμετρικά κριτήρια που ευνοούν ιδιαίτερες μηχανικές διαμορφώσεις. Εντούτοις, οι οικονομικοί παράγοντες μπορούν να τροποποιήσουν αυτήν την επιλογή.

Στην αυτόματη συγκόλληση σημείων πέντε χαρακτηριστικές εργασίες συγκόλλησης σημείων αναγνωρίζονται.

5.6.1. Σταθμοί γεωμετρικής διαμόρφωσης και συγκόλλησης καρφιών

Λόγω του ιδιάζοντα σχεδιασμού της, αυτή η περίπτωση είναι μια από τις δυσκολότερες που μπορεί να ασχοληθεί κανείς. Για να συγκολλήσουμε τα κατάλληλα σημεία είναι απαραίτητο λοιπόν να περάσουμε μέσω της περιβάλλουσας διαμόρφωσης. Αυτός ο τύπος σταθμού απαιτεί κανονικά έξι ρομπότ: τέσσερα που τοποθετούνται εκατέρωθεν του σώματος πλευρικά και δύο τοποθετημένα στην αρχή και στο τέλος για να συγκολλήσουν τον κορμό και την όψη. (Τρεις τέτοιοι παράλληλοι σταθμοί παρουσιάζονται στο σχήμα 5.7).

Όσον αφορά τα πλευρικά ρομπότ, εκείνα που έχουν κυλινδρικές κινήσεις δημιουργούν ορισμένα λειτουργικά προβλήματα, επειδή οι κυλινδρικές κινήσεις των αξόνων κατά τη διεύθυνση απαιτούν αρκετό χώρο από την περιβάλλουσα σχεδίαση διαμόρφωσης. Για αυτόν τον λόγο, τα ποδικά ρομπότ ταιριάζουν καλύτερα σε αυτή την περίπτωση και έτσι χρησιμοποιούνται πιο συχνά. Τα nongantry ρομπότ με καρτεσιανές

συντεταγμένες είναι ιδανικά για αυτήν την εφαρμογή. Ο μόνος παράγοντας που περιορίζει την ευρεία χρήση τους είναι ο μεγάλος χώρος δαπέδου που απαιτούν.

Όσον αφορά τα δύο ρομπότ που είναι τοποθετημένα μπροστά και πίσω, είναι σχεδόν αδύνατο να χρησιμοποιήσουμε τυποποιημένα ηλεκτρικά ρομπότ, και επειδή εξαιτίας του χώρου που καταλαμβάνουν, όταν είναι εκτός λειτουργίας απαιτούν ειδικές ρυθμίσεις εξισορρόπησης για κάθε διαμόρφωση. Επιπλέον, αυτό το καθιστά δύσκολο να τα εγκαταστήσουμε στη μέση της γραμμής.

Τα υδραυλικά ρομπότ σφαιρικής κίνησης είναι τα καταλληλότερα: μπορούν να εγκατασταθούν εκ' των προτέρων και η γραμμική ή αρθρωτή διείδυση τους, επιτρέπει τη συγκόλληση στο κατώτατο σημείο του κορμού. Ο πολικός άξονας τους, επιτρέπει την πρόσβαση στα πλευρικά σημεία. Τα gantry ρομπότ καρτεσιανών συντεταγμένων χρησιμοποιούνται επίσης, αλλά η διαμόρφωσή τους είναι δυσκολότερη, όντας κρίσιμη η πρόσβαση στα προαναφερθέντα σημεία. Σε όλες τις εφαρμογές αυτού του τύπου μηχανήματος, είναι απαραίτητο η κεφαλή του ρομπότ να είναι όσο πιο μικρή γίνεται και οι τρεις άξονες του καρπού να είναι διατεταγμένοι, έτσι που να ελαχιστοποιείται η κυκλική τους κίνηση.

5.6.2. Γραμμές Underbody

Το κύριο χαρακτηριστικό αυτού του τύπου της συναρμολόγησης, είναι η ανάγκη να εκτελεσθούν όλα τα σημεία συγκόλλησης από το εξωτερικό μέρος (με μερικές εξαιρέσεις). Σε αυτό το είδος εφαρμογής, τα ρομπότ πρέπει να επιλεγούν για την ικανότητά τους να χρησιμοποιήσουν τα μεγάλα, βαριά πιστολέτα συγκόλλησης, με λαιμούς μεγάλου μήκους. Οι δυνατές επιλογές έτσι περιορίζονται από την αρχή.

Ρομπότ με καρτεσιανές συντεταγμένες είναι η προτιμότερη λύση σε αυτό το πρόβλημα. Πράγματι, αυτό είναι ένα από τα κύρια παραδείγματα που οι εφαρμογές τους είναι οικονομικά ελκυστική. Τα gantry ρομπότ μπορούν να συγκολλήσουν τα σημεία συμμετρικά με πλευρική διείδυση. Σε μερικές

περιπτώσεις, τα ρομπότ εγκαθίστανται σε περιστρεφόμενους βραχίονες στις πλευρές του ασφάλινου σκελετού για να αυξήσουν την ευελιξία τους.

Ρομπότ με αρθρωτούς βραχίονες και ρομπότ με κυλινδρικές κινήσεις, είναι πιθανές δεύτερες επιλογές. Έναντι των ρομπότ γραμμικής διείσδυσης, κατέχουν το έμφυτο πλεονέκτημα ότι δεν χρειάζονται εγκατάσταση σε μια ανυψωμένη βάση για λόγους πρόσβασης.

5.6.3. Πλαϊνά μέρη ή γραμμές πλαισίου του δαπέδου

Αυτά τα μέρη χαρακτηρίζονται από μεγάλα ανοίγματα, που επιτρέπουν τη συγκόλληση με πλευρική πρόσβαση, καθώς επίσης και από το κέντρο. Ρομπότ με καρτεσιανές συντεταγμένες είναι μακράν η καλύτερη επιλογή για αυτήν την εφαρμογή. Ρομπότ με σφαιρικές κινήσεις και γραμμική διείσδυση είναι συμβατά με αυτή την εφαρμογή, αλλά έχουν το μειονέκτημα ότι χρειάζονται την κατασκευή υπερυψωμένης βάσης.

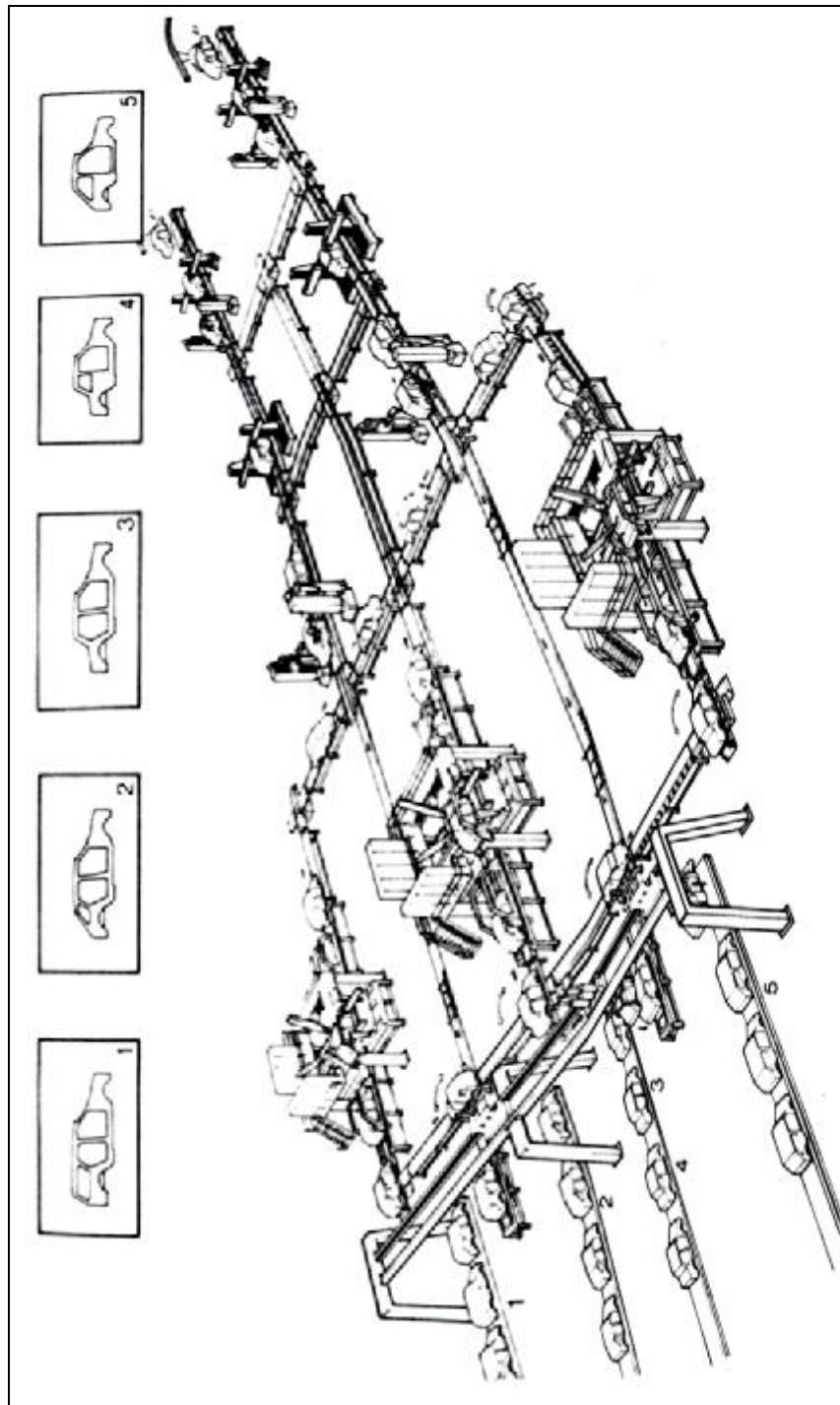
5.6.4. Γραμμές με καθέτου σχεδιασμού συγκόλληση

Όταν τα πλαϊνά τοιχώματα έχουν τοποθετηθεί στη θέση «δρόμου» ή ελαφρώς κεκλιμένα ή για συγκόλληση τελικού σώματος, τότε ρομπότ gantry είναι δύσκολο να χρησιμοποιηθούν. Οι περισσότερες από τις υπόλοιπες διαμορφώσεις είναι ικανοποιητικές, ειδικά αυτές με τη γραμμική διείσδυση, για να φθάσουν σημεία μέσα στο σκελετό.

5.6.5. Τελικές γραμμές συναρμολόγησης

Όλοι οι τύποι ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για αυτές τις εφαρμογές και επιλέγονται κυρίως βάσης της δυνατότητας πρόσβασης. Στην τελική γραμμή συναρμολόγησης που παρουσιάζεται στο σχήμα 5.7 αρκετά διαφορετικά μοντέλα χρησιμοποιούνται, ώστε να έχουν πρόσβαση (στα

μηχανήματα) στο εσωτερικό του οχήματος και αρκετή ευελιξία, ώστε να προσαρμοστούν και στα πέντε μοντέλα οχημάτων.



Σχήμα 5.7 Τελική γραμμή συναρμολόγησης πέντε μοντέλων με τρεις σταθμούς διαμόρφωσης και συγκόλλησης σημείων το καθένα, όπου έξι ρομπότ ακολουθούνται από δύο ρομποτικές γραμμές ολοκλήρωσης.

Τετρακόσια συγκολλητικά σημεία δημιουργούνται στο κάθε αυτοκίνητο με έναν ρυθμό παραγωγής της τάξης των 150 αυτοκινήτων την ώρα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6⁰

ΤΑ ΡΟΜΠΟΤ ΣΤΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΞΟΥ

6.1. Η ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΞΩΝ

Η συγκόλληση τόξου είναι μια διαδικασία από στην οποία τα κομμάτια προς κατεργασία ενώνονται με αεροστεγές σφράγισμα μεταξύ των επιφανειών τους. Η κύρια ιδέα της διαδικασίας βασίζεται στην τήξη δύο μεταλλικών επιφανειών από θερμότητα παραγόμενη από ένα ηλεκτρικό τόξο. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συγκόλλησης υπάρχει μια συνεχής ηλεκτρική εκκένωση, παράγοντας έτσι τους σπινθήρες μεταξύ του ηλεκτροδίου συγκόλλησης και του τεμαχίου πάνω στο οποίο εργαζόμαστε. Οι προκύπτουσες υψηλές θερμοκρασίες άνω των 6000°F (3300°C) λιώνουν το μέταλλο πέριξ του τόξου. Το λειωμένο υλικό από το ηλεκτρόδιο προστίθεται για να συμπληρώσει τη ραφή συγκόλλησης. Όπου η συγκόλληση σημείων πραγματοποιείται με εναλλασσόμενο ρεύμα, η συγκόλληση τόξου πραγματοποιείται με συνεχές ρεύμα σε επίπεδα των 100-200A στα 10-30V.

Αρχικά, στην συγκόλληση τόξου χρησιμοποιήθηκαν ως ηλεκτρόδια ράβδοι από άνθρακα για τα ηλεκτρόδια. Εντούτοις, επειδή αυτά δεν προσέθεταν υλικό στη συγκόλληση, έπρεπε να προστεθούν ράβδοι υλικών πληρώσεως μετάλλων έπρεπε να προστεθούν. Οι σύγχρονες μέθοδοι έχουν ουσιαστικά αντικαταστήσει τη συγκόλληση τόξου με ηλεκτρόδια άνθρακα, προμηθεύοντας μας με άλλες λύσεις που ικανοποιούν τις απαιτήσεις της συγκόλλησης. Μερικές από αυτές τις μεθόδους παρατίθενται στον πίνακα 6.1. Σε μερικές μεθόδους, για να αποφύγουμε την οξειδωση του λειωμένου μετάλλου, τα ηλεκτρόδια καλύπτονται με ρευστοποιήσιμο υλικό που λειώνει κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συγκόλλησης. Αδρανή αέρια όπως το ήλιο το οξυγόνο εξυπηρετούν τον ίδιο σκοπό της αποφυγής της οξειδώσεως.

Αυτόματη συγκόλληση ή συγκόλληση σύρματος, ο ηλεκτρικός εξοπλισμός της συγκόλλησης τόξου αποτελείται από μια γραμμή, μέσω της οποίας τροφοδοτείται το συνεχές σύρμα. Οι ακόλουθοι παράγοντες είναι σημαντικοί για καλά αποτελέσματα κατά τη συγκόλληση:

1. Σωστός ρυθμός τροφοδοσίας του σύρματος.
2. Βέλτιστη απόσταση μεταξύ του ηλεκτροδίου και του κομματιού προς κατεργασία.
3. Σωστός ρυθμός προώθησης του ηλεκτροδίου.

Η τυπική σειρά στην αυτόματη συγκόλληση τόξου απολυθεί τα εξής πέντε βήματα:

1. Ανοίγουμε την παροχή του αδρανούς αερίου πάνω από την περιοχή εργασίας.
2. Αρχίζουμε τον κύκλο συγκόλλησης: αρχίζουμε την τροφοδοσία του σύρματος, ανοίγουμε το ρεύμα.
3. Σταματάμε την τροφοδοσία του σύρματος.
4. Κλείνουμε το ρεύμα.
5. Κλείνουμε την παροχή αερίου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 6.1. ΣΥΝΗΘΙΣΜΕΝΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΞΟΥ

Μέθοδος	
TIG (Tungsten Inert Gas)	Συγκόλληση τόξου με βολφράμιο
MIG (Metal Inert Gas)	Συγκόλληση τόξου αδρανούς αερίου μετάλλων
GMAW (Gas Metal Arc Welding)	Συγκόλληση τόξου σε ατμόσφαιρα αερίου
GTAW (Hot-wire TIG)	Συγκόλληση τόξου με βολφράμιο
SAW (Submerged Arc Welding)	Βυθιζόμενη συγκόλληση τόξου
FCAW (Flux Cored Arc Welding)	Συγκόλληση τόξου με προστατευτική ατμόσφαιρα προερχόμενη από τη διάσπαση του βόρακα

6.2. ΕΠΙΛΟΓΗ ΡΟΜΠΟΤ ΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΞΟΥ

Τα ρομπότ είναι ελκυστική επιλογή για τη συγκόλληση τόξου, κυρίως γιατί:

1. Αντικαθιστούν τους ανθρώπους χειριστές στο δυσάρεστο και επικίνδυνο περιβάλλον της ακτινοβολίας, του καπνού και των σπινθήρων από τη συγκόλληση τόξου.
2. Ανακουφίζουν τους ανθρώπους χειριστές από τη μεταφορά και την καθοδήγηση των βαριών πιστολέτων συγκόλλησης, τα οποία συχνά πρέπει να καθοδηγήσουν μέσα από άβολες θέσεις.
3. Μπορούν με συνέπεια να εκτελέσουν τις ακριβείς κινήσεις συγκόλλησης.

Το σύστημα ελέγχου του ρομπότ μπορεί εύκολα να επικοινωνήσει με τον αυτόματο έλεγχο της συγκολλητής τόξου, ώστε να συγχρονίσει τις απαραίτητες κινήσεις του ρομπότ με τα βήματα της ακολουθίας της συγκόλλησης.

Συνήθως τα, ηλεκτρικά καθοδηγούμενα ρομπότ προτιμώνται για τη συγκόλληση τόξου. Οι ταχύτητες κινήσεων που απαιτούνται στη συγκόλληση τόξου είναι σχετικά μικρές και το βάρος του πιστολέτου συγκόλλησης είναι επίσης σχετικά μικρό. Όταν χρησιμοποιούνται βαριά πιστολέτα συγκόλλησης, με υδρόψυκτο σύστημα, είναι προτιμότερη η χρήση ενός υδραυλικού ρομπότ. Εκτός από τις ευθείες γραμμές συγκόλλησης, ο συνεχής έλεγχος της συνέχειας της συγκόλλησης είναι απαραίτητος. Η παρεμβολή απαιτείται για να απλοποιήσει τον ακριβή έλεγχο των μη γραμμική γραμμές συγκόλλησης.

6.3. ΤΟ ΡΟΜΠΟΤΙΚΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Ένα πλήρες ρομποτικό σύστημα συγκόλλησης περιλαμβάνει το ρομπότ, τα χειριστήρια, κατάλληλους σφιγκτήρες για την εργασία και τον εξοπλισμό συγκόλλησης, έναν ή περισσότερους καθοριστές θέσης για τη

συγκόλληση, με τα χειριστήρια τους και μια κατάλληλη διάταξη συγκόλλησης (με ένα αντίστοιχο υψηλής παραγωγικότητας μέταλλο πληρώσεως). Η εγκατάσταση του συστήματος απαιτεί επίσης σωστά πλέγματα και λοιπά συστήματα ασφαλείας, καθώς και κατάλληλη με διαχείριση της εγκάρσιας προσαγωγής και απομάκρυνσης των προς κατεργασία τεμαχίων και από σταθμό εργασίας.

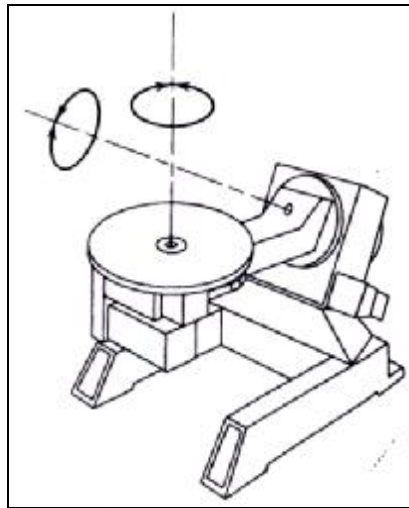
6.3.1. Καθοριστές της θέσης συγκόλλησης

Ο καθοριστής της θέσης συγκόλλησης (welding positioners) είναι ένα κρίσιμο και συχνά αγνοημένο μέρος του συστήματος. Τα ρομπότ δεν είναι συμβατά με καθοριστές θέσης συγκόλλησης που έχουν σχεδιαστεί με ακρίβεια για ανθρώπους χειριστές. Παραδείγματος χάριν, το ρομπότ ASEA IRb 60/2 έχει μια ακρίβεια θέσης συγκολλησεως των ± 0.016 in. (± 0.40 mm), στηρίζοντας μέχρι εννέα άξονες κίνησης ή περιστροφής και ένα φορτίο 132 lb (60 kg). Αυτός ο καθοριστής θέσεως συγκολλησεως είναι άχρηστος, εάν δεν συνοδεύεται από ένα χειριστή που χειρίζεται τη συγκόλληση. Δεύτερον, οι πιο πολλοί καθοριστές συγκολλησεως δεν σχεδιάζονται για τη λειτουργία υπό έλεγχο μικροεπεξεργασιών. Μια λύση στο πρόβλημα ελέγχου, είναι αν τοποθετήσουμε έναν ήδη υπάρχον καθοριστή θέσης με ένα χειριστήριο συμβατό με το ρομπότ. Αυτό όμως αφήνει ακόμα αυτό το πρόβλημα της ακρίβειας προσδιορισμού θέσης

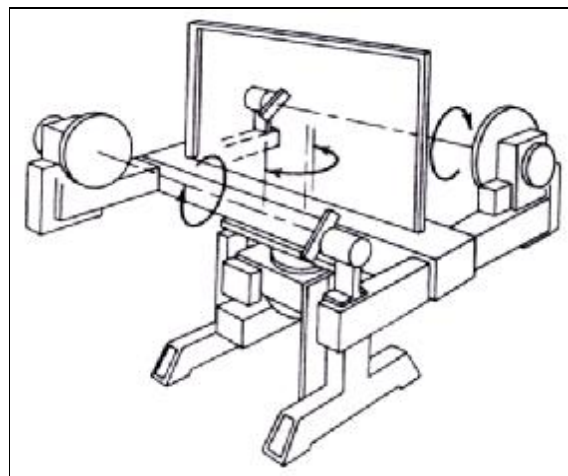
Ένας άνθρωπος χειριστής, μπορεί να ανεχτεί περισσότερο τις παλινδρομικές κινήσεις των εργαλείων ή τα μικρά ποσά λογικού «επιτραπέζιου ερπυσμού» σε σχέση με ένα ρομπότ. Ο άνθρωπος θα αντισταθμίσει την απώλεια χωρίς να σκεφτεί γι' αυτό. Το ρομπότ, αναμένει την ένωση συγκόλλησης να είναι εκεί όπου το πρόγραμμά του νομίζει ότι είναι, όχι εκεί που ο καθοριστής θέσης πραγματικά το τοποθετεί. Ένας συμβατικός καθοριστής θέσεως συγκολλησεως δεν μπορεί να αναπροσαρμοστεί με ένα λογικό κόστος, για την ακρίβεια που απαιτείται από ένα ρομπότ. Η μηχανή θα έπρεπε να ανακατασκευαστεί.

Διάφοροι σημαντικοί κατασκευαστές καθοριστών θέσεως έχουν ήδη βγάλει καινούργια μοντέλα στην αγορά, σχεδιασμένα αποκλειστικά για χρήση με ρομπότ.

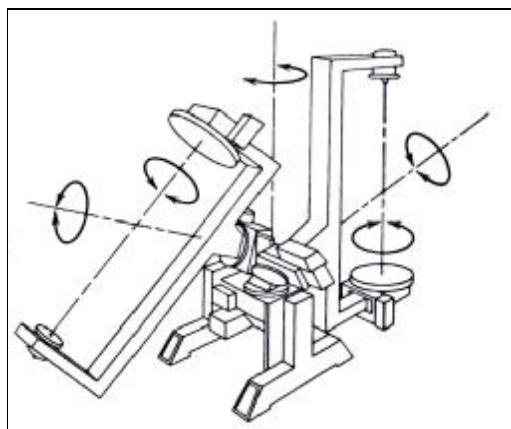
Οι σύγχρονοι ρομποτικοί καθοριστές θέσεως ελέγχουν τη παλινδρομική κίνηση μέσα σε μια ακτίνα ± 0.005 in./in. (± 0.001 mm/mm.), για όλες τις ταχύτητες. Μερικά χρόνια πριν αυτό θα ήταν αδιανόητο για οποιαδήποτε μεγάλων ταχυτήτων μηχανή. Το σχήμα 6.1 παρουσιάζει διάφορες παραλλαγές των καθοριστών θέσης κομματιών για ρομπότ συγκόλλησης τόξου.



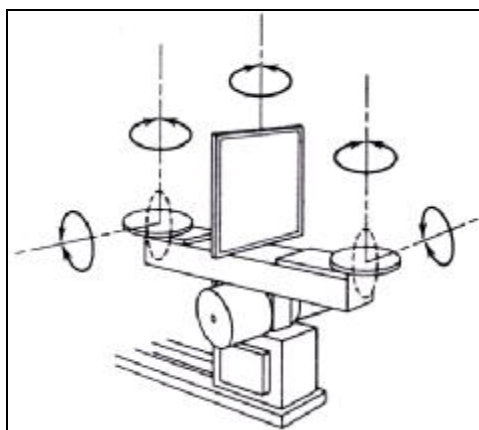
(α)



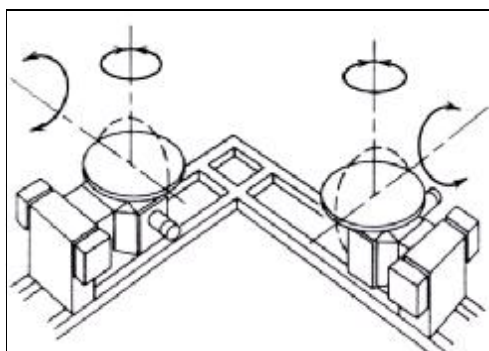
(β)



(γ)



(δ)



(ε)

Σχήμα. 6.1 Πέντε τύποι καθοριστών θέσης (positioners) κομματιών για ρομπότ συγκόλλησης τόξου. (α) ESAB Orbit 500, (β) ESAB Orbit 160 R, (γ) ESAB Orbit RR, (δ) ESAB Orbit MHS 1503, (ε) ESAB Orbit MHS 500.

Όλα τα εξαρτήματα ενός ρομποτικού σταθμού εργασίας πρέπει να διασυνδεθούν, έτσι ώστε το καθένα να εκτελεί τη λειτουργία του όπως αυτή είχε αρχικά καθοριστεί από το πρόγραμμα. Τυπικά, ένας ρομποτικός καθοριστής θέσης θα περιλαμβάνει μηχανικούς διακόπτες πολλαπλής παύσης ή διακόπτες ορίων στερεάς κατάστασης (ελέγχουν την στερεότητα του υλικού) σε όλους τους άξονες, για τον από σημείο σε σημείο προσδιορισμό θέσης (ανοικτός βρόγχος) ή για σερβοοδηγούς συνεχούς ρεύματος, για τον προσδιορισμό θέσης με ανατροφοδότηση στον έλεγχο (κλειστός βρόγχος).

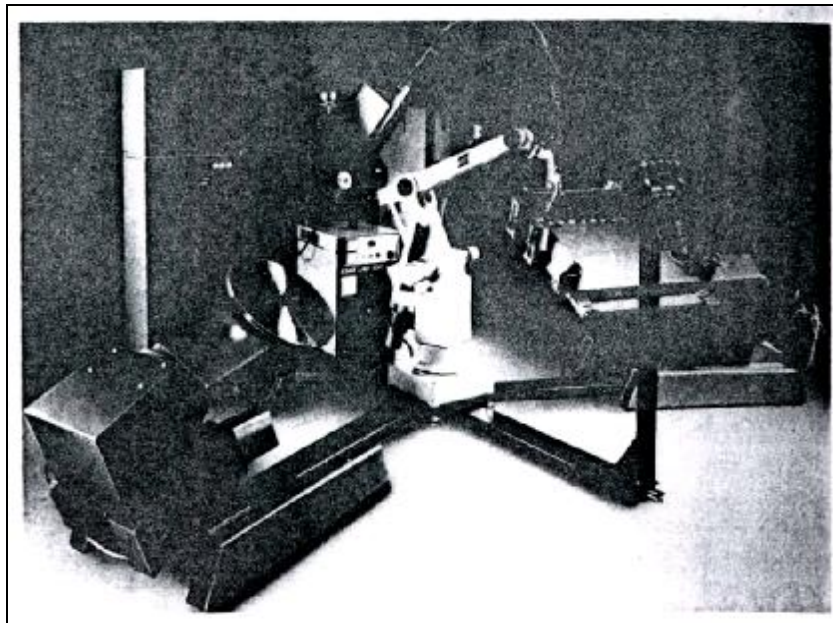
Η ταχύτητα είναι σημαντική σε έναν ρομποτικό σταθμό εργασίας. Η πλήρης περιστροφή ενός καθοριστή θέσης στην επιφάνεια εργασίας πάνω σε δύο διαφορετικούς άξονες (καθώς χειρίζεται ένα πλήρες φορτίο), είναι τυπικά δύο ή τρεις φορές ταχύτερη από ένα συμβατικό μηχάνημα καθορισμού θέσης. Μια πλήρης περιστροφή και στους δύο άξονες με ταυτόχρονη κίνηση διαρκεί περίπου 9sec. Μια περιστροφή 90° της επιφάνειας εργασίας μπορεί να πάρει 3sec.

6.3.2. Χειρισμός ρομπότ

Παράμετροι προγραμματισμού για έναν ελεγκτή συγκόλλησης (εικόνα 6.1) περιλαμβάνουν τις ρυθμίσεις ταχύτητας και καθορισμού θέσης, την τάση του τόξου, την ταχύτητα τροφοδοσίας με σύρμα, τα δεδομένα του παλμού και άλλες παραμέτρους της λειτουργίας. Οι αρχικές και τελικές φάσεις κάθε συγκόλλησης (με ειδικές παραμέτρους, όπως η ροή του προστατευτικού αερίου πριν και μετά, η δημιουργία λιωμένου μετάλλου, η έναρξη ερπυσμού, η πλήρωση κενών και ο χρόνος τελικής πυράκτωσης) έχουν προγραμματιστεί σε χωριστά αποθηκευμένες ρουτίνες.

Οι κινήσεις του ρομπότ συγκόλλησης έχουν προγραμματιστεί ανεξάρτητα, από έναν χωριστό έλεγχο. Και τα δύο συστήματα ελέγχου συντονίζουν τις λειτουργίες τους σύμφωνα με την αρχή της «αμοιβαίας χειραψίας» (handshaking principle) (ίδιες επιβεβαιώσεις των υπολογιστών μετά από κάθε ολοκληρωμένο κύκλο του ρολογιού). Ο χειριστής καθορίζει πότε το ρομπότ πρέπει να αλλάξει από ένα κομμάτι προς κατεργασία στο επόμενο. Ο χειριστής μπορεί επίσης να διακόψει και να ρυθμίσει το πρόγραμμα, ακόμη και κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συγκόλλησης.

Συχνά, υπάρχει μια απαίτηση για το ρομπότ συγκόλλησης, να κινείται για μια μεγάλη απόσταση για να συγκολλήσει μεγάλα κομμάτια, παραδείγματος χάριν στην κατασκευή πλοίων. Ένα ρομποτικό σύστημα γραμμικής διαδρομής μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Παραδείγματος χάριν, μια διαδρομή φτιαγμένη από την ESAB Co. επιτρέπει στο ρομπότ να κινείται με ταχύτητες παραγωγής 1870in/min (47,5m/min) για ένα ρομπότ ASEA IRB 60 ή 2160in/min (54,9m/min) για ένα μικρότερο ρομπότ ASEA IRB-6. Το σύστημα διαδρομής μπορεί να κινήσει ολόκληρο το ρομπότ μέχρι 100ft (30,5m) ή και περισσότερο, κατά μήκος μιας ραφής συγκόλλησης ή ενός εκτεταμένου κομματιού προς κατεργασία, και να σταματήσει με μια ακρίβεια θέσης των $\pm 0.00\text{in}$ (0,1mm).



Εικόνα 6.1 Πλήρες σύνολο ρομποτικού σταθμού συγκόλλησης τόξου και της μονάδας προγραμματισμού για τον προγραμματισμό του ελέγχου του.

6.4. ΤΑ ΟΙΚΟΝΟΜΙΚΑ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΞΟΥ

Χωρίς να αναλύσουμε το συνολικό κόστος συγκόλλησης, τις μεθόδους κατασκευής, τις παρούσες απαιτήσεις παραγωγής και του σχεδιασμού των προϊόντων, ένα νέο ρομπότ θα μπορούσε να αποδειχθεί μια οικονομική καταστροφή. Αντιθέτως, με κατάλληλο προγραμματισμό ένας χρήστης μπορεί να αυξήσει την παραγωγικότητα 50-400%. Πολλοί χρήστες αποσβένουν την επένδυσή τους μέσα σε ένα ή δύο έτη, όπως βρέθηκε από την ASEA σε μια πρόσφατη έρευνα για τις επιτυχείς εγκαταστάσεις ρομπότ συγκόλλησης.

Το συνολικό κύριο κόστος για ένα πλήρες σύστημα ρομποτικής συγκόλλησης, συμπεριλαμβανομένων των χειριστηρίων, του εξοπλισμού υλικού χειρισμού των εξαρτημάτων και των εργαλείων, μπορεί να διπλασιάσει ή να τριπλασιάσει το κόστος του ρομπότ. Ο λόγος οφείλεται κυρίως στο κόστος του περιφερειακού εξοπλισμού, που σχεδιάζεται για την αποτελεσματικότερη λειτουργία του ρομπότ. Για παράδειγμα, μια φτωχή εγκατάσταση είναι ένα πρόβλημα που ένας ειδικευμένος συγκολλητής μπορεί συνήθως να ρυθμίσει, αλλά ένα ρομπότ δεν μπορεί να λύσει από μόνο του. Στην καλύτερη περίπτωση, μια φτωχή εγκατάσταση απαιτεί χαμηλότερες ταχύτητες συγκόλλησης. Στη χειρότερη περίπτωση, μπορεί να σημαίνει ελλειπίες συγκολλήσεις.

Η δυνατότητα πρόσβασης στον κόμβο από το ακροφυσίο του πιστολέτου συγκόλλησης και του ηλεκτροδίου, παίρνεται πάντα υπόψη κατά τον σχεδιασμό της συγκόλλησης. Οι άνθρωποι μπορούν να αντισταθμίσουν τον κακό σχεδιασμό με εξαιρετική επιδεξιότητα. Τα ρομπότ δεν μπορούν, αλλά αν ο σχεδιασμός των κόμβων και της ανοχής των κομματιών είναι σωστός, το κομμάτι κατάλληλα τοποθετημένο και το πρόγραμμα σωστά

ρυθμισμένο, τα ρομπότ μπορούν να αυξήσουν την ποιότητα συγκόλλησης με μεγαλύτερη συνέπεια από τους ανθρώπους.

Το κόστος των κακών συγκολλήσεων μπορεί να είναι υπερβολικό. Η βελτίωση μόνο της ποιότητας συγκόλλησης μπορεί να είναι αρκετό για να πληρώσουμε για μερικά ρομποτικά συστήματα συγκόλλησης. Παραδείγματος χάριν, μια επισκευή συγκόλλησης σε μια πολύπλοκης συγκόλλησης πλάκα μπορεί να κοστίσει από 400€ μέχρι 4000€ ανά 30cm (1ft) για την αρχική συγκόλληση, την επιθεώρηση, τις ακτίνες x για την εξαγωγή της κακής συγκόλλησης και την τελική επιθεώρηση. Μια κακή συγκόλληση μπορεί να κοστίσει πολύ περισσότερα χρήματα και μερικές φορές ανθρώπινες ζωές, αν η συγκόλληση προκαλέσει αστοχία όταν το σύστημα είναι σε λειτουργία.

Οι καθοριστές θέσης συγκόλλησης που έχουν σχεδιαστεί για να δουλεύουν μαζί με τα ρομπότ, είναι αναγκαίοι για τα κομμάτια με κόμβους συγκολλήσεως που το ρομπότ δεν μπορεί να φθάσει, καθώς και για πολλούς κόμβους που το ρομπότ μπορεί να φτάσει. Απλώς, φτάνοντας στον κόμβο δεν είναι αρκετό για να μεγιστοποιήσουμε την παραγωγικότητα της διαδικασίας τήξης και συγκόλλησης. Ο λόγος είναι ότι τόσο τα τοξικά αέρια, όσο και οι ταχύτητες συγκολλήσεως, επηρεάζονται πάρα πολύ από την τοποθέτηση του μετάλλου συγκολλήσεως όταν αυτό αποτίθεται.

Συγκόλληση επί τόπου, μπορεί συχνά να αυξήσει το ρυθμό απόθεσης συγκολλητικού μετάλλου 10 ή περισσότερες φορές από το να δουλεύουμε από μακριά. Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιώντας ανθρώπους χειριστές συγκόλλησης που εργάζονται κοντά στη συγκόλληση, συχνά μπορούν να εναποθέσουν μέταλλο συγκόλλησης όσο 10 χειριστές που εργάζονται από μακριά. Το ίδιο πράγμα ισχύει για ένα ρομπότ. Απλώς, αλλάζοντας την εργασία σε κοντινή θέση, μπορούμε να αυξήσουμε την παραγωγικότητα σημαντικά. Ένα ρομποτικό σύστημα συγκόλλησης μπορεί να επιτύχει μέγιστους ρυθμούς απόθεσης συγκολλητικού μετάλλου.

Άλλα πλεονεκτήματα ενός ρομποτικού συστήματος συγκόλλησης είναι:

1. Ο χρόνος χρησιμοποίησης των τόξων μεγιστοποιείται, επειδή το ρομπότ δεν κουράζεται και δεν κάνει διαλείμματα.
2. Τα ρομπότ είναι εύκολο να προσαρμοστούν στη νέα εργασία.

Οι ρυθμοί εργασίας για χειροκίνητη συγκόλληση κυμαίνονται κατά μέσο όρο στο 85% των συνολικών δαπανών συγκόλλησης. Ακόμη και υψηλά

αυτοματοποιημένες διαδικασίες, όπως βυθιζόμενη συγκόλληση τόξου, που λειτουργεί με έναν καθοριστή θέσεως συγκολλητικής κεφαλής, απαιτούν ρυθμούς εργασίας που είναι ακόμα περισσότερο από το 50% των συνολικών δαπανών συγκόλλησης. Επιπλέον, οι Ηνωμένες Πολιτείες έχουν μεγάλο πρόβλημα, λόγω έλλειψης εξειδικευμένων συγκολλητών.

6.4.1. Καθοδήγηση συγκόλλησης και κόστος

Η συγκόλληση επί τόπου κοστίζει λιγότερο από την κάθετη ή την υπερυψωμένη συγκόλληση, λόγω της βαρύτητας. Στην επίπεδη επί τόπου συγκόλληση, η βαρύτητα επιτρέπει υψηλότερους ρυθμούς απόθεσης και χαμηλότερες δαπάνες εργασίας ανά λίβρα του αποτιθέμενου μετάλλου συγκόλλησης, επειδή το λειωμένο μέταλλο συγκόλλησης διατηρείται στη θέση του λόγω της βαρύτητας.

Όσο υψηλότερος είναι ο ρυθμός απόθεσης, τόσο μεγαλύτερες οι πιθανότητες το μέταλλο να βουλιάξει και να τρέξει από τη συγκόλληση. Συγκολλώντας εκτός θέσεως (από μακριά), προκαλεί προβλήματα ανεξαρτήτως αν ένας άνθρωπος ή ένα ρομπότ εναποθέτει το μέταλλο συγκόλλησης. Η επιθυμητή λύση είναι να μετατρέψουμε το σύστημα σε επίπεδη επί τόπου συγκόλληση και να χρησιμοποιηθεί ένα ρομπότ για να κάνει την εργασία.

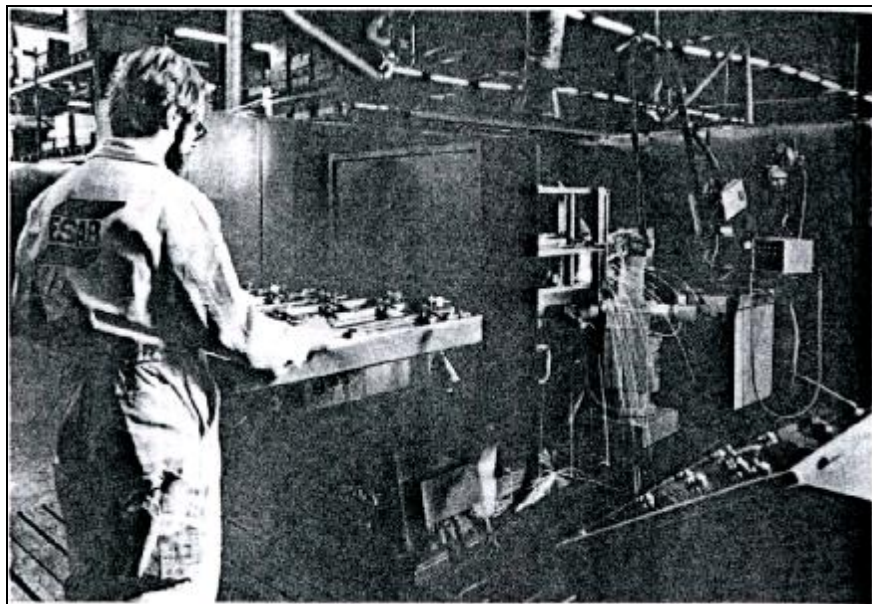
Οι χειριστές που χρησιμοποιούν ένα χειριστήριο με συγκολλητική κεφαλή, πολλαπλό σύρμα, πολυεπίπεδη συγκόλληση και μια υψηλής παραγωγικότητας GMAW, FCAW ή ένα υποσύστημα τόξου, δεν χρειάζονται ρομπότ συγκόλλησης, δεδομένου ότι χρησιμοποιούν ήδη ένα απασχολημένο αυτοματοποιημένο σύστημα συγκολλήσεως. Το ρομπότ συγκόλλησης μπορεί να σταματήσει, εάν κατά τη διάρκεια της εργασίας συναντήσει κομμένο σύρμα και υψηλά αυτοματοποιημένη παραγωγή συγκόλλησης.

6.4.2. Χρησιμοποίηση ρομπότ και χώρου δαπέδου

Η κατασκευή χώρου δαπέδου μπορεί να είναι η πιο περιοριστική λειτουργική δαπάνη αν και τα ρομποτικά συστήματα συγκόλλησης μπορούν να κάνουν αποτελεσματική χρήση του διαθέσιμου χώρου δαπέδου. Συγκρίσεις χώρου με άλλα συστήματα διαχείρισης υλικών θα ευνοήσουν γενικά ένα ρομποτικό σύστημα συγκόλλησης.

6.4.3. Χρησιμοποίηση πολλαπλών καθοριστών θέσεως

Η χρήση δύο καθοριστών θέσεως (ή ενός με δύο πίνακες, όπως φαίνεται στην εικόνα 6.2 και ενός ρομπότ έχει πρόσθετο νόημα για έναν πολύ σημαντικό λόγο. Δεδομένου ότι οι καθοριστές θέσεως είναι συσκευές διαχείρισης υλικών που σχεδιάζονται συγκεκριμένα για το χειρισμό και την επίτευξη συγκολλήσεων, ο χρόνος που χρησιμοποιείται για να γίνει η εργασία μπορεί να κοπεί στο μισό, με την κράτηση του κομματιού προς κατεργασία στον έναν καθοριστή και τη χρησιμοποίηση του δεύτερου καθοριστή, ώστε να συνεχίσει το ρομπότ να συγκολλάει.



Εικόνα 6.2 Καθοριστής θέσεως ρομποτικής συγκόλλησης με δύο πίνακες σε λειτουργία. Η κουρτίνα στο κέντρο του καθοριστή προστατεύει το χειριστή από τους σπινθήρες συγκόλλησης.

Μερικές εφαρμογές χρησιμοποιούν σταθμούς εργασίας με τρεις καθοριστές θέσεως και ένα ρομπότ. Ο πρώτος καθοριστής χρησιμοποιείται για τη συναρμολόγηση των κομματιών και για μικρή συγκόλληση. Το ρομπότ συγκολλάει την εργασία στον δεύτερο καθοριστή. Ο τρίτος καθοριστής χρησιμοποιείται για την επιθεώρηση των κομματιών και μη καταστρεπτικές δοκιμές. Ένα ρομπότ μπορεί να προγραμματιστεί, ώστε να αρχίσει όποιον από τους τρεις καθοριστές θέσεως είναι έτοιμος για συγκόλληση. Μόνο ο χρόνος εργασίας που κερδίζεται μεταξύ των στάσεων για τη φόρτωση και την εκφόρτωση, έχει αλλάξει ολόκληρη την ροή της δουλειάς αρκετών εργοστασίων κατασκευής μεταλλικών αντικειμένων.

6.5 ΥΠΟΛΟΓΙΣΜΟΙ ΚΟΣΤΟΥΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

6.5.1. Κόστος των μετάλλων πληρώσεως

Καμία διαδικασία συγκόλλησης τόξου δεν είναι σε θέση να μετατρέψει όλο το μέταλλο πληρώσεως (γемίσματος) σε μέταλλο συγκόλλησης. Ένα μέρος από το βάρος του ηλεκτροδίου (εκτός αν είναι στερεό σύρμα με ενσωματωμένο προστατευτικό αέριο) μετατρέπεται σε σκουριά. Ένα εκπληκτικά μεγάλο ποσοστό των περισσότερων μετάλλων πληρώσεως γίνεται ρευστό και ένα άλλο γίνεται καπνός. Εάν χρησιμοποιούνται ηλεκτρόδια σε ράβδους μερικές ίντσες κάθε ηλεκτροδίου (χαρακτηριστικά το 1/6 ή 17%) πετιέται σαν απόρριμμα. Αυτό αυξάνει το SMAW κόστος πληρώσεως μετάλλου κατά 20%.

Υπό ιδανικές συνθήκες η συγκόλληση τόξου σε ατμόσφαιρα αερίου (GMAW), που χρησιμοποιεί ένα στερεό σύρμα, μπορεί να είναι αποδοτική κατά 99%. Το πραγματικό κόστος ανά λίβρα του μετάλλου πληρώσεως δεν είναι αυτό που πληρώνεται για το προϊόν σε ένα κιβώτιο, αλλά το ποσό του

ηλεκτροδίου που μπορεί να μετατραπεί σε χρήσιμο μέταλλο συγκόλλησης. Επομένως το κόστος του μετάλλου συγκόλλησης υπολογίζεται ως εξής:

Κόστος μετάλλου πληρώσεως (€/ lb)

Ed

όπου Ed είναι η κλασματική ποσότητα του ηλεκτροδίου που εναποτίθεται ως μέταλλο συγκόλλησης (παρά την ποσότητα του ηλεκτροδίου που πραγματικά καταναλώνεται), δηλαδή η αποδοτικότητα εναπόθεσης του ηλεκτροδίου.

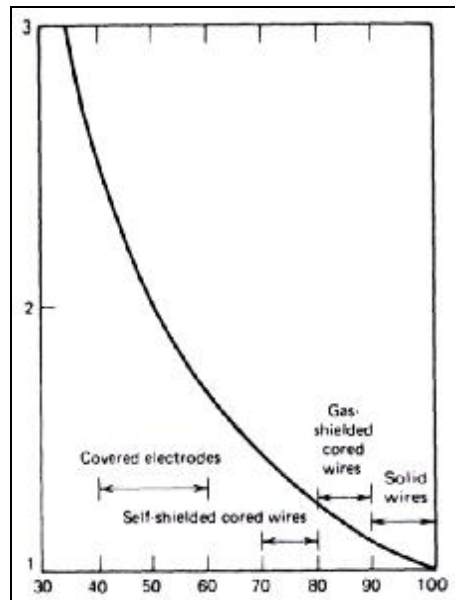
Τα αποτελέσματα των διαφορών στην αποδοτικότητα εναπόθεσης των ηλεκτροδίων ανάμεσα σε διάφορα ηλεκτρόδια δεν ήταν τόσο προφανή πριν από την εμφάνιση των ρομπότ συγκόλλησης, όσο είναι τώρα. Το κόστος εργασίας υπερκάλυπτε το συνολικό κόστος της συγκόλλησης και οι δαπάνες του υλικού πληρώσεως των μετάλλων αποτελούσαν ένα μικρό ποσοστό (συνήθως μικρότερο του 5%) των συνολικών δαπανών συγκόλλησης. Με την αυξημένη παραγωγικότητα, που γίνεται πιθανή με την χρήση ενός ρομπότ συγκόλλησης σε έναν κατάλληλα σχεδιασμένο σταθμό εργασίας, οι δαπάνες του υλικού πληρώσεως των μετάλλων γίνονται ένα σημαντικά μεγαλύτερο μέρος του συνολικού κόστους του στερεού μετάλλου συγκόλλησης.

Μια ανάλυση της αποδοτικότητας της απόθεσης του υλικού πληρώσεως και του ρυθμού απόθεσης, μπορεί να δείξει ότι μάλλον είναι καλύτερο να χρησιμοποιούμε ακριβά σύρματα, ώστε να βοηθήσουμε το ρομπότ να κατεβάσει τις συνολικές δαπάνες. Αυτό μπορεί να σημαίνει να χρησιμοποιήσουμε διαδικασίες με υψηλούς ρυθμούς απόθεσης, όπως η FCAW, η SAW ή ακόμα και η TIG (GTAW).

6.5.2. Αποδοτικότητα εν απόθεσης

Η επιρροή της αποδοτικότητας εν απόθεσης στις δαπάνες πρέπει να ληφθεί σοβαρά υπόψιν. Το σχήμα 6.2 δείχνει πως το σχετικό κόστος του μετάλλου πληρώσεως αυξάνει, καθώς ο ρυθμός αποδοτικότητας εν απόθεσης

μειώνεται. Η αποδοτικότητα εν απόθεσης έχει μια ισοδύναμη επίδραση στις δαπάνες εργασίας.



Σχήμα 6.2 Επίδραση της αποδοτικότητας εν απόθεσης E_d στο σχετικό κόστος του μετάλλου πληρώσεως ή της εργασίας. Το βασικό κόστος εργασίας ή το κόστος του ηλεκτροδίου είναι. Τα καλυμμένα ηλεκτρόδια έχουν τη χαμηλότερη αποδοτικότητα εν απόθεσης και έτσι το υψηλότερο σχετικό κόστος. Τα στερεά σύρματα έχουν το υψηλότερο E_d και το χαμηλότερο σχετικό κόστος.

6.5.3. Δαπάνες αερίου

Τα περισσότερα σύρματα χωρίς πυρήνα και όλα τα στερεά σύρματα, σχεδιάζονται για να χρησιμοποιηθούν με προστατευτικά αέρια κατά τη διάρκεια της πραγματικής συγκόλλησης. Η συμβολή στο κόστος του προστατευτικού αερίου, σε σύγκριση με το συνολικό κόστος του μετάλλου συγκόλλησης δεν μπορεί να μην ληφθεί υπόψη. Το κόστος αερίου ανά λίβρα του εναποτεθειμένου μετάλλου συγκόλλησης μπορεί να υπολογιστεί ως:

$$\frac{\text{τιμή αερίου (€/ft}^3\text{)} \times \text{ρυθμός ροής αερίου (ft}^3\text{/h)}}{\text{MR} \times E_d}$$

$$\text{MR} \times E_d$$

όπου MR είναι ένα στιγμιαίο ποσοστό μετάλλου πληρώσεως που καίγεται και εκφράζεται σε λίβρες ανά ώρα και Ed είναι η αποδοτικότητα εν απόθεσης ηλεκτροδίου εκφρασμένη ως δεκαδικός.

Προφανώς, αυτό το στοιχείο δαπανών μπορεί να περιοριστεί στο ελάχιστο με την επιλογή λιγότερο ακριβών μίγμάτων προστατευτικών αερίων και καθορίζοντας τους χαμηλότερους δυνατούς ρυθμούς ροής, ανάλογα με τον ρυθμό απόθεσης συρμάτων και το επίπεδο ενέργειας του τόξου που απαιτείται για να επιτευχθούν αυτοί οι ρυθμοί. Ο εξοπλισμός συγκόλλησης μπορεί να έχει μια σημαντική επίδραση σε αυτό το κόστος επειδή οι μειωμένοι ρυθμοί ροής είναι δυνατοί με καλά σχεδιασμένα ακροφύσια.

Απ' την άλλη πλευρά, οι μειωμένοι ρυθμοί ροής αυξάνουν το ρίσκο παραγωγής πορώδους συγκόλλησης και άλλων ατελειών. Σε μερικά σύρματα, η φύση του προστατευτικού αερίου ή του μίγματος αερίου, επηρεάζει άμεσα τον τρόπο μεταφοράς του μετάλλου συγκόλλησης.

Τα χαρακτηριστικά λειτουργίας μερικών συρμάτων συγκόλλησης είναι αρκετά ευαίσθητα ακόμη και στις μικρές αλλαγές στη σύνθεση του προστατευτικού αερίου. Μια αλλαγή κατά μικρό ποσοστό στην σύνθεση του αερίου μίγματος, μπορεί να αλλάξει σημαντικά το σχήμα των συγκολλήσεων, τα χαρακτηριστικά του λιωμένου μετάλλου και το βάθος της διείσδυσης στη βάση του μετάλλου.

Η σύνθεση του προστατευτικού αερίου έχει επίσης επίδραση στην αποδοτικότητα εν απόθεσης (Ed) του συγκολλητικού μετάλλου, εξαιτίας της παραγόμενης ποσότητας πιτσιλιών, καπνού και σκουριάς, που εξαρτάται από το πόσο οξειδωτικό είναι το αέριο. Σκέτο CO₂, αν και χαμηλού κόστους, παράγει πολλές πιτσιλιές. Αυτές οι πιτσιλιές μειώνουν την επικάλυψη του μετάλλου πληρώσεως, αυξάνουν τις δαπάνες συντήρησης και το χρόνο διακοπής της συγκόλλησης. Το Ed, για στερεά μαλακά μέταλλα GMAW σύρματα είναι μικρότερο στο εμπλουτισμένο προστατευτικό CO₂ (αποδοτικότητα απόθεσης περίπου 93%), απ' ότι στα πλούσια μίγματα αερίου σε argon, όπως για παράδειγμα 98% argon + 2% CO₂ ή 95% argon + 5% οξυγόνο, που παράγουν αποδοτικότητα εν απόθεσης περίπου 99% με κατάλληλα σύρματα από αποξειδωμένα, στερεά μαλακά μέταλλα. Τα ειδικά αποξειδωμένα σύρματα κοστίζουν λίγο περισσότερο, όπως και το

προστατευτικό, αέριο αλλά το κόστος αποσβένεται από την υψηλή αποδοτικότητα εν απόθεσης του σύρματος.

6.5.4. Κόστος Εργασιών

Η εργασία είναι ο πιο σημαντικός παράγοντας στο κατασκευαστικό κόστος. Πρέπει να συμπεριληφθεί ακόμα και στη ρομποτική συγκόλληση, είτε άμεσα ως κόστος του συντηρητή ή του προγραμματιστή του ρομπότ, είτε έμμεσα ως κόστος εργασίας για την φόρτωση και την εκφόρτωση του σταθμού εργασίας του ρομπότ. Εκτός από την εναπόθεση του μετάλλου συγκόλλησης, οι συγκολλητές και οι άλλοι εργαζόμενοι πρέπει να προετοιμάσουν τις ενώσεις για τη συγκόλληση, να τοποθετήσουν τα κομμάτια (ή να προγραμματίσουν τον ρομποτικό καθοριστή θέσης για να κάνει αυτή την εργασία), να σφίξουν και να δέσουν τα συγκολλημένα μέρη, να αφαιρέσουν τη σκουριά και τις πιτσιλιές και να επιθεωρήσουν τις τελειωμένες συγκολλήσεις.

Εξοικονομώντας χρήματα από το μέταλλο πληρώσεως, το προστατευτικό αέριο ή από τον εξοπλισμό, θα αποδειχθεί μειονέκτημα για την γρήγορη μείωση του κόστους το κόστος της αυξημένης εργασίας για την απομάκρυνση των πιτσιλιών, την κατασκευή κακών συγκολλήσεων ή για επιπρόσθετη επιθεώρηση που απαιτείται όταν έχουμε συνθήκες κατώτερες από αυτές για την ιδανική συγκόλληση.

Όταν αποφασίζουμε το τωρινό κόστος εργασίας (σε χειροκίνητα συστήματα) για την απόθεση μιας δεδομένης ποσότητας μετάλλου συγκολλήσεως, υπολογίζουμε το χρονικό διάστημα της ημέρας που έχει αφιερώσει ο κάθε συγκολλητής για την εναπόθεση του μετάλλου συγκόλλησης (ή αλλιώς κύκλος καθήκοντος DC duty cycle), καθώς επίσης και τα ποσοστά με τα οποία το μέταλλο εναποτίθεται, ενώ ο εργαζόμενος συγκολλάει (το πραγματικό ποσοστό απόθεσης, $MR \times Ed$, όπου MR είναι το ποσοστό λιωσίματος και Ed είναι η αποδοτικότητα εν απόθεσης). Το κόστος εργασίας ανά λίβρα του εναποτεθειμένου μετάλλου συγκόλλησης μπορεί να υπολογιστεί ως:

ωριαίες αποδοχές + γενικά έξοδα

$$MR \times Ed \times DC$$

Η επιρροή του ποσοστού απόθεσης και του κύκλου καθήκοντος στο σχετικό κόστος της εργασίας και στα γενικά έξοδα, παρουσιάζονται στο σχήμα 6.3. Διάφορα χαρακτηριστικά γνωρίσματα αποκαλύπτονται εδώ. Κατ' αρχάς, οι δαπάνες εργασίας είναι πολύ υψηλές όταν τα ποσοστά εν απόθεσης είναι χαμηλά. Σχετικά μικρές αλλαγές στο ποσοστό συγκόλλησης, προκαλούν μεγάλες αλλαγές στο κόστος. Οι δαπάνες εργασίας είναι σχετικά χαμηλές, όταν οι διαδικασίες συγκόλλησης επιτρέπουν να χρησιμοποιηθούν υψηλοί ρυθμοί απόθεσης και ακόμη και μικρές αλλαγές σ' αυτούς τους ρυθμούς προκαλούν σημαντικές αλλαγές στο κόστος εργασίας. Τέλος, μικρές αλλαγές στην αποτελεσματικότητα του χειριστή, όπως αυτή μετριέται από τον κύκλο καθήκοντος, μπορούν να έχουν μεγάλη επίδραση στο συνολικό κόστος.

Με άλλα λόγια, πρέπει να δώσουμε προσοχή στο να αυξήσουμε τα ποσοστά απόθεσης ($MR \times Ed$ ή ποσοστό λιωσίματος επί την αποτελεσματικότητα εν απόθεσης), καθώς επίσης και το arc-on time, είτε οι άνθρωποι κάνουν τη συγκόλληση είτε τα ρομπότ. Με την αύξηση των ποσοστών απόθεσης από 2 σε 4lb/h (0.9-1.8kg/h), οι σχετικές δαπάνες μπορούν να μειωθούν από 50 σε 25 μονάδες ή 50%. Το ίδιο, 2 lb/h (0,9kg/h) αλλάζει σε 20lb/h (9kg/h) το ποσοστό απόθεσης, μειώνει ακόμα τις δαπάνες από 5 σε 4 μονάδες ή 20%.

Με την αύξηση του κύκλου καθήκοντος από 25% σε 50%, όταν αποθέτουμε μέταλλο συγκόλλησης με ρυθμό 4lb/h (1,8kg/h), το κόστος ανά λίβρα για εργασία μπορεί να μειωθεί από 25 σε 12,5 μονάδες. Ή αν η εργασία και τα γενικά έξοδα είναι 15€/h για τη χειρωνακτική συγκόλληση, το κόστος ανά λίβρα για το μέταλλο συγκόλλησης μπορεί να μειωθεί κατά 7,50€

Οι ίδιες μειώσεις των σχετικών δαπανών του υλικού πληρώσεως μετάλλων, ισχύουν και για τη ρομποτική συγκόλληση, εκτός του ότι

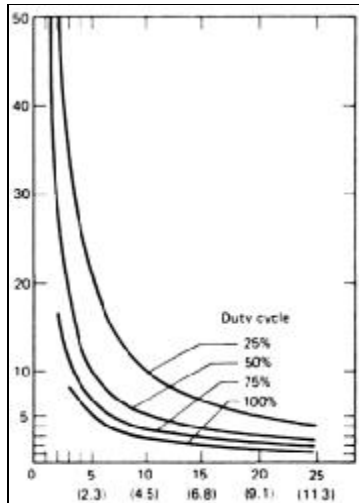
αυξάνοντας την παραγωγικότητα ενός ρομπότ κατά 50%, θα πέσει στο μισό ο χρόνος απόσβεσης του ρομποτικού σταθμού εργασίας.

6.5.5. Συνολικό κόστος συγκόλλησης

Για να υπολογίσουμε το συνολικό κόστος συγκόλλησης, τα προηγούμενα τρία στοιχεία (κόστος μετάλλου πληρώσεως, δαπάνες αερίου και δαπάνες εργασίας) πρέπει να προστεθούν. Οι σχετικές επιδράσεις στο συνολικό κόστος έχουν συγκεντρωθεί στο σχήμα 6.3. Σ' αυτό το παράδειγμα, η εργασία και τα γενικά έξοδα έχει θεωρηθεί ότι είναι 15€/h, έχουν χρησιμοποιηθεί τιμές του 1982 για να υπολογίσουμε το κόστος του μετάλλου πληρώσεως και τις δαπάνες αερίου σ' αυτά τα παραδείγματα.

Σύμφωνα με την ανάλυση στο σχήμα 6.4, ράβδοι ηλεκτροδίων 1/8 in(3,2mm) E7018 SMAW συγκρίνονται με καλώδια Verti-Cor 0,052 in(1,3mm), όσον αφορά τα κόστη στη συγκόλληση από κάθετη θέση.

Ο κύκλος καθήκοντος του συγκολλητή αποφασίστηκε σε 30% για ράβδους ηλεκτροδίων και 45% για σύρματα με πυρήνα. Τα συγκολλητικά ρομπότ δεν έχουν τεθεί σε λειτουργία για αρκετό διάστημα, ώστε να δώσουν συγκρίσιμους κύκλους καθήκοντος για ένα σύρμα με πυρήνα, αλλά ένας ολοκληρωμένος ρομποτικός σταθμός εργασίας με 2 ή περισσότερων καθαριστών θέσεως μπορεί να δώσει ένα κύκλο καθήκοντος με επιβάρυνση της τάξεως του 75-80%. Αφού κανένας δεν έχει ικανοποιητική εμπειρία με τα ρομπότ, στο σχήμα 6.4 δεν έχει περιληφθεί κόστος ανάλυσης.



Σχήμα 6.3 Η επίδραση του ποσοστού απόθεσης (αποδοτικότητα χρονικής απόθεσης ποσοστού τήξης) και η αποτελεσματικότητα του συγκολλητή (κύκλος καθήκοντος) στα εργατικά κόστη και στις γενικές δαπάνες.

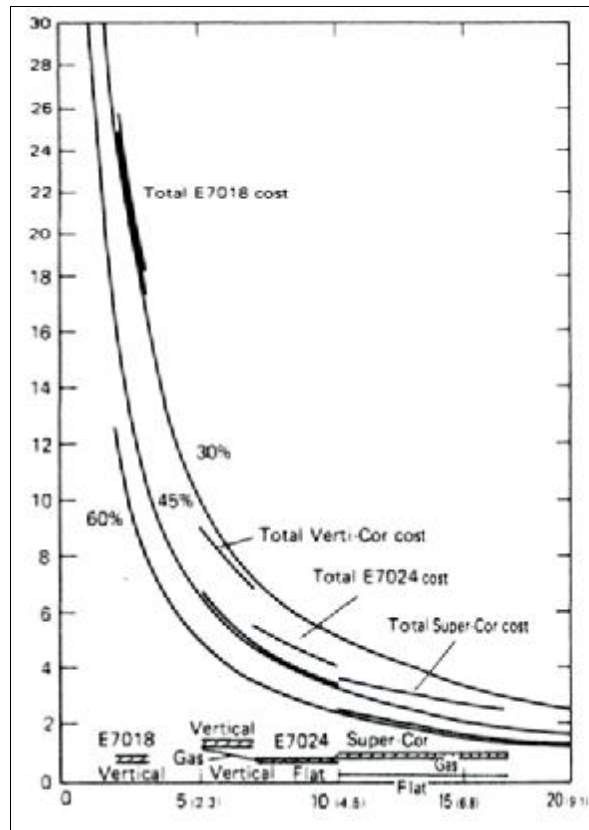
Επεξήγηση

Εξαιτίας των χαμηλών ρυθμών εν απόθεσης για τα καλυμμένα SMAW ηλεκτρόδια, όταν συγκριθούν με σύρματα με πυρήνα που λιώνει εύκολα, μικρές βελτιώσεις έχει αποδειχθεί ότι μειώνουν τα εργατικά κόστη σημαντικά. Για συγκολλήσεις που έχουν πραγματοποιηθεί με καλυμμένα ηλεκτρόδια έχουν υπολογιστεί ότι είναι περίπου 22 €/lb(48€/kg). Για Verti-Cor σύρματα που ικανοποιούν την απαίτηση E70T-1, πάντως, και οι δύο ρυθμοί εν απόθεσης και οι κύκλοι καθήκοντος βελτιώνονται, μειώνοντας το εργατικό κόστος της συγκόλλησης περίπου σε 8 €/lb(18€/kg). Αυτή η διαφορά των 14 €/lb(31€/kg) είναι πολύ παραπάνω από την προσδοκία της απόσβεσης των υψηλότερων δαπανών των Verti-Cor συρμάτων και της ανάγκης για ένα προστατευτικό αέριο. Οι δαπάνες υλικών διαφέρουν κατά 0,50€/lb(1,10€/kg) αφήνοντας ένα χρηματικό απόθεμα των 7,50€/lb(16,50€/kg). Ακόμα και τα καλυμμένα ηλεκτρόδια να ήταν δωρεάν, δεν θα συνέφερε ένα εργοστάσιο να τα χρησιμοποιεί έναντι των συρμάτων με πυρήνα που λιώνει. Αν ένας ρομποτικός σταθμός συγκόλλησης χρησιμοποιούνταν, ο περαιτέρω αυξημένος arc-on χρόνος, προφανώς θα ήταν ίσος με το να πάρουμε σύρματα με πυρήνα δωρεάν.

Πάλι, το κλειδί για αυτή την αποταμίευση είναι οι μειωμένες δαπάνες εργασίας, εάν χρησιμοποιούνται άνθρωποι συγκολλητές. Εάν

χρησιμοποιούνται ρομπότ, το μεγαλύτερο μέρος από τις δαπάνες εργασίας μεταφέρονται στις κύριες δαπάνες, οι οποίες μπορούν να αποσβεστούν, ενώ οι δαπάνες εργασίας για τη χειρωνακτική συγκόλληση παραμένουν ένα σταθερό μέρος των συνολικών δαπανών συγκόλλησης. Οι ωριαίες δαπάνες εργασίας για τη χειρωνακτική συγκόλληση αυξάνονται αναλογικά προς τις δαπάνες για ηλεκτρόδια και αέριο. Οι δαπάνες εργασίας ανά ώρα για τη ρομποτική συγκόλληση παραμένουν χαμηλές, εφ' όσον σχεδιάζεται ο σταθμός εργασίας για λειτουργία με ρομπότ.

Η αύξηση της αποδοτικότητας εργασίας ακόμη και ελαφρώς έχει μια μεγάλη επίδραση στις δαπάνες συγκόλλησης, όταν η εργασία γίνεται με το χέρι ή ακόμα και όταν χρησιμοποιείται μια ημιαυτόματη διαδικασία συγκόλλησης. Η μη αλλαγή των ηλεκτροδίων έχει αρκετά μεγάλο όφελος. Αλλά, η αντικατάσταση του ηλεκτροδιούχου σύρματος είναι ένας σημαντικός παράγοντας για τις διαδικασίες τροφοδοσίας των συρμάτων. Εντούτοις, ένας ρομποτικός σταθμός εργασίας μπορεί να περιλαμβάνει μεγάλα τύμπανα τροφοδοσίας σύρματος, αντί τυλιγμένου σύρματος, τα οποία μειώνουν ουσιαστικά τον χρόνο αλλαγής των συρμάτων. Ευκολότερη αφαίρεση σκουριάς (ή καθόλου σκουριάς) βοηθάει. Ένα πιο σταθερό τόξο, επίσης βοηθάει. Ένας ρυθμός απόθεσης των 5lb/h (2,3kg/h) και με αμοιβές και γενικά έξοδα στα 15€/h, αυξάνοντας την αποδοτικότητα ενός χειρωνακτικού συγκολλητή από 30 σε 35%, μειώνει το κόστος συγκολλητικού μετάλλου κατά 1,40€/lb (3,00€/kg). Αυτή η αποταμίευση από μόνη της μπορεί να αποπληρώσει όλα τα μέταλλα πληρώσεως, καθώς και τα προστατευτικά αέρια.



Σχήμα 6.4 Οι ολικές δαπάνες για Verti-Cor, Flux-Cor, E7018 και E7024 συγκρίνονται όταν εξετάζονται το κόστος αερίου, ο κύκλος καθήκοντος, το κόστος μετάλλου πλήρωσεως, ο ρυθμός εν απόθεσης και οι εργατικές δαπάνες. Εδώ οι εργατικές και οι γενικές δαπάνες έχουν υποτεθεί να είναι 15 €/hr.

6.5.6. Ο σχεδιασμός των κόμβων εξοικονομεί χρήματα

Εξοικονομήσεις είναι επίσης δυνατές με τη μείωση του συγκολλητικού μετάλλου που απαιτείται για να κατασκευαστεί ένας κόμβος. Το κενό κόμβου έχει ως σκοπό να παρέχει χώρο σε ένα ηλεκτρόδιο συγκόλλησης να φθάσει στην ένωση, καθώς επίσης και για να εξασφαλίσει πλήρη τήξη στη συγκόλληση. Οι περισσότερες συγκολλήσεις που σχεδιάζονται για τους ανθρώπινους χειριστές έχουν υπερσυγκολληθεί για να έχουμε σχετικά καλά αποτελέσματα. Απλώς, αλλάζοντας την περιληφθείσα γωνία αυλακιού V μιας ένωσης από 90° σε 60°, θα μειώσει τις απαιτήσεις μετάλλων συγκόλλησης κατά 40%, Διάφοροι σημαντικοί προμηθευτές μετάλλων πλήρωσεως

παρέχουν λεπτομερείς πίνακες για τον υπολογισμό των όγκων των διάφορων ενώσεων συγκόλλησης.

6.6. ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΕΞΕΤΑΣΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΞΟΥ

Το σχήμα 6.5 παρουσιάζει 12 συγκολλημένα μέρη φτιαγμένα από ρομποτικούς σταθμούς εργασίας και την αύξηση παραγωγικότητας που παρατηρήθηκαν σε μια έρευνα της ESAB. Η παραγωγικότητα μετρήθηκε σε σχέση με την ποσότητα συγκολλητικού μετάλλου που αποτέθηκε. Η ελάχιστη αύξηση στην παραγωγικότητα που καταγράφηκε είναι 60% και η μέγιστη είναι 860%. Τα προϊόντα στο σχήμα ποικίλουν από πλαίσια φορτηγών, ως ένα ποδήλατο γυμναστικής. Αυτό που δεν παρουσιάζεται είναι η προσπάθεια, ο πόνος και η απογοήτευση που βιώνεται από τους μηχανικούς που εξήγαγαν αυτά τα αποτελέσματα. Το επόμενο παράδειγμα θα εξηγήσει όλα αυτά.

6.6.1. Εμπειρίες που αποκομίσθηκαν από την ρομποτική συγκόλληση τόξου

Αυτό το παράδειγμα περιλαμβάνει μια σειρά προϊόντων που έχουν παραχθεί από την General Electric's Mobile Radio Department στο Lynchburg της Βιρτζίνια. Μια χειροκίνητη MIG διαδικασία αντικαταστάθηκε από μια GMAW διαδικασία με τον καθοριστή θέσεως IRGB της ASEA και τον MHS150 της ESAB. Οι εμπειρίες της ρομποτικής συγκόλλησης που απέκτησε η G.E. στην εφαρμογή αυτή περιλαμβάνονται στην παρακάτω λίστα:

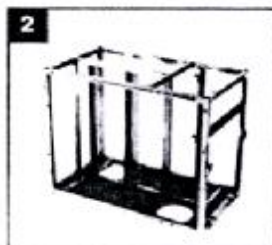
- Είναι καλύτερο να αρχίσει κάποιος με μικρά κομμάτια, αντί των συνθέτων. Υπάρχει ένας μεγάλος πειρασμός να αρχίσει με τις σύνθετες εφαρμογές, που θα αποφέρουν υψηλότερη αμοιβή. Αυτό είναι ένα φοβερό λάθος. Είναι συνετό να αρχίσει πρώτα με κάτι απλό.
- Οι μικρές συναρμολογήσεις είναι ευκολότερο να ενσωματωθούν σε μια κατασκευή, σε αντίθεση με τις μεγάλες. Παρέχουν καλύτερη δυνατότητα πρόσβασης και μεγαλύτερη επαναληψιμότητα. Κομμάτια με σύντομες

συγκολλήσεις και σύντομα προγράμματα, απαιτούν λιγότερο χρόνο να τοποθετηθούν και να προγραμματιστούν. Οι συγκολλήσεις πολύπλοκου προγραμματισμού, πρέπει να περιοριστούν σε κομμάτια με υψηλή αγοραστική ζήτηση και υψηλού ποσοστιαίου κέρδους.

- Οι διαδικασίες κατασκευής πριν από τη συγκόλληση πρέπει να διατηρήσουν ανοχές που να είναι συμβατές με τη δυνατότητα του ρομπότ. Τα υπάρχοντα μέτρα ελέγχου ποιότητας πρέπει να αναθεωρηθούν και να τροποποιηθούν, για να εξασφαλίσουν ότι αυτές οι ανοχές ικανοποιούνται.
- Βελτιωμένες δεξιότητες των χειριστών, καθώς και εργαλεία, θα απαιτηθούν ως μέρος της προετοιμασίας των κομματιών. Εν ολίγοις, πρέπει να φτιάξει κάποιος τα κομμάτια εξ' αρχής σωστά, αντί τα σφάλματα να αντισταθμίσει την προσπάθεια με διορθώσεις στο σταθμό συγκόλλησης, που δεν είναι μόνο πιο ακριβό, αλλά συχνά δεν θα λειτουργήσει ως σύστημα.
- Η επαναληψιμότητα πηγαίνει μαζί με την προετοιμασία των κομματιών. Αποκτώντας ένα σταθερό απόθεμα κομματιών, μπορεί να απαιτήσει την αλλαγή του προσχεδιασμένου εξοπλισμού κατασκευής, την αλλαγή των χειριστών των μηχανημάτων ή την αλλαγή των προμηθευτών υλικών.
- Μια καλή οργάνωση του ελέγχου της ποιότητας είναι απαραίτητη. Μια λεπτομερής μελέτη του ελέγχου της ποιότητας πρέπει να γίνει πριν από την αγορά του ρομπότ για να καθοριστεί η επαναληψιμότητα των εφαρμογών. Αυτή η μελέτη πρέπει να περιλαμβάνει αρκετά είδη του ίδιου τύπου εφαρμογών και πρέπει να λάβει υπόψη τις ανοχές. Τα αποτελέσματα μπορούν να συνδυαστούν στατιστικά και να συγκριθούν με τις προδιαγραφές του ρομπότ και του καθοριστή θέσης (positioner), για να αποφασίσουμε την συμβατότητα με το ρομποτικό σταθμό συγκόλλησης.



(1) Κυρτό πλαίσιο
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 200%



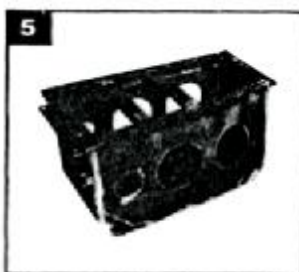
(2) Ράφι
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 200%



(3) Πλαίσιο ποδηλάτου γυμναστικής
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 136%



(4) Μηχανική βάση
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 250%



(5) Περίβλημα κιβωτίου ταχυτήτων
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 112%



(6) διαγώνιο πλαίσιο φορτηγού
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 100%



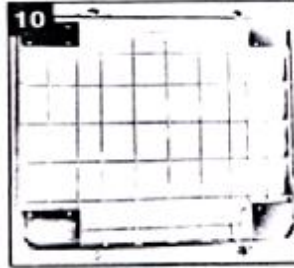
(7) πλαίσιο καθίσματος αυτοκινήτου
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 60%



(8) τμήμα εμπορευματοκιβωτίου
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 65%



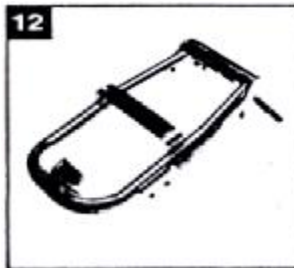
(9) Θήκη μπαταρίας
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 129%



(10) Δίσκος για καροτσάκι
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 140%



(11) Μέρος συνδέσεων
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 860%



(12) Λεπτομέρεια πλαισίου μοτοσικλέτας
Αύξηση παραγωγικότητας με χρήση ρομπότ: 439%

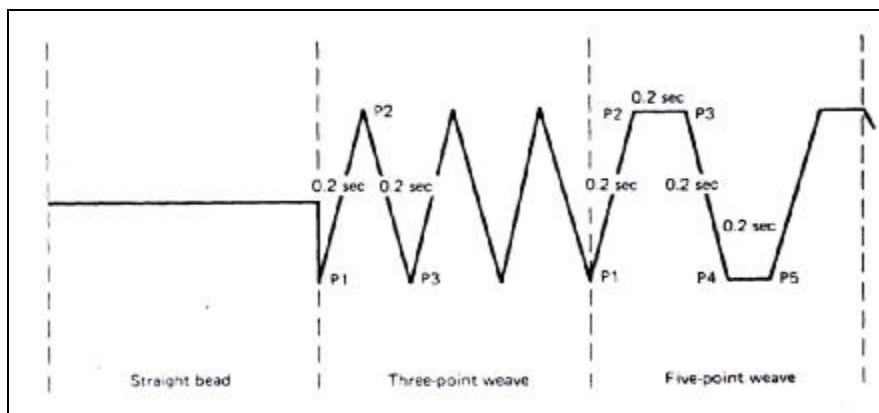
Σχήμα 6.5. Δώδεκα προϊόντα που παράγονται με ρομποτική συγκόλληση.
(1) Κυρτό πλαίσιο, (2) ράφι, (3) πλαίσιο ποδηλάτου γυμναστικής, (4) μηχανική βάση, (5) περίβλημα κιβωτίου ταχυτήτων, (6) διαγώνιο πλαίσιο φορτηγού, (7) πλαίσιο καθίσματος αυτοκινήτου, (8) τμήμα εμπορευματοκιβωτίου, (9) θήκη μπαταρίας, (10) δίσκος για καροτσάκι, (11) μέρος συνδέσεων, (12) λεπτομέρεια πλαισίου μοτοσικλέτας

6.6.2. Πρότυπα συγκολλήσεως

Για να συγκολλήσουμε καμπίνες αυτοκινήτων και πόρτες, τρεις τύποι προτύπων συγκόλλησης εξετάστηκαν (σχήμα 6.6): μια ευθεία γραμμή συγκόλλησης, μια ύφανση τριών σημείων και μια ύφανση πέντε σημείων. Όλες οι σφαιροειδείς συγκολλήσεις έγιναν σε φύλλο χάλυβα πάχους 0,050in(1,3mm). Οι παράμετροι συγκόλλησης GMAW ρυθμίστηκαν για να παρέχουν την καλύτερη εμφανισιακά σφαιρική συγκόλληση για κάθε σχέδιο.

Ακολούθως, το μέγεθος της χαραμάδας και η θέση των επαναλαμβανόμενων κόμβων συγκόλλησης ποίκιλαν, καθώς οι παράμετροι συγκόλλησης παρέμειναν σταθερές. Πειραματικές συναρμολογήσεις συγκολλήθηκαν και οι προκύπτουσες ενώσεις εξετάστηκαν με τα ακόλουθα αποτελέσματα:

- Οι ευθείες γραμμές συγκολλήσεως είναι κατάλληλες για κόμβους εκτός θέσης, αλλά δεν είναι πολύ καλές για χαραμάδες.
- Το σχέδιο ύφανσης τριών σημείων είναι το αποτελεσματικότερο για να εφαρμόζεται σε λάθος τοποθετήσεις και κενά. Η πέντε σημείων ύφανση παρείχε καλή κάλυψη, αλλά άφηνε χτυπήματα και πτυχές, λόγω των γρήγορα μεταβαλλόμενων ταχυτήτων που απαιτούνται στο λεπτό φύλλο, για να αποτρέψουν την πυράκτωσή του.



Σχήμα 6.6 Σχέδια ύφανσης GMAW για τη ρομποτική συγκόλληση τόξου.

6.6.3. Επανασχεδιασμός προϊόντος

Όταν ερχόμαστε αντιμέτωποι με σημαντικές αλλαγές σε αναπόσπαστα εξαρτήματα, και πριν της συγκολλήσεως παραγωγή, αποδείχθηκε πιο οικονομικό στην εγκατάσταση της G.E. να ξανασχεδιάσουμε τα κομμάτια που θα συγκολληθούν. Παραδείγματος χάριν, μία από τις καμπίνες προκάλεσε προβλήματα στην επαναληψιμότητα, εξαιτίας της διαρρύθμισης των κόμβων και της δυνατότητας πρόσβασης σ' αυτούς. Ξανασχεδιάστηκε έτσι ώστε η ρομποτική συγκόλληση να εμφανίζεται πριν από την συγκόλληση σημείων στο εξάρτημα. Οι κόμβοι συγκόλλησης είναι τώρα πιο προσβάσιμοι. Αυτές οι σχεδιαστικές αλλαγές, αναμένονται να οδηγήσουν σε μια ουσιαστική μείωση κόστους, λόγω του μειωμένου χρόνου συγκόλλησης και της μειωμένης εργασίας στις διαδικασίες διαμόρφωσης.

6.6.4. Σχεδιασμός προσαρτημάτων

Διάφορα γενικά συμπεράσματα που συνάγονται στην προηγούμενη μελέτη εφαρμογής είναι σχετικά, όποτε μια νέα συγκόλληση προσαρτήματος απαιτείται.

- Ξεκινήστε με πολύ απλά προσαρτήματα ή σφίξτε το κομμάτι στο τραπέζι τοποθέτησης. Βελτιστοποιήστε την τοποθέτηση του κομματιού για να παρέχετε την μεγαλύτερη δυνατότητα πρόσβασης και γωνία του πιστολέτου συγκόλλησης που μπορεί να αναπτύξει το ρομπότ εργασίας.
- Χρησιμοποιήστε την ήδη υπάρχουσα εμπειρία, ώστε χειροκίνητα να συγκολλήσετε ένα συγκεκριμένο κομμάτι, για να δώσετε τις καλύτερες παραμέτρους για τη ρομποτική συγκόλληση.
- Όταν τα προβλήματα τοποθέτησης των κομματιών έχουν λυθεί και πολλά πειραματικά κομμάτια έχουν συγκολληθεί, μόνο τότε να

λάβετε υπόψη μια πιο μόνιμη τοποθέτηση των προσαρτημάτων.

- Για να μειώσουμε τον χρόνο εγκαταστάσεις και επαναληψιμότητας τροχιάς, προγράμματα συγκόλλησης πολλαπλών βημάτων πρέπει να αποφευχθούν. Εντούτοις, σε μερικές περιπτώσεις πιο σύνθετα προγράμματα είναι απαραίτητα λόγω του μεγέθους των κομματιών ή για να αποφύγουμε πολύπλοκες αλλαγές στα προσαρτήματα και στη παραγωγή.
- Αερόψυκτα ή υδρόψυκτα τμήματα μπορεί να απαιτηθούν, για να μειώσουν την πυράκτωση στα λεπτά κομμάτια. Αυτά τα τμήματα μπορούν να περιληφθούν στα προσαρτήματα ή να συγκρατούνται από σφιγκτήρες.

6.6.5. Μέγεθος και βάρος των κομματιών προς κατεργασία

Ο τοποθετητής και τα εξαρτήματα πρέπει να αγοράζονται ή να σχεδιάζονται, ώστε να είναι συμβατά με το μέγεθος και το βάρος των κομματιών και τις ανοχές του ρομπότ. Μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στο κέντρο βάρους του κομματιού κατά το σχεδιασμό ενός συστήματος. Ένα βαρύ κομμάτι ή ένα εξάρτημα που δεν είναι σε ισορροπία στο σταθμό συγκράτησης, μπορεί να υπερφορτώσει τις λειτουργίες κλίσης και περιστροφής του τοποθετητή. Η επαρκής τοποθέτηση πρέπει να επιτρέπει στο κομμάτι να περιστρέφεται και να κλίνει προς οποιαδήποτε κατεύθυνση. Σε συνάρτηση με αυτήν την απαίτηση, το ρομπότ πρέπει αρχικά να προγραμματιστεί σε μια ασφαλή θέση ή εκτός της γραμμής, για να αποφύγουμε τυχαία ζημιά του τοποθετητή, καθώς αυτός είναι σε λειτουργία.

6.6.5.1 Μερικός εντοπισμός θέσεων Όταν ο σχεδιασμός των προσαρτημάτων οριστικοποιηθεί, πρέπει να προνοηθεί η εξακρίβωση της θέσης του κομματιού με ακρίβεια και η ασφαλής στερέωσή του στον σταθμό τοποθέτησης.

6.6.5.2 Στερέωση

Πρέπει να γίνει έναρξη με τη χειροκίνητη στερέωση, πριν από τη μετάβαση στα υδραυλικά, πνευματικά ή ηλεκτρικά συστήματα. Χρησιμοποιούμε κοχλίες, σφιγκτικές πένσες συγκολλήσεως ή σφιγκτήρες τραβέρσων. Περιπλοκότερα συστήματα μπορούν να εξεταστούν εφόσον ο πειραματισμός έχει καθορίσει τα ακριβή μεγέθη, τη θέση των σφιγκτήρων και τα απαιτούμενα περιθώρια για τις κινήσεις του ρομπότ και του τοποθετητή.

6.6.5.3 Οργάνωση

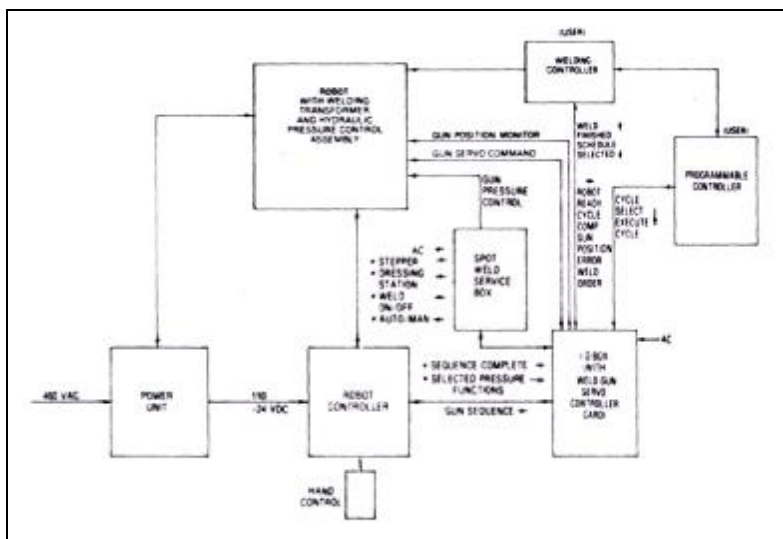
Η φόρτωση κομματιών για ένα δεύτερο εξάρτημα, πρέπει να λαμβάνει χώρα ταυτόχρονα με την ρομποτική συγκόλληση ρομπότ στη πρώτη συναρμολόγηση. Με αυτόν τον τύπο συστήματος, ο χρόνος φόρτωσης του κομματιού δεν είναι κρίσιμος, εφ' όσον είναι λιγότερος από τον χρόνο του κύκλου εργασίας του ρομπότ συγκόλλησης. Επιθυμητή η προμήθεια ενός δεύτερου MIG ή TIG σταθμού συγκόλλησης στον χώρο γύρω από το ρομπότ για καρφωτές συγκολλήσεις και για ρετουσάρισμα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

Η ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΗΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

7.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα κεφάλαια 5 και 6 περιγράφουν το σχεδιασμό για ρομποτικές εφαρμογές συγκόλλησης σημείου και τόξου. Αυτό το κεφάλαιο περιγράφει τις λεπτομέρειες λειτουργίας της ρομποτικής συγκόλλησης, με απεικόνιση διάφορων εφαρμογών. Στην κάθε εφαρμογή το βασικό ρομποτικό σύστημα επεκτείνεται όπου απαιτείται για να εκτελέσει την αυτόματη συγκόλληση σημείου ή αντίστοιχα τόξου για βαριά αντικείμενα. Το σχήμα 7.1 απεικονίζει το διάγραμμα μιας εφαρμογής συγκόλλησης σημείου, αναπτυγμένης ώστε να λειτουργεί με εξοπλισμό παρεχόμενο από το χρήστη. Η ενσωμάτωση των εξοπλισμών πρέπει να είναι απόλυτα ολοκληρωμένη, για να μπορεί το σύνολο εύκολα να εγκατασταθεί και να λειτουργήσει.



Σχήμα 7.1 Σχηματικό διάγραμμα για ένα σύστημα συγκόλλησης σημείων, που αυξάνεται για να λειτουργήσει με τον παρεχόμενο από τον χρήστη εξοπλισμό.

7.2. ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΣΗΜΕΙΟΥ

Η μονάδα της αυτόματης εργασίας ενός ρομπότ λέγεται κύκλος. Σε μια δεδομένη αυτοματοποιημένη εφαρμογή ενός ρομπότ, το σχέδιο κάθε κομματιού απαιτεί έναν συγκεκριμένο κύκλο. Μέσα σε κάθε κύκλο, επιμέρους στοιχεία που τα αποκαλούμε «τροχιές» καθορίζουν μικρότερα, αλλά αυτοτελή στοιχεία. Κάθε τροχιά αποτελείται από σημεία, θέσεις στις οποίες το ρομπότ είτε θα κάνει μια συγκόλληση σημείου, είτε απλά θα τις ξεπεράσει, κάτι που εξαρτάται από το πρόγραμμα. Σε μια αυτοματοποιημένη εφαρμογή κομμάτια του μπροστινού προφυλακτήρα και της μπροστινής πόρτας μπορεί να είναι κοινά σε αρκετούς τύπους κομματιών του αμαξώματος, έτσι λοιπόν οι τροχιές για τον μπροστινό προφυλακτήρα, το μπροστινό παράθυρο και για τα περιγράμματα της μπροστινής πόρτας μπορούν να επαναληφθούν για αμαξώματα δίπορτα, τετράπορτα και station wagon. Μετά στις κοινές τροχιές πρέπει να προστεθούν τροχιές ξεχωριστές για κάθε σημείο του αμαξώματος, ώστε να καθορίσουν τους ειδικούς κύκλους για κάθε σχέδιο του αμαξώματος που κινείται στο χώρο εργασίας του ρομπότ. Καθώς τα κομμάτια τοποθετούνται στο χώρο εργασίας του ρομπότ, ο εξοπλισμός της εφαρμογής δίνει σήμα στο σύστημα του ρομπότ ποιος κύκλος εργασίας απαιτείται.

Τα σημαντικότερα συστατικά του συστήματος συγκόλλησης σημείων είναι τα ακόλουθα:

Ρομπότ. Σε αυτό το παράδειγμα πρόκειται για ένα ρομπότ CYBOTECH 6 αξόνων, που συνδυάζεται με ένα μετασχηματιστή συγκόλλησης, το πιστολέτο συγκόλλησης και μια μονάδα εξάρτημα ελέγχου υδραυλικής πίεσης, συμπεριλαμβανομένου και του χειριστηρίου πίεσης του πιστολέτου και του μηχανισμού ελέγχου της θέσης του πιστολέτου.

Μονάδα ισχύος. Η τυποποιημένη μονάδα ισχύος λειτουργεί για 460 VAC και τροφοδοτεί με υδραυλική και ηλεκτρική ισχύ το ρομποτικό σύστημα.

Χειρισμός χειρός. Ο τυπικός χειρισμός χειρός, προβλέπει λειτουργίες καθοριζόμενες από τον χρήστη. Κατάλληλο λογισμικό επιτρέπει τη χρήση διάφορων κουμπιών πολλαπλής λειτουργίας.

Ελεγκτής Ρομπότ. Ο ελεγκτής ρομπότ (που καλείται RC-6 στο σύστημα CYBOTECH) χρησιμοποιεί ένα λογισμικό για την εφαρμογή συγκόλλησης σημείου για να πραγματοποιήσει τους απαραίτητους ελέγχους και να διασυνδεθεί με προγραμματιζόμενα χειριστήρια παρεχόμενα από τους χρήστες.

Κιβώτιο Διασύνδεσης Εισόδου/Εξόδου (I/O Box). Ένα ειδικό I/O κιβώτιο, που προσθέτει στις συνηθισμένες I/O λειτουργίες μια κάρτα ελέγχου του πιστολέτου συγκόλλησης, παροχή ηλεκτρικής ισχύος και είσοδο εναλλασσόμενου ρεύματος. Το I/O κιβώτιο διατηρεί την συνήθη λειτουργική σχέση του με τον ελεγκτή ρομπότ, παρέχοντας στη διασύνδεση του ρομποτικού συστήματος τον εξοπλισμό που απαιτείται για την εφαρμογή, αλλά δεν είναι μέρος του ρομποτικού συστήματος.

Κάρτα ελέγχου σερβομηχανισμού πιστολέτου συγκόλλησης. Τοποθετημένη στο I/O κιβώτιο, η κάρτα ελέγχου σερβομηχανισμού πιστολέτου συγκόλλησης διασυνδέεται με τον RC-6 ελεγκτή, τη μονάδα ελέγχου της υδραυλικής πίεσης, το I/O κιβώτιο, το χειριστήριο συγκόλλησης και τον προγραμματιζόμενο ελεγκτή. Η κάρτα ελέγχου σερβομηχανισμού πιστολέτου συγκόλλησης είναι εξαιρετική στη συγκόλληση σημείου - ελέγχει τη θέση των σαγονιών του πιστολέτου συγκόλλησης, συγχρονίζοντας το πιστολέτο με το υπόλοιπο σύστημα της συγκόλλησης σημείου.

Κιβώτιο υπηρεσιών συγκόλλησης σημείου. Το κιβώτιο υπηρεσιών συγκόλλησης σημείου είναι μοναδικό στη συγκόλληση σημείου. Περιέχει τους χειροκίνητους ελέγχους για την τεχνική εξυπηρέτηση και τη συντήρηση του πιστολέτου συγκόλλησης και τους ελέγχους για τη ρύθμιση των πιέσεων λειτουργίας για το υδραυλικό σύστημα χειρισμού του πιστολέτου. Οι λειτουργίες του περιλαμβάνουν τα ακόλουθα:

1. Παρέχει τοπική χειροκίνητη λειτουργία για την συγκόλληση.
2. Παρέχει προσαρμογή του ρεύματος συγκόλλησης κατά τη διάρκεια της λειτουργίας.
3. Εξασφαλίζει τη συντήρηση στη διάρκεια λειτουργίας του πιστολέτου, όπως μέριμνα για τα άκρα ή αντικατάσταση των φθαρμένων ηλεκτροδίων.
4. Εξασφαλίζει τα μέσα για την εξάσκηση της σωστής πίεσης στα άκρα κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.

5. Εξασφαλίζει τοπική ή αυτόματη επιλογή της πίεσης στα άκρα του πιστολέτου για κάθε σημείο συγκόλλησης.

Ελεγκτής συγκόλλησης. Ελέγχει τη συγκεκριμένη διαδικασία συγκόλλησης όσον αφορά τη διάρκεια πίεσης και τη θέρμανση που απαιτείται για συγκεκριμένες συγκολλήσεις σημείων.

Προγραμματιζόμενος ελεγκτής. Δίνει σήμα (ειδοποιεί) τον RC-6 για τον απαιτούμενο κύκλο εργασίας και ξεκινάει την εκτέλεσή του. Επίσης κατευθύνει τη δράση του ελεγκτή συγκόλλησης, συντονίζοντας τις παραμέτρους συγκόλλησης που αφορούν κάθε σημείο.

7.2.1. Απαιτήσεις λειτουργίας

Ο μεγαλύτερος χρήστης της συγκόλλησης σημείου είναι η αυτοκινητοβιομηχανία. Τα ρομπότ που ενσωματώνονται στη διαδικασία πρέπει να συγχρονιστούν για να εργαστούν μέσα στον συνολικό ρυθμό της γραμμής παραγωγής. Για κάθε ρομποτικό σταθμό ένας προγραμματιζόμενος ελεγκτής μπορεί να ειδοποιεί το ρομπότ για την άφιξη/αναχώρηση των κομματιών προς κατεργασία και να συντονίζει τη διαδικασία συγκόλλησης του συγκεκριμένου ρομπότ. Ένας ελεγκτής συγκόλλησης θα παράσχει τον ακριβή έλεγχο των πολυάριθμων παραμέτρων που ελέγχουν τη διαδικασία συγκόλλησης για τους διάφορους συνδυασμούς μετάλλων και παχών που έρχονται στο χώρο εργασίας του ρομπότ.

Μέσα σε μια δεδομένη γραμμή, όπως η γραμμή του δαπέδου (underbody line), η γραμμή των πλαϊνών τμημάτων (body-side line) ή η γραμμή του πλαισίου (body-framing line), τμήματα που αποτελούνται από πολλαπλούς σταθμούς εργασίας (παραδείγματος χάριν, ένα ρομποτικό κέλυφος, ένας χειροκίνητος σταθμός και συνήθης εξοπλισμός αυτοματισμού) μπορούν να ελεγχθούν από μεγαλύτερους προγραμματιζόμενους ελεγκτές, τους αποκαλούμενους διαδοχείς (sequencers). Ολόκληρη η γραμμή μπορεί να συντονιστεί από έναν τελικό προγραμματιζόμενο διαδοχέα (sequencer), που ενσωματώνει τη λειτουργία των υποστοιχείων, με το να κινεί κομμάτια κατά

Κεφάλαιο 7^ο: Η λειτουργία της ρομποτικής συγκόλλησης

μήκος της γραμμής μόνο όταν όλοι οι σταθμοί πάνω στη γραμμή έχουν δηλώσει ότι έχουν τελειώσει και είναι έτοιμοι για την επόμενη φάση. Οι πληροφορίες που δίνονται από το δίκτυο των προγραμματιζόμενων ελεγκτών, προέρχονται από τα χειροκίνητα σήματα και τις αυτόματα, από τον εξοπλισμό, υποδεικνυόμενες αλλαγές της θέσης, συμπεριλαμβανομένων και των ρομπότ, κατά μήκος της γραμμής.

Στην αυτόματη εφαρμογή που περιγράφεται εδώ, αυτές είναι οι παράμετροι της διαδικασίας συγκόλλησης σημείων:

Συγκολλήσεις ανά λεπτό: 50 σημεία/ρομπότ

Διάρκεια του κύκλου συγκόλλησης: 1/4 με 1/3sec (τρέχουσα ροή) για κάθε σημείο

Τάση: 6-8 V

Ένταση ρεύματος: 20.000 A

Συχνότητα: 60 κύκλοι/sec

Στις υπάρχουσες εφαρμογές τα ρομπότ κάνουν από 37% έως 75% των συνολικών συγκολλήσεων σημείων σε ένα συγκεκριμένο όχημα.

Ο σχεδιασμός μιας γραμμής παραγωγής συγκόλλησης σημείων περιγράφεται στο κεφάλαιο 5. Σύντομα, οι αρμόδιοι για το σχεδιασμό πρέπει να εξετάσουν τον αποδοτικότερο τρόπο για να κατασκευάσουν τα συγκεκριμένα κομμάτια, την λειτουργία της ροής κατά μήκος της γραμμής, την ανάγκη να επιτρέψουν τη μεταβλητή ροή, την επιλογή ρομπότ ή άλλων μηχανών είναι τις συγκεκριμένες λειτουργίες και πώς όλα τα παραπάνω πρέπει να ενοποιηθούν. Φυσικά, τέτοια στοιχεία όπως τη μετακίνηση υλικών προς και από την συνολική διαδικασία και ο συντονισμός μεταξύ των κυρίων τμημάτων παραγωγής, αποτελούν ζωτικής σημασίας εκτιμήσεις. Παραδείγματος χάριν, αν διάφορα μικρότερα μέρη πρέπει να διατηρήσουν τη συνοχή για να διαμορφώσουν μια μεγαλύτερη υπομονάδα, όπως μια πλαϊνή πλευρά αμαξώματος, ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος να συγκρατηθούν, ώστε τότε να κάνουμε την προκαταρκτική συγκόλληση; Θα πρέπει τα ρομπότ να χρησιμοποιηθούν για να καθορίσουν την στοιχειώδη γεωμετρία των κομματιών ή θα πρέπει να χρησιμοποιηθούν μόνο αφού τα μεγαλύτερα κομμάτια έχουν ενωθεί σταθερά. Μπορούν τα ρομπότ να χρησιμοποιηθούν

για τις μεταβατικές λειτουργίες όπως τους μεταφορείς φόρτωσης/εκφόρτωσης, που τοποθετούν τα μέρη στη θέση για τη συγκόλληση; Σε κάθε περίπτωση, οι αρμόδιοι για το σχεδιασμό πρέπει να βρουν μια μέση λύση μεταξύ των ρομπότ και των άλλων μηχανών, μεταξύ της επιθυμίας για ταχύτητα και της ανάγκης για αξιοπιστία, μεταξύ της ανθρώπινης επέμβασης και της ανάγκης για αυτοματοποίηση.

Η ακόλουθη περιγραφή καλύπτει τη συγκόλληση σημείων από ένα ενιαίο ρομπότ σε ένα ενιαίο κομμάτι. Ο στόχος είναι να διευκρινιστεί πώς ένα σύστημα ρομπότ λειτουργεί σε αυτήν την εφαρμογή.

Το σχήμα 7.2 απεικονίζει έναν κύκλο συγκόλλησης σημείων. Η τροχιά 1 καλύπτει το πλαίσιο της μπροστινής πόρτας και η τροχιά 2 καλύπτει το πλαίσιο της οπίσθιας πόρτας. Η τροχιά 1 αποτελείται από τους αριθμούς 1-14. Το σημείο 1 είναι το εναρκτήριο σημείο ή θέση έναρξης για το ρομπότ. Τα σημεία 2, 3, 4 είναι σημεία μέσω των οποίων το ρομπότ κινείται για να φθάσει στο πρώτο σημείο εργασίας, το 5. Κάθε ένα από τα σημεία εργασίας 5-14 πρέπει να είναι προσδιορισμένα, με ακρίβεια από την άποψη των παραμέτρων συγκόλλησης που απαιτούνται. Τα σημεία προσδιορίζονται από τους αναγνωριστικούς αριθμούς συγκόλλησης, που παρουσιάζονται στο εξωτερικό μέρος της τροχιάς. Κάθε αναγνωριστικός αριθμός συγκόλλησης περιλαμβάνει και τις ηλεκτρικές και μηχανικές παραμέτρους για τη συγκόλληση στο συγκεκριμένο σημείο, όπως έχει υποδειχθεί από τους μηχανικούς συγκόλλησης που είναι υπεύθυνοι για τη εγκατάσταση των παραμέτρων συγκολλησεως για κάθε σημείο, την πίεση που θα ασκηθεί από τα ηλεκτρόδια τη διάρκεια της συγκολλητικής ώθησης και τη διαμόρφωση και ανάπτυξη του παλμού. Οι παράμετροι εφαρμόζονται από το ρομποτικό σύστημα προγραμματιζόμενων αριθμών συγκόλλησης, που διαβιβάζονται από το RC-6 στο κιβώτιο υπηρεσιών συγκόλλησης σημείου και τον χειριστή συγκολλησεως. Οι αριθμοί στις παρενθέσεις είναι προγραμματισμένοι αριθμοί συγκόλλησης. Για κάθε σημείο που πρέπει να συγκολληθεί, το κιβώτιο υπηρεσιών συγκόλλησης σημείου διαβιβάζει τα απαραίτητα σήματα στο εξάρτημα ελέγχου της υδραυλικής πίεσης, για να επιτύχει την ακριβή πίεση και στο χρονοδιάγραμμα της ανάπτυξης της πίεσης στο σημείο κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Οι συνολικές απαιτήσεις ποικίλλουν, ανάλογα με τα μέταλλα που χρησιμοποιούνται, τα πάχη και τον αριθμό παχών που

Κεφάλαιο 7^ο: Η λειτουργία της ρομποτικής συγκόλλησης

συγκαταλέγονται συνολικά. Όλες οι μεταβλητές πρέπει να έχουν προκαθοριστεί και μετά να προγραμματιστούν μέσα στα δεδομένα κάθε τροχιάς που πρόκειται να εκτελέσει το ρομπότ. Ο ελεγκτής συγκόλλησης δίνει το απαιτούμενο ρεύμα συγκόλλησης, που διαμορφώνεται για να παράγει τον κατάλληλο κύκλο θερμότητας σε κάθε συγκολλημένο σημείο.

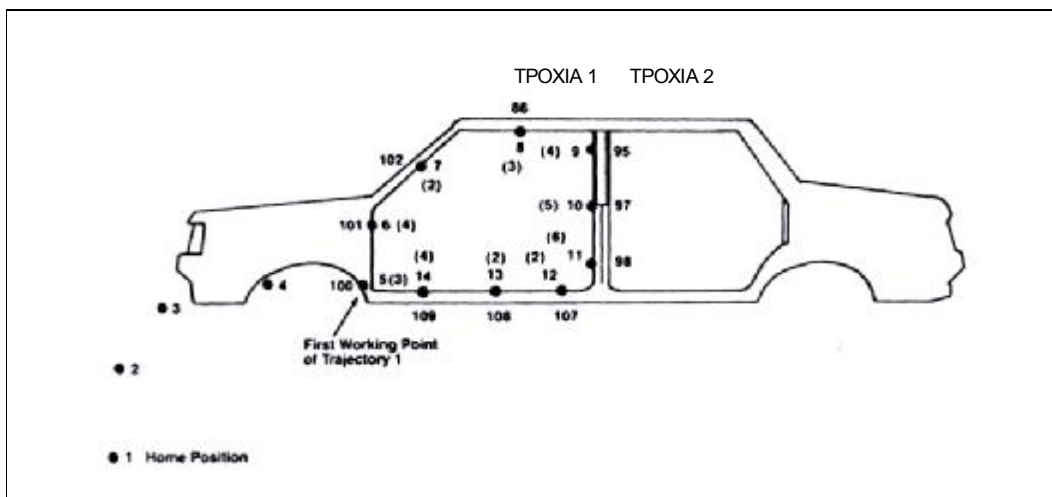
Κατά συνέπεια κάθε σημείο πάνω στο πλαίσιο της πόρτας που πρόκειται να συγκολληθεί, έχει έναν αναγνωριστικό αριθμό συγκόλλησης, αποδιδόμενο από τον χειριστή. Κάθε σημείο εισάγεται σε έναν πίνακα ως αναγνωριστικός αριθμός συγκόλλησης, συμπεριλαμβανομένου του διευκρινισμένου χρονοδιαγράμματος συγκόλλησης. Χρησιμοποιώντας το πληκτρολόγιο ρομποτικού ελεγκτή, ο χειριστής τοποθετεί αυτόν τον πίνακα στη μνήμη του ελεγκτή. Από την άποψη της λειτουργίας του ρομποτικών συστήματος, το χρονοδιάγραμμα συγκόλλησης με αριθμός 1-6 που συνδέεται με κάθε σημείο για κιβώτιο υπηρεσιών συγκόλλησης σημείων, καθορίζει για να καθορίσει την σχέση μεταξύ των αναγνωριστικών αριθμών πίεσης και των απαιτούμενων παραμέτρων συγκόλλησης. Παραδείγματος χάριν, ο αναγνωριστικός αριθμός πίεσης 101 είναι το σημείο 6 στην τροχιά εργασίας του ρομπότ και έχει ανατεθεί στο χρονοδιάγραμμα συγκόλλησης με αριθμό 4. Το χρονοδιάγραμμα συγκόλλησης 4 επιλέγει την συγκεκριμένη πίεση, ρυθμιζόμενη από το κιβώτιο υπηρεσιών συγκόλλησης σημείων και τον ελεγκτή συγκόλλησης και παρέχει προκαθοριζόμενες ηλεκτρικές παραμέτρους συγκόλλησης.

Έχοντας εισάγει τους αναγνωριστικούς αριθμούς συγκόλλησης και τα συσχετιζόμενα χρονοδιαγράμματα πίεσεως στον πίνακα της μνήμης του ελεγκτή, ο χειριστής τότε διδάσκει στο ρομπότ την τροχιά. Σε αυτό το σημείο, ή μετέπειτα, ο χειριστής μπορεί χρησιμοποιώντας τον χειροκίνητο έλεγχο πολυλειτουργικών ικανοτήτων, να αλληλοσυνδέσει τους αναγνωριστικούς αριθμούς και τα χρονοδιαγράμματα συγκόλλησης για κάθε σημείο πάνω στην τροχιά.

Ο χειριστής μπορεί επίσης να τροποποιήσει τον αναγνωριστικό αριθμό συγκόλλησης, χρησιμοποιώντας τις δυνατότητες που ενσωματώνονται στη λειτουργία του ελέγχου χειρός. Ο χειριστής μπορεί να ελέγξει τις ακριβείς παραμέτρους σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος κάθε τροχιάς συγκόλλησης σημείου, χρησιμοποιώντας τις πληροφορίες που είναι διαθέσιμες μέσω της

Κεφάλαιο 7^ο: Η λειτουργία της ρομποτικής συγκόλλησης

οθόνης του ρομποτικού ελεγκτή. Για κάθε σημείο ο χειριστής μπορεί να ελέγξει: τον αριθμό τροχιάς, τον αριθμό σημείου, την ταχύτητα του ρομπότ που έχει ανατεθεί σε αυτόν τον αριθμό, τον αναγνωριστικό αριθμό συγκόλλησης, το χρονοδιάγραμμα συγκόλλησης που απαιτείται για τη συγκόλληση σημείων και άλλα σχετικά στοιχεία. Στη φάση εκτέλεσης, η οθόνη δείχνει τον τρέχον απολογισμό της προόδου μέσω του κύκλου *under way*, σημείο-σημείο και τροχιά-τροχιά.



Σχήμα 7.2. Ένα παράδειγμα κύκλου συγκόλλησης σημείων.

7.2.2. Διαδικασία λειτουργίας συγκόλλησης

Τα ακόλουθα είναι μια διαδικασία λειτουργίας, από τον εντοπισμό ενός κομματιού στον χώρο εργασίας του ρομπότ, μέχρι την ολοκλήρωση του κύκλου για εκείνο το συγκεκριμένο κομμάτι (σχήμα 7.1).

1. Βασισμένο στην εφαρμογή συστήματος εντοπισμού για ένα δοσμένο κομμάτι, ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής διευκρινίζει έναν αριθμό κύκλων στον ρομποτικό ελεγκτή (επιλογή κύκλου). Εάν ο κύκλος συμφωνεί με έναν κύκλο στη μνήμη του ελεγκτή, η επαλήθευση κύκλων εμφανίζεται, ο ρομποτικός ελεγκτής στέλνει **ROBOT READY** (ρομπότ έτοιμο) και ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής στέλνει **ROBOT EXECUTE**

- (εκτέλεση κύκλου). Ο ρομποτικός ελεγκτής στέλνει το ρομπότ από την θέση εκκίνησης στο πρώτο σημείο εργασίας του κύκλου (σημείο 5 στο σχήμα 7.2).
2. Καθώς το ρομπότ πλησιάζει το πρώτο σημείο εργασίας, ο ρομποτικός ελεγκτής στέλνει το πρόγραμμα συγκόλλησης στο κιβώτιο υπηρεσιών συγκόλλησης σημείων και στον ελεγκτή συγκόλλησης. Το κιβώτιο υπηρεσιών συγκόλλησης σημείων στέλνει την προκαθορισμένη πίεση ελέγχου της τάσης στον υδραυλικό ελεγκτή της πίεσης, βασισμένο στο πρόγραμμα πίεσης που διαβιβάζεται από τον ρομποτικό ελεγκτή, και ο ελεγκτής συγκόλλησης καθορίζει τις άλλες παραμέτρους όπως έχουν οριστεί.
 3. Το ρομπότ φθάνει στο πρώτο σημείο εργασίας:
 - a. Το RC-6 στέλνει το χρονοδιάγραμμα του πιστολέτου στη κάρτα ελέγχου του πιστολέτου συγκόλλησης στο I/O κιβώτιο.
 - 1) Η κάρτα ελέγχου του πιστολέτου συγκόλλησης στέλνει εντολή στον υδραυλικό ελεγκτή πίεσης του ρομπότ και ελέγχει τα στοιχεία του κυκλώματος ανατροφοδότησης, για να καθορίσει ότι το πιστολέτο συγκόλλησης έχει πλησιάσει στη σωστή θέση, η οποία αντιστοιχεί στην πίεση που καθορίζεται για εκείνο το σημείο.
 - 2) Δεδομένου ότι ο ελεγκτής του πιστολέτου λαμβάνει την επιβεβαίωση ότι το πιστολέτο έχει “κλείσει” στη θέση που έχει προκαθοριστεί από το χρονοδιάγραμμα του πιστολέτου, διαβιβάζει την εντολή συγκόλλησης στον προγραμματιζόμενο ελεγκτή.
 - 3) Ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής ενεργοποιεί τον ελεγκτή συγκόλλησης, αναγκάζοντας τον να παράγει το σωστό παλμό (θερμότητα και διάρκεια) για να συγκολλήσει τον τύπο του μετάλλου και τον αριθμό λεπτότητας, μεταξύ των σιαγόνων του πιστολέτου συγκόλλησης στον παρόντα αναγνωριστικό αριθμό συγκόλλησης.
 - 4) Όταν τελειώσει τη συγκόλληση στο σημείο, ο ελεγκτής συγκόλλησης στέλνει WELD FINISHED (ολοκλήρωση συγκόλλησης) στον ελεγκτή του πιστολέτου μέσα στο I/O κιβώτιο.
 - 5) Στην παραλαβή της εντολής WELD FINISHED, ο εκλεκτής του πιστολέτου ανοίγει το πιστολέτο συγκόλλησης,

Κεφάλαιο 7^ο: Η λειτουργία της ρομποτικής συγκόλλησης

παράλληλα με την διαβίβαση της εντολής στον υδραυλικό ελεγκτή της σερβοβαλβίδας και όταν του πιστολέτο ανοίγει σε μια προκαθορισμένη απόσταση, όπως αναφέρεται από τα στοιχεία κυκλώματος ανατροφοδότησης, η σερβοκάρτα του ελεγκτή πιστολέτου στέλνει την ΠΛΗΡΗ ΑΚΟΛΟΥΘΙΑ στον ρομποτικό ελεγκτή.

- b. Ο ρομποτικός ελεγκτής στέλνει το ρομπότ στο επόμενο προγραμματισμένο σημείο συγκόλλησης.
 - c. Όταν ο κύκλος του ρομπότ τελειώνει, ο ρομποτικός ελεγκτής στέλνει τον ΠΛΗΡΗ ΚΥΚΛΟ στον προγραμματιζόμενο ελεγκτή. Ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής συνδέεται με τους άλλους ελεγκτές κατά μήκος της γραμμής και που συγχρονίζει τις λειτουργίες ολόκληρης της γραμμής. Όταν όλες οι ρομποτικές λειτουργίες, άλλες μηχανικές διαδικασίες και οποιοσδήποτε άλλες απαραίτητες χειρωνακτικές διαδικασίες στη γραμμή είναι στην απαιτούμενη κατάσταση, ο διαβιβαστής ενεργοποιεί τη γραμμή μεταφοράς, κινώντας κομμάτια, όπως απαιτείται για να διατηρηθεί η ροή κατά μήκος της γραμμής.
4. Εάν ο προγραμματιζόμενος ελεγκτής ζητήσει έναν κύκλο που δεν είναι έγκυρος για τον RC-6 ελεγκτή ή εάν ο ρομποτικός ελεγκτής δεν επιβεβαιώσει έναν έγκυρο κύκλο και στείλει ROBOT READY, η διαδικασία επιλογής επαναλαμβάνεται. Το ρομπότ δεν κινείται μέχρι όλες οι συνθήκες να ικανοποιηθούν.
 5. Το κύκλωμα ελέγχου στο κιβώτιο υπηρεσιών συγκόλλησης σημείων παρακολουθεί την φθορά των ηλεκτροδίων, στέλνοντας ένα σήμα στον προγραμματιζόμενο ελεγκτή να σταματήσει να συγκολλεί, όταν τα ηλεκτρόδια είναι υπερβολικά φθαρμένα.

7.3. ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΤΟΞΟΥ: ΕΦΑΡΜΟΓΗ GMAW

Αυτό το τμήμα περιγράφει τη λειτουργία ενός CYBOTECH ρομποτικού συστήματος συγκόλλησης τόξου GMAW. Το βασικό ρομποτικό σύστημα διογκώνεται από τον εξοπλισμό, που απαιτείται για τη συνεχή συγκόλληση τόξου, με ιχνηλάτευση της ραφής και προσαρμοζόμενη ανατροφοδότηση για τη διόρθωση σφαλμάτων. Αυτή η εφαρμογή ενσωματώνει ειδικό λογισμικό, διαθέσιμο στο χρήστη μέσω του διακόπτη MODE στο ρομποτικό ελεγκτή .

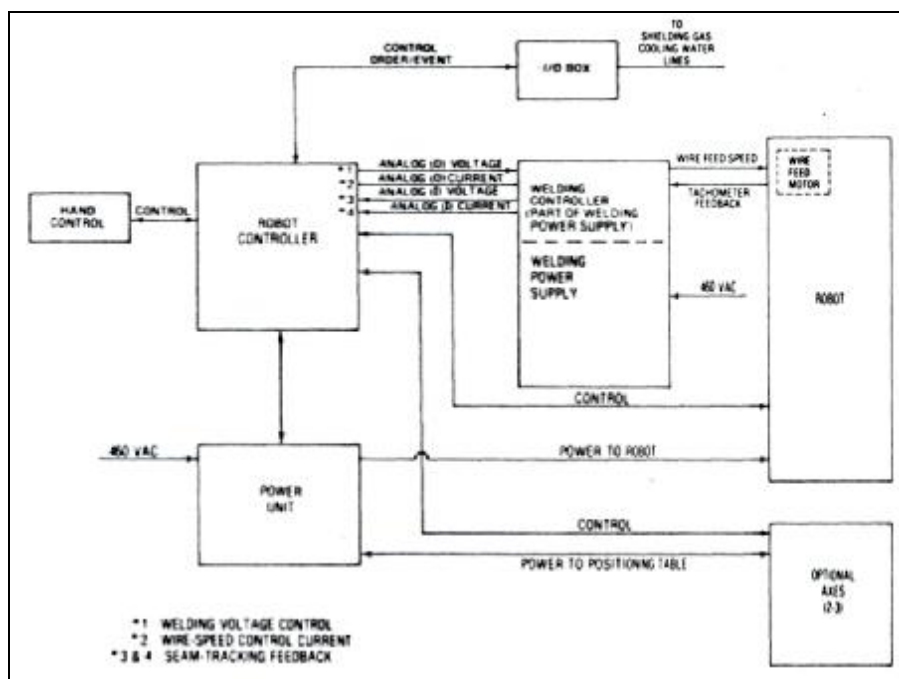
Το σχήμα 7.3α είναι ένα σχηματικό διάγραμμα φραγμών ενός ολοκληρωμένου συστήματος συγκόλλησης τόξου. Ο ρομποτικός ελεγκτής, ο έλεγχος χειρός, το I/O κιβώτιο και η μονάδα τροφοδοσίας είναι τα ελάχιστα τυπικά απαιτούμενα εξαρτήματα, με προαιρετικά στοιχεία και χαρακτηριστικά τόσο για το χειρισμό χειρός, όσο και για το ρομποτικό ελεγκτή. Το ρομπότ είναι ένα τυπικό ρομπότ έξι αξόνων. Παρατηρήθηκε ότι ο έλεγχος είναι περισσότερο από μια συσκευή εκμάθησης για το ρομπότ. Σε αυτό το σύστημα ο έλεγχος χειρός δίνει στο χειριστή τη δυνατότητα να κάνει αλλαγές σε πραγματικό χρόνο στις μεμονωμένες παραμέτρους, σε έναν δοσμένο πίνακα συγκόλλησης. Ο χειριστής μπορεί επίσης να αλλάξει ολόκληρους πίνακες κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Το σχήμα 7.3β απεικονίζει ένα ρομπότ CYBOTECH, μοντέλο H80, να εκτελεί συγκόλληση τόξου σε ένα κομμάτι που είναι πάνω σε τραπέζι τοποθέτησης. Το H80 είναι καθοδηγούμενο από υδραυλικούς κινητήρες, ζυγίζει 1850kg και έχει μια δυνατότητα φορτίου 80kg στους τρεις κύριους άξονες (δύο περιστροφές σε 10rad/sec και μια μεταβίβαση σε 66 cm/sec-οι περιστροφές στον πρώτο και στον τρίτο άξονα είναι μέχρι $\pm 135^\circ$ και η μεταβίβαση στο δεύτερο άξονα μέχρι 1,6m). Ο καρπός του μπορεί να ασκήσει μέχρι 20kgm σε 3rad/sec στους άξονες 4 και 5 και μέχρι 10kgm στον έκτο άξονα, επίσης σε 3rad/sec (οι περιστροφές του τετάρτου, πέμπτου και έκτου άξονα είναι αντίστοιχα μέχρι $\pm 167^\circ$, $\pm 105^\circ$, $\pm 172^\circ$. Η ακρίβεια τοποθέτησης του H80 είναι $\pm 0,5\text{mm}(\pm 0,02\text{in})$ και η επαναληψιμότητα τοποθέτησης είναι $\pm 0,2\text{ mm}(\pm 0.008\text{in})$. Τα στοιχεία του συστήματος είναι τα ακόλουθα:

Προαιρετικοί άξονες (τραπέζι τοποθέτησης). Ελεγχόμενοι από ένα προαιρετικό πληκτρολόγιο στον ρομποτικό ελεγκτή, ο πίνακας τοποθέτησης

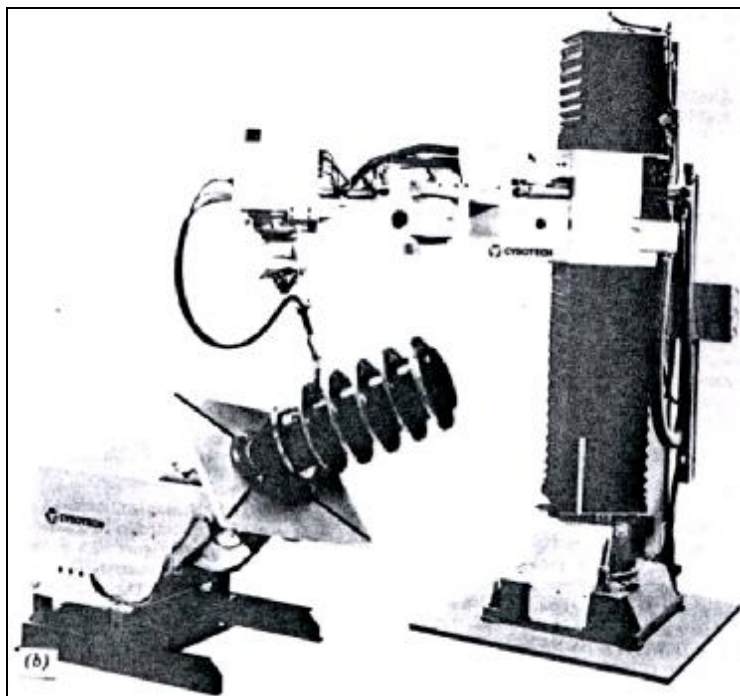
Κεφάλαιο 7^ο: Η λειτουργία της ρομποτικής συγκόλλησης

ελέγχεται από τα ίδια είδη σημάτων από τον ρομποτικό ελεγκτή. Στη φάση εκμάθησης, ο χειριστής εξοικειώνεται με τον πίνακα και το ρομπότ, όσο αυτό είναι απαραίτητο, για να αποκτήσει τις την απαραίτητη εμπειρία μεταξύ του πυρσού συγκόλλησης του ρομπότ και της ραφής συγκόλλησης του κομματιού. Οι δυνατότητες πολλαπλών λειτουργιών του χειρισμού χειρός, παρέχουν τον πλήρη έλεγχο και των οκτώ αξόνων που είναι αναμεμειγμένοι. Στην εκτέλεση του προγράμματος, ο ρομποτικός ελεγκτής συντονίζει και τους οκτώ άξονες, παρουσιάζοντας τη ραφή στο πυρσού του ρομπότ στη θέση και τον προσανατολισμό που έχει διδαχθεί, τροποποιημένο σε προσαρμοζόμενη τροφοδοσία ή αλλαγές που έχουν εισαχθεί από το χειριστή δυναμικά, κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης.

Ελεγκτής συγκόλλησης. Ένα υποεξάρτημα που βρίσκεται στην μονάδα τροφοδοσίας της συγκόλλησης, ο ελεγκτής συγκόλλησης καθορίζει την τάση και την ένταση του ρεύματος, όπως έχουν ρυθμιστής από τον ρομποτικό ελεγκτή, παραμένοντας σταθερός στα προγραμματισμένα επίπεδα κατά τη διάρκεια της εκτέλεσης, εκτός αν τα σήματα έχουν με κάποιο τρόπο τροποποιηθεί.



(α)



(β)

Σχήμα 7.3.(α) Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος συγκόλλησης τόξων, (β) Ρομποτική συγκόλληση τόξου ενός κομματιού που τοποθετείται σε ειδικό τραπέζι (CYBOTECH Μοντέλο H80).

Μονάδα τροφοδοσίας συγκόλλησης. Αυτή είναι η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος για τη συγκόλληση τόξου. Ο ρομποτικός ελεγκτής ελέγχει την ένταση και την τάση του ρεύματος σε συνάρτηση με τον ελεγκτή συγκόλλησης.

Κιβώτιο διασύνδεσης εισαγωγής / εξαγωγής. Σε αυτήν την εφαρμογή είναι ένα τυποποιημένο I/O κουτί CYBOTECH, που συνεχώς συνδέεται με τον ρομποτικό ελεγκτή για να χειρίζεται το νερό ψύξης και το προστατευτικό αέριο.

Μηχανή τροφοδοσίας σύρματος. Εγκατεστημένη στο ρομπότ, ελεγχόμενη από την εισαγωγή του ρομποτικού ελεγκτή, εξασφαλίζει έλεγχο κλειστού βρόχου της ταχύτητας τροφοδοσίας του σύρματος, που επηρεάζει τα χαρακτηριστικά της συγκόλλησης τόξου. Το σύρμα παρέχει το υλικό πληρώσεως για τη ραφή συγκόλλησης. Το σύρμα που επιλέγεται για τις

Κεφάλαιο 7^ο: Η λειτουργία της ρομποτικής συγκόλλησης

συγκεκριμένες εφαρμογές πρέπει να είναι συμβατό με τα μέταλλα που συγκολλούνται.

7.3.1. Παράμετροι λειτουργίας

Κατά τη λειτουργία του, το σύστημα συγκόλλησης ελέγχει τις ακόλουθες παραμέτρους, οι οποίες συνολικά καθορίζουν την ποιότητα της συγκόλλησης. Πριν από τη συγκόλληση, ο χειριστής πρέπει να εισάγει τις μεταβλητές της διαδικασίας συγκόλλησης στους πίνακες παραμέτρων της ακολουθίας συγκόλλησης, κάθε μία με έναν ορισμένο αριθμό της ακολουθίας συγκόλλησης. Έτσι οι ακολουθίες συγκόλλησης μπορούν να ανακαλεστούν σε μία εφαρμογή, για να εξυπηρετήσουν συγκεκριμένους συνδυασμούς που απαιτούνται για μία δοσμένη εργασία συγκόλλησης. Επίσης, οι πίνακες μπορούν να τροποποιηθούν, είτε με τον ρομποτικό ελεγκτή, είτε με τον έλεγχο χειρός.

PREFLOW	ο χρόνος που προηγείται της συγκόλλησης όπου έχουμε ροή του προστατευτικού αερίου, ώστε να προστατευθεί το τόξο από τα ατμοσφαιρικά αέρια
RUN-IN TIME	ο χρόνος που απαιτείται για την πραγματοποίηση ενός τόξου
RUN-IN VOLTAGE	Η τάση για την πραγματοποίηση του τόξου
RUN-IN FEED	Ο ρυθμός τροφοδοσίας με σύρμα για την πραγματοποίηση του τόξου
WELD VOLTAGE	Η διατήρηση της τάσης μετά την εκκίνηση του τόξου
WELD FEED	Η διατήρηση του ρυθμού τροφοδοσίας με σύρμα
CRATER TIME	Ο χρόνος που απαιτείται για την πλήρωση και το τελείωμα της ραφής
CRATER VOLTAGE	Η τάση που απαιτείται, μέχρι να τελειώσει η πλήρωση της ραφής
CRATER FEED	Ο ρυθμός τροφοδοσίας με σύρμα που απαιτείται, μέχρι να

Κεφάλαιο 7^ο: Η λειτουργία της ρομποτικής συγκόλλησης

	πληρωθεί η ραφή
BURNBACK TIME	Ο χρόνος που απαιτείται για να πυρακτώσει το ηλεκτρόδιο
BURNBACK VOLTAGE	Η τάση που απαιτείται για να έχουμε την πυράκτωση του ηλεκτροδίου
POSTFLOW TIME	Ο χρόνος όπου έχουμε επιπλέον παροχή προστατευτικού αερίου, για την προστασία και την ψύχρανση της ραφής
WEAVE WIDTH	Πλευρικό διάνυσμα που τίθεται στον ρομποτικό ελεγκτή και καθορίζει το πλάτος της συγκόλλησης στη ραφή
LEFT DWELL	Ο χρόνος όπου το ρομπότ κρατάει τον πυρσό συγκόλλησης στο αριστερό άκρο της ραφής κατά τη διάρκεια της παραμετροποίησης της
RIGHT DWELL	Η ανωτέρα διαδικασία, αλλά στο δεξί άκρο
CROSS TIME	Ο χρόνος όπου το ρομπότ κινεί τον πυρσό πλευρικά κατά την πορεία της ραφής
STICKOUT CURRENT	Η συγκόλληση του τρέχοντος επιπέδου, όπου τα όργανα ελέγχου RC-6 ακολουθούν την ραφή σε ένα σταθερό ύψος
TRAVEL SPEED	Η ταχύτητα του πυρσού κατά μήκος της ραφής

7.3.2. Λειτουργία

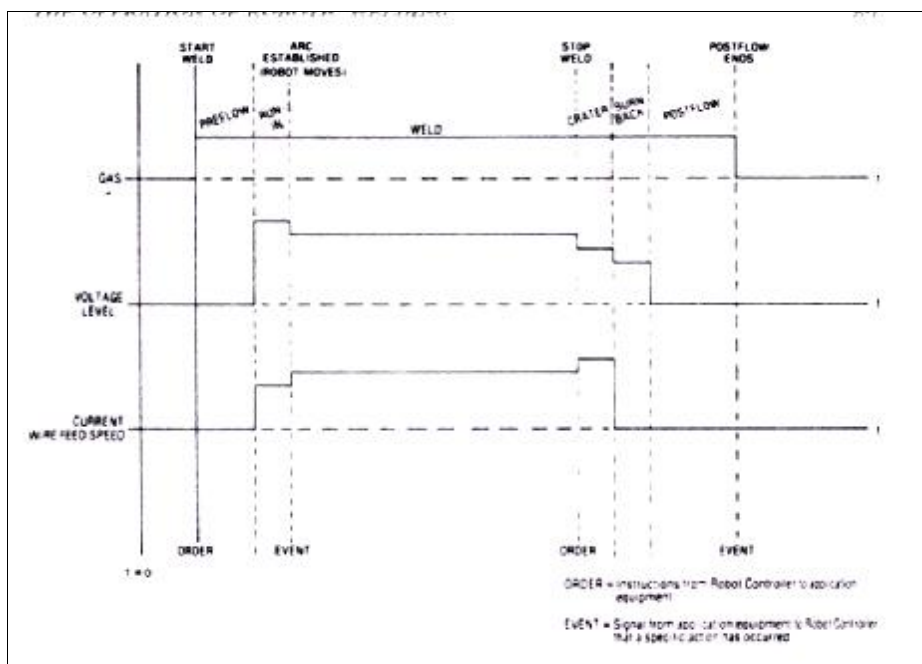
Η εφαρμογή του τμήματος ακολουθίας του λογισμικού προγράμματος, ενημερώνει τον χρήστη για τον προγραμματισμό μιας ακολουθίας συγκόλλησης, καθώς διδάσκεται μία τροχιά. Κάθε μια από τις προηγούμενες μεταβλητές μπορεί να αλλάξει, από την άποψη του χρόνου, της ταχύτητας, της τάσης, του ρεύματος ή της απόστασης, κάτι που εξαρτάται από την ίδια τη μεταβλητή και τα καθορισμένα όρια.

Για να συγκολλήσει, ο χειριστής διδάσκει μια τροχιά. Σε ένα δεδομένο σημείο μπορεί να διευκρινίσει την έναρξη ή το τέλος της συγκόλλησης, την ακολουθία των αριθμών της συγκόλλησης και οποιεσδήποτε άλλες απαραίτητες παραμέτρους. Αφού διδάξει την τροχιά και την συνδέσει σε έναν

Κεφάλαιο 7^ο: Η λειτουργία της ρομποτικής συγκόλλησης

κύκλο, ο χειριστής μπορεί να «τρέξει» τη λειτουργία συγκόλλησης όπως οποιοδήποτε άλλο κύκλο και μπορεί να τροποποιήσει τις σημαντικότερες παραμέτρους συγκόλλησης, από τον χειρισμό χειρός δυναμικά κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης: τη τάση συγκόλλησης, τον ρυθμό τροφοδοσίας με σύρμα, το stickout current, το πλάτος ύφανσης, τον dwell time και το travel speed.

Τα ηλεκτρονικά για την παρακολούθηση της ραφής είναι συνδεδεμένα με τον χειρισμό του ρομποτικού ελεγκτή, χρησιμοποιώντας στοιχεία από το τόξο για διόρθωση της διαγώνιας ραφής και των εύκολων απομάκρυνσης. Ο ρομποτικός ελεγκτής παράγει ένα σχέδιο ύφανσης, που έχει προγραμματιζόμενο βάθος ραφής, χρόνο κράτυνσης δεξιά και αριστερά του πυρσού και συγκεκριμένη ταχύτητα. Ταλάντευση κατά μήκος της ένωσης, αυξάνει την πιθανότητα αλλαγής στο ρεύμα του τόξου. Τα ηλεκτρονικά παρακολούθησης της ραφής παίρνουν δείγματα, αναλύουν τα στοιχεία από το τόξο σε κάθε πλευρά και κάνουν μια ανάλογη διόρθωση στην αρχή κάθε κύκλου ύφανσης. Ο αυτόματος τρέχων έλεγχος, διατηρεί ένα σταθερό ύψος πάνω από το κομμάτι προς κατεργασία. Στο σχήμα 7.4, με χρονομετρημένη την ακολουθία της συγκόλλησης τόξου, εικονίζει την αλληλεπίδραση των παραμέτρων και των σημάτων ελέγχου κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης.



Σχήμα 7.4. Συγχρονισμός της ακολουθίας συγκόλλησης τόξου.

7.3.2.1 Ύφανση

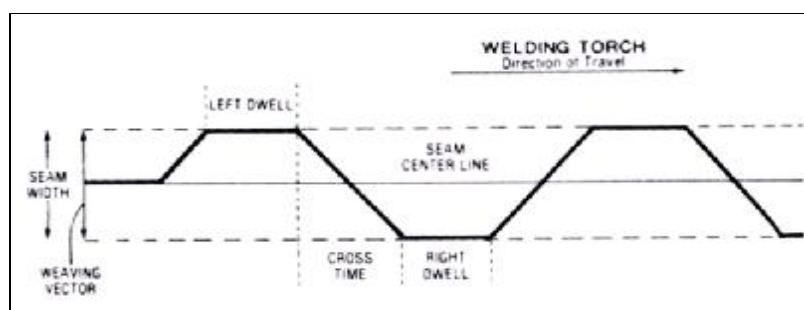
Κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, η ύφανση διευρύνει τη ραφή συγκόλλησης και παρέχει την πλευρική κίνηση του πυρσού που απαιτείται για την παρακολούθηση της ραφής. Η ύφανση ελέγχεται από ένα διάνυσμα ύφανσης, που έχει διδαχθεί στον ρομποτικό ελεγκτή, και παρεμβάλλεται στην τροχιά συγκόλλησης στο επιθυμητό σημείο, όπως άλλοι παράμετροι σαν την ταχύτητα. Το σχήμα 7.5 απεικονίζει το αποτέλεσμα της ύφανσης. Σε κάθε περίπτωση, η ύφανση κινεί τον πυρσό κατά μήκος της ραφής συγκόλλησης, και παράλληλα στην κεντρική γραμμή της. Αυτό ισχύει επίσης και για τις καμπυλόγραμμες πορείες. Ο χειριστής μπορεί να διδάξει και να αποθηκεύσει τα διανύσματα ύφανσης για ανάκληση.

Η επιλογή της ΥΦΑΝΣΗΣ στις επιλογές του ελεγκτή, θέτει αυτόματα τη ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ σε λειτουργία. Στη ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ οι άξονες αναφοράς για την κίνηση του πυρσού είναι σε ένα συγχρονισμένο σύστημα, τοποθετημένο στην άκρη του πυρσού συγκόλλησης, όπως παρουσιάζεται στο σχήμα 7.6. Ο Χ άξονας είναι η αναφορά για το STICKOUT.

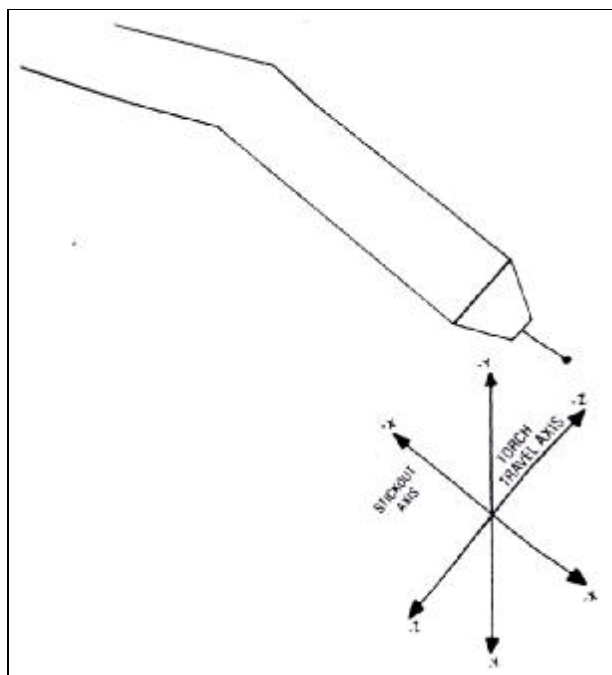
Κεφάλαιο 7^ο: Η λειτουργία της ρομποτικής συγκόλλησης

Όλες αυτές οι κατευθύνσεις είναι βασισμένες σε μια προοπτική, που αντιμετωπίζει το τέλος του πυρσού στο χώρο της συγκόλλησης. Κατά συνέπεια, θετικό STICKOUT (+X) κινεί το πυρσό πιο κοντά στο συγκολλητή με παράλληλη αύξηση του ρεύματος STICKOUT αρνητικό STICKOUT (X) αυξάνει το πυρσό από το συγκολλητή, μειώνοντας το ρεύμα STICKOUT. Όλες οι εντολές που δίνονται από τον ρομποτικό ελεγκτή, ως τμήμα του προγράμματος ή σαν αποτελέσματα της προσαρμοζόμενης τροφοδοσίας για τον έλεγχο των πορειών, αναφέρονται στο σύστημα αναφοράς της ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ ΕΡΓΑΛΕΙΩΝ.

Μια τρίτη λειτουργία του χειρισμού χειρός είναι η τροποποίηση τη σε πραγματικό χρόνο των παραμέτρων κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Σε αυτή την εφαρμογή δύο κουμπιά στον χειρισμό χειρός αποκλειστικά για τις καθορισμένες από το χρήστη λειτουργίες είναι χαρακτηρισμένες ως ΕΛΕΓΧΟΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ και ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ. Πιέζοντας το κουμπί του ΕΛΕΓΧΟΥ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ο χειριστής μπορεί να χρησιμοποιήσει τα έξι ζευγάρια των χειροκίνητων κουμπιών ελέγχου για να αυξήσει/μειώσει την τάση συγκόλλησης, το ρυθμό τροφοδοσίας του σύρματος, τον φορτίο απομάκρυνσης, το βάθος ραφής, το χρόνο παραμονής και την ταχύτητα (ταχύτητα κίνησης πυρσού). Πιέζοντας το κουμπί την ΤΡΟΠΟΠΟΙΗΣΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ο χειριστής εισάγει τις τροποποιήσεις στον τρέχον χρησιμοποιούμενο πίνακα της ακολουθίας συγκόλλησης.



Σχήμα 7.5. Η επίδραση ύφανσης κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης



Σχήμα 7.6. Τρόπος λειτουργίας εργαλείου συγκόλλησης τόξου

7.3.2.2 Προσαρμοζόμενος έλεγχος

Η προσαρμοζόμενη ανατροφοδότηση δίνει τη δυνατότητα αυτόματης διόρθωσης σφάλματος του stickout της ύφανσης. Οι απαιτούμενες πληροφορίες προέρχονται από συσκευές εισόδου από τον ελεγκτή συγκόλλησης, μέσω μιας σειριακής σύνδεσης. Το σύστημα εξάγει τα δεδομένα σφάλματος-διόρθωσης, τόσο για το απομάκρυνση, όσο και για την κεντρική γραμμή ύφανσης. Το ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΓΕΩΜΕΤΡΙΑΣ επιτρέπει στον ρομποτικό ελεγκτή να κάνει τις αλλαγές άμεσα στο σύστημα αναφοράς του πυρσού. Η αρχή του συστήματος συντονισμού, βρίσκεται στην άκρη του πυρσού και ο X άξονας συμπίπτει με την κεντρική γραμμή του τελικού τμήματος του πυρσού.

Δημιουργώντας τροχιές και κύκλους με την εφαρμογή συγκόλλησης είναι ουσιαστικά το ίδιο, όπως με το τυποποιημένο λογισμικό. Χρησιμοποιώντας τον έλεγχο χειρός ή τον ρομποτικό ελεγκτή, ο χειριστής αρχίζει ή σταματά τη συγκόλληση σε οποιοδήποτε σημείο κατά μήκος μιας τροχιάς, τροποποιεί τις παραμέτρους και τις ακολουθίες κατά τη διάρκεια της

συγκόλλησης. Όταν σταματήσει τη συγκόλληση (πιέσει ΤΕΡΜΑΤΙΣΜΟ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ στην οθόνη χειρισμού του ρομποτικού ελεγκτή), το λογισμικό του συστήματος εκτελεί αυτόματα ένα ελεγχόμενο κλείσιμο της συγκόλλησης, γεμίζοντας το κενό και καίγοντας πίσω το σύρμα του ηλεκτροδίου. Έπειτα, ροή προστατευτικού αερίου προστατεύει το κενό από ατμοσφαιρικά αέρια, μέχρι η συγκόλληση να ψυχθεί.

Ένα χαρακτηριστικό γνώρισμα του προγράμματος που ονομάζεται MULTIPASS, είναι ότι επιτρέπει στο χειριστή να ξανατρέξει την ίδια τροχιά με πολλαπλές ακολουθίες συγκόλλησης, έτσι ώστε η πλήρωση μιας πολύ μεγάλης ραφής να μπορεί να γίνει αυτόματα.

7.3.3. Παρατηρήσεις

Τα προγράμματα εφαρμογών επιτρέπουν στο χειριστή να χρησιμοποιήσει ένα κύκλο ή ένα μέρος του κύκλου χωρίς τόξο για να ελέγξει την ακρίβεια του ρομπότ. Η οθόνη του ελεγκτή απεικονίζει την τρέχουσα κατάσταση και επιτρέπει στο χειριστή για να ελέγξει τις ακόλουθες παραμέτρους:

1. Ταχύτητα της μετακίνησης
2. Ύφανση.
 - a. Πλάτος
 - b. Χρόνο παραμονής
 - c. Χρόνο διασταύρωσης
- 3) Αριθμό πινάκων της ακολουθίας συγκόλλησης
 - a. Εντοπισμός: διασταύρωση ραφής μόνο
 - b. Εντοπισμός: Απομάκρυνση μόνο
 - c. Εντοπισμός: και τα δυο παραπάνω μαζί

7.4. ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι τεχνολογικές πρόοδοι που προέρχονται από την τρέχουσα έρευνα και ανάπτυξη θα βελτιώσουν όλες τις φάσεις συγκόλλησης. Πιο ικανές παροχές ηλεκτρικού ρεύματος, θα επιτρέψουν στα ρομποτικά συστήματα συγκόλλησης να αυξήσουν το ρυθμό εναπόθεσης (ο ρυθμός που εναποτίθεται το υλικό πληρώσεως), χωρίς πιτσιλιές. Τα κράματα χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο, στη γενική προσπάθεια να μειωθεί το βάρος των προϊόντων. Τα κράματα συγκόλλησης θα απαιτήσουν αλλαγμένες παραμέτρους συγκόλλησης και την ανάπτυξη νέων υλικών για τα σύρματα συγκόλλησης. Άλλες βασικές τεχνολογίες συγκόλλησης που βρίσκονται υπό ανάπτυξη περιλαμβάνουν λέιζερ, πλάσμα και τη συγκόλληση τόξων με αέριο βολφραμίου.

Επιπλέον, ο σχεδιασμός του ρομπότ θα βελτιωθεί για να έχουμε ένα ρομπότ ιδανικά διαμορφωμένο για τη συγκόλληση τόξων, με πιο εξειδικευμένα συστήματα ελέγχου. Βελτιωμένα συστήματα εικόνας θα είναι σε θέση να παρακολουθούν τη ραφή συγκόλλησης αποτελεσματικότερα από τα παρόντα συστήματα και θα προσφέρουν πιο γρήγορα δραστικό έλεγχο των ρυθμών εναπόθεσης στη συγκόλληση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8⁰

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΞΟΥ ΣΕ ΚΟΜΜΑΤΙΑ ΑΛΟΥΜΙΝΙΟΥ

8.1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

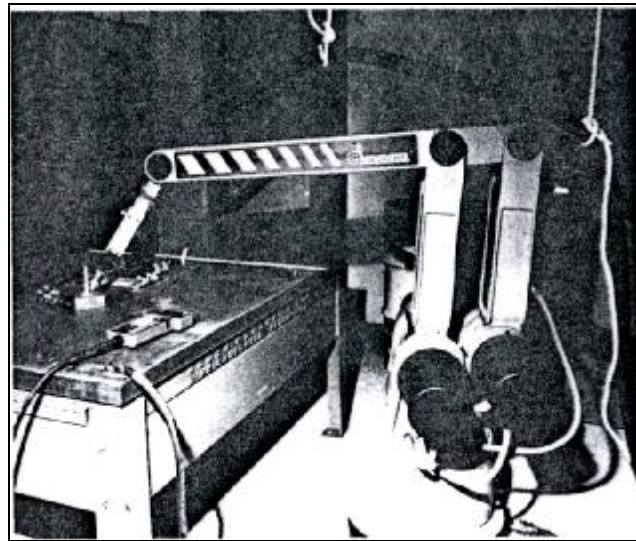
Κατά τη διάρκεια του 1982 το εργαστήριο τεχνολογίας παραγωγής Honeywell αγόρασε ένα ρομποτικό σύστημα συγκόλλησης για να του επιτρέψει να εξετάσει εφαρμογές στη συγκόλληση. Η εφαρμογή υπό εξέταση απαιτήσε το ρομπότ να είναι σε θέση να κάνει μια συνεχή συγκόλληση 360° γύρω από ένα παχύ αλουμινένιο χυτευμένο τεμάχιο 1.27cm. Αυτό έγινε ακόμα δυσκολότερο δεδομένου ότι η χύτευση εκτεινόταν παράλληλα και μέσα κατά 5cm στο σωλήνα, πράγμα που περιόριζε κατά πολύ την πρόσβαση στον σωλήνα για συγκόλληση με το χέρι. Για την αποτροπή της καύσης του σωλήνα εσωτερικά, ήταν απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί μια μικρή κεφαλή και να ολοκληρωθεί η συγκόλληση σε λιγότερο από 12sec σε μια συνεχή τροχιά 360°. Το σύστημα έπρεπε επίσης να είναι ικανό να εκτελέσει συγκόλληση MIG τόσο σε αλουμίνιο, όσο και σε ασάλι.

8.2. ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

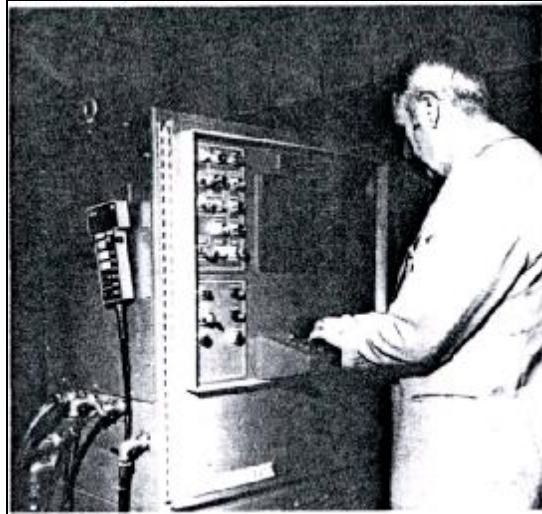
Για την περίπτωση αυτή αγοράστηκε ένα αυτόματο ρομποτικό σύστημα συγκόλλησης αγοράστηκε. Αυτό το σύστημα χρησιμοποιούσε ένα ρομπότ Hitachi πέντε αξόνων, ικανό να ανυψώνει 10kg με μια επαναληψιμότητα των $\pm 0.2\text{mm}$. Ρομπότ με ακτίνα δράσης 1,3m είναι ικανοποιητικό για οποιαδήποτε μελλοντική εργασία. Το εικόνα 8.1 είναι μια φωτογραφία του ρομποτικού συγκολλητή.

Ο ελεγκτής του ρομπότ κατασκευάστηκε από την Automatix χρησιμοποιώντας έναν επεξεργαστή 68000 της Motorola. Είχε 512KB μνήμης και δύο οδηγούς αποθήκευσης προγραμμάτων. Τα

προγράμματα γραφόταν σε μια υψηλής τεχνολογίας γλώσσα προγραμματισμού, που ονομαζόταν RAIL και βασίζεται στην γλώσσα PASCAL. Είχε επίσης μία κυκλική παρεμβολή που επιτρεπτό στο ρομπότ να κάνει μια κυκλική συγκόλληση μέσω τριών σημείων που είχε διδαχθεί. Αυτό ήταν ιδιαίτερα χρήσιμο για αυτήν την εφαρμογή εξαιτίας της μικρής διαμέτρου του σωλήνα και της τάσης να καεί, λόγω του μικρού πάχους του τοιχώματός του. Η εικόνα 8.2 είναι μια φωτογραφία του ρομποτικού ελεγκτή.



Εικόνα 8.1 Αυτόματο ρομπότ Hitachi που χρησιμοποιείται για τη συγκόλληση



Εικόνα 8.2. Αυτόματος ελεγκτής

Για να περιοριστεί η εισαγωγή θερμότητας στην εργασία και για να επιτραπεί ο άριστος έλεγχος της θέσης της συγκολλητικής ραφής, ζητήθηκε μια παροχή ηλεκτρικού ρεύματος συγκόλλησης Miller Pulstar. Αυτή η 450A μηχανή μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν ένας συμβατικός συγκολλητής MIG άμεσης τροφοδοσίας ή μπορούσε να χρησιμοποιηθεί σαν μια παλμική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος. Σε αυτήν την περίπτωση, η παροχή ηλεκτρικού ρεύματος σταματούσε ένα συνεχές ρεύμα που δεν είναι επαρκές για να λειώσει το σύρμα ή να συγκολλήσει. Ένα δεύτερο ρεύμα εμφανιζόταν στην κορυφή (στην γραφική απεικόνιση) του πρώτου υπό μορφή παλμών που εμφανίζονται στα 60 ή 120Hz. Όποτε ο παλμός εμφανιζόταν, το ρεύμα γίνεται αρκετά υψηλό για συγκόλληση.

Λιωμένο μέταλλο εκτινασσόταν από τον πυρσό υπό μορφή ψεκασμού κατά μήκος του άξονα του σύρματος. Οι ηλεκτρομαγνητικές δυνάμεις ήταν ισχυρότερες από τις δυνάμεις βαρύτητας, έτσι ήταν εύκολο να γίνει συγκόλληση ανάποδα ή σε άλλες θέσεις με πολύ λιγότερα πιτσιλίσματα. Οι ρυθμοί απόθεσης που έχουν γίνει γνωστοί είναι αρκετά υψηλοί, στο επίπεδο του 96%.

Δεδομένου ότι πολύ μικρές κεφαλές είναι επιθυμητές, χρησιμοποιηθούνε σύρματα αργιλίου 5056 0.76mm. Αυτό το σύρμα είναι πολύ αδύναμο και δεν ωθείται πολύ καλά. Δεδομένου ότι ο πυρσός ήταν περίπου 4,6m από τον τροφοδότη καλωδίων, ζητήθηκε ένας

συγκολλητικός πυρσός Cobramatic King Cobra. Αυτός ο πυρσός είχε δύο κινητήρες, έναν στον τροφοδότη που ωθεί το σύρμα και έναν δεύτερο στο πυρσό που τραβούσε το σύρμα. Μόνο αυτός ο δεύτερος κινητήρας έπρεπε να ωθήσει το σύρμα στην άκρη του πυρσού και αυτό το έκανε πολύ καλά.

Ο υπολογιστής έλεγχε τα πάντα, συμπεριλαμβανομένου του ρυθμού τροφοδοσίας σύρματος, της τάσης και του μέγιστου ρεύματος. Αυτό ήταν καλό, επειδή είναι συχνά απαραίτητο να αλλαχθούν οι παράμετροι συγκόλλησης κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης. Παραδείγματος χάριν, κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης του σωλήνα στην πλάκα, αφού έχει γίνει η μισή συγκόλληση, άρχισε να γίνεται πολύ καυτό. Επομένως, σε εκείνο το σημείο, η τάση και το ρεύμα συγκόλλησης μειώνονταν και η εγκάρσια ταχύτητα συγκόλλησης αυξανόταν. Το εικόνα 8.3 είναι μια φωτογραφία του σωλήνα συγκολλημένου σε μία πλάκα και το εικόνα 8.4 παρουσιάζει ένα τμήμα της συγκόλλησης. Ένα περίβλημα από αέριο argon χρησιμοποιήθηκε πάνω από την ένωση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας συγκόλλησης.

8.3 ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΤΩΝ ΡΟΜΠΟΤ

Η Honeywell έχει οργανώσει μια αυτοματοποιημένη εφαρμογή για να κατασκευάζει κάνιστρα για το πρόγραμμα SLUFAE (Surface Launched Unit Fuel Air Explosive). Ένα άκρο του κάνιστρου αποτελείται από ένα διαχωριστικό που είναι 1,27cm παχύ. Έχει μια προεξοχή χύτευσης από το κέντρο. Περίπου 5cm από τη χύτευση είναι ένας σωλήνας διαμέτρου 1,27cm, που προεξέχει 30cm από το διαχωριστικό. Είναι απαραίτητο να συγκολλήσουμε το σωλήνα στο διαχωριστικό, έτσι που το καύσιμο να μην στάζει από το κάνιστρο στον αέρα. Ο σωλήνας έχει έναν τοίχωμα 0.32cm και μετά από τη συγκόλληση μια μπίλια διαμέτρου 0.64cm πρέπει να είναι σε θέση να περάσει μέσα από τον σωλήνα. Εάν αυτή η συγκόλληση δεν είναι συνεχής, τότε ρωγμές κρατήρων εμφανίζονται όπου ο χειριστής σταματά τη συγκόλληση, προκαλώντας διαρροές. Η μεγάλη θερμική διαφορά έχει την συνήθεια να κάνει το συγκολλητή να

προκαλεί περιφερειακό κάψιμο ή καταστροφή του σωλήνα. Το μήκος του σωλήνα αποτρέπει τη συγκόλληση πάνω από το σωλήνα. Ο συγκολλητικός πυρσός πρέπει να περιστραφεί γύρω από το σωλήνα.

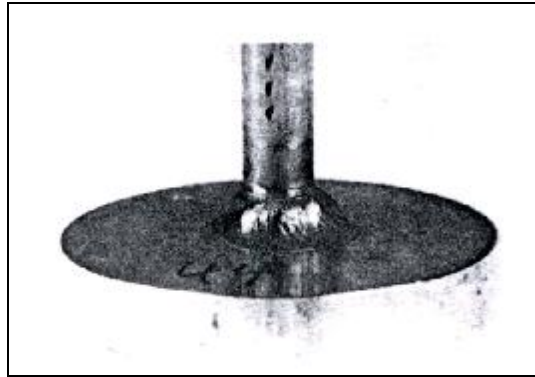
Το αρχικό σχέδιο απαιτούσε θέρμανση του κανίστρου στους 150°C και συγκόλληση TIG με το χέρι. Εντούτοις, για να φθάσουμε τον επιθυμητό ρυθμό παραγωγής θα απαιτούσε πολλούς φούρνους και πολύ χώρο για την ψύξη των κανίστρων κουτιών.

Μια δεύτερη μέθοδος απαίτησε την αγορά ενός πυρσού που είναι ακριβώς πάνω στο σωλήνα και περιστρέφεται γύρω του για να κάνει τη συγκόλληση. Αυτή η μέθοδος δεν εξετάστηκε ποτέ, λόγω των περιορισμών του ανταγωνισμού.

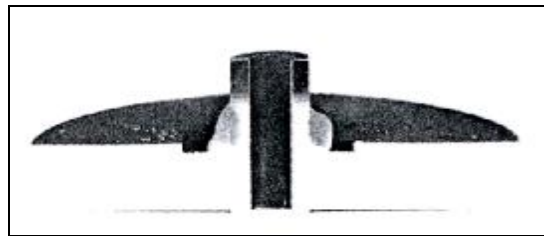
Έχει αποδειχθεί στο εργαστήριο ότι το ρομπότ μπορεί να κάνει τη συγκόλληση και να εκτελέσει και άλλες εργασίες συγκόλλησης επίσης. Εξαρτώμενος από τη θέση της χύτευσης, ο ρομποτικός πυρσός πρέπει να μπει ανάμεσα στη χύτευση και το σωλήνα για να αρχίσει τη συγκόλληση. Μετά επιστρέφει και περιορίζει τη συγκόλληση γύρω από το σωλήνα. Καθώς συγκολλάει, η γωνία κλίσης του πυρσού αλλάζει, έτσι που ο πυρσός πιέζει το λιωμένο μέταλλο γύρω από το σωλήνα πίσω στο αρχικό σημείο. Αυτό πρέπει να γίνεται με μια συνεχή ομαλή κίνηση. Οποιοσδήποτε βιασύνη προκαλεί πυράκτωση και μια «φτωχή» ραφή που δεν συγκολλάει απόλυτα τον κόμβο.

Δεδομένου ότι κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης το λιωμένο μέταλλο τείνει να γίνεται πολύ καυτό, περίπου στο μισά της ολοκλήρωσης της συγκόλλησης γύρω από το σωλήνα, πρέπει να αλλάξουν οι παράμετροί της. Για να απλοποιήσουμε τον προγραμματισμό, αντί να αντιμετωπίσουμε το πρόβλημα ως μια συγκόλληση 360°, αντιμετωπίζεται ως δύο ημικύκλια 180°. Το πρώτο ημικύκλιο διδάσκεται σαν τρία σημεία και το χαρακτηριστικό γνώρισμα της κυκλικής παρεμβολής του ρομπότ υπολογίζει μια ημικυκλική πορεία μέσω των σημείων, ολοκληρωμένη και με σωστές γωνίες κλίσης του πυρσού. Στο τέλος αυτής της πορείας, το δεύτερο ημικύκλιο διδάσκεται, χρησιμοποιώντας το τρίτο σημείο του πρώτου ημικυκλίου ως πρώτο σημείο του δεύτερου ημικυκλίου. Εξαιτίας των διαφορετικών γωνιών κλίσης του πυρσού που απαιτούνται, δεν είναι

δυνατό να χρησιμοποιηθεί το πρώτο σημείο του πρώτου ημικυκλίου ως τελευταίο σημείο του δεύτερου ημικυκλίου.



Εικόνα 8.3 Σωλήνας αλουμινίου που συγκολλείται σε έναν δίσκο αλουμινίου.



Εικόνα 8.4 Τμήμα της συγκόλλησης σωλήνα αλουμινίου σε δίσκο αλουμινίου

8.4. ΤΑ ΟΦΕΛΗ ΤΩΝ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΩΝ ΡΟΜΠΟΤ

Τα ρομπότ συγκόλλησης προσφέρουν τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- Μικρότερο κόστος μονάδας για την εφαρμογή της συγκόλλησης
- Βελτιωμένη ποιότητα και ομοιομορφία του παραγόμενου προϊόντος

- Μειωμένο κόστος για την εκπαίδευση ειδικευμένων συγκολλητών γιατί ο υπολογιστής ελέγχει όλες τις παραμέτρους τις διαδικασίας συγκόλλησης.
- **Μειωμένη έκθεση των χειριστών στη θερμότητα, τον καπνό και την ακτινοβολία.**
- **Αυξημένη ασφάλεια χειριστών.**

Οι δαπάνες για την εκπαίδευση και την εξειδίκευση συγκολλητών στις στρατιωτικές απαιτήσεις έχουν ανέλθει σε περίπου 5000€ ανά χειριστή. Είναι δύσκολο να μισθωθούν πεπειραμένοι συγκολλητές και να διατηρηθούν στην εργασία.

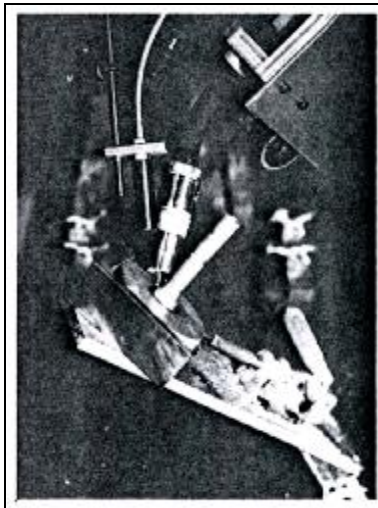
Ο πραγματικός χρόνος συγκόλλησης για το ρομπότ είναι ο ίδιος με έναν ανθρώπινο συγκολλητή. Η αποταμίευση μεγάλου χρόνου εμφανίζεται μεταξύ των συγκολλήσεων. Ο χειριστής θα σηκώσει χαρακτηριστικά το προστατευτικό κράνος, θα μετακινηθεί στην επόμενη θέση, θα χαμηλώσει το κράνος του και θα αρχίσει πάλι να συγκολλάει. Αντιθέτως, το ρομπότ κινείται πολύ γρήγορα προς την επόμενη θέση. Επίσης ένας ρομποτικός συγκολλητής έχει λειτουργικό κόστος περίπου 5€ ανά ώρα. Οι ανθρώπινοι συγκολλητές κοστίζουν αρκετά περισσότερα.

Ο ρομποτικός συγκολλητής είναι πολύ αξιόπιστος. Μόλις διδαχθεί τη συγκόλληση, θα επαναλάβει την ίδια συγκόλληση. Για τον ίδιο λόγο, αν συμβεί ένα μικρό λάθος τότε όλα τα κομμάτια θα έχουν το ίδιο λάθος. Η εμπειρία έχει δείξει ότι είναι συχνά απαραίτητο να προγραμματίζονται ξανά τα σημεία στην έναρξη κάθε ημέρας. Ο λόγος για αυτό, μπορεί να είναι ότι η ακρίβεια του ρομπότ φτάνει στο όριο.

Οι αρθρώσεις που επιτρέπουν στο ρομπότ να περιστρέφεται, να εκτείνεται και να ανυψώνεται είναι πολύ ισχυρές. Εντούτοις, η άρθρωση στον καρπό για να σηκώνουμε και να χαμηλώνουμε τον πυρσό είναι πολύ πιο αδύνατη, ενώ ένωση στον καρπό για την περιστροφή του πυρσού είναι η πιο αδύνατη όλων. Το εικόνα 8.5 παρουσιάζει μια κοντινή λήψη του πυρσού να συγκολλάει γύρω από έναν σωλήνα. Παρατηρούσε ότι ο σωλήνας τοποθετείται σε μια γωνία 45° από το οριζόντιο επίπεδο. Αυτό είναι επιθυμητό, γιατί αν η

συγκόλληση γίνεται με το κάνιστρο τοποθετημένο στο άκρο του, τα καλώδια συγκόλλησης χτυπούν το βραχίονα του ρομπότ. Αυτό είναι αρκετό να εκτρέψει τις ενώσεις 4 και 5 και έτσι κατά τη διάρκεια του κύκλου συγκόλλησης ο πυρσός να μην εντοπίζει τα σημεία για τα οποία είχε αρχικά προγραμματιστεί. Με τοποθέτηση υπό κλίση του κάνιστρου αυτό το πρόβλημα ελαχιστοποιείται.

Για τις περισσότερες εφαρμογές συγκόλλησης, 5DF είναι πιθανώς αρκετά. Εντούτοις, υπό ορισμένες συνθήκες 6DF θα ήταν πολύ χρήσιμα στην τοποθέτηση του πυρσού στην σωστή θέση συγκόλλησης και στην σωστή γωνία κλίσης.



Εικόνα 8.5 Κοντινή λήψη της συγκόλλησης γύρω από σωλήνα

8.5. ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΑ ΣΧΕΔΙΑ

Τα ρομπότ συγκόλλησης παρουσιάζουν μεγάλες δυνατότητες για αυξημένη παραγωγικότητα, ποιότητα και μείωση κόστους. Εντούτοις, σε ένα περιβάλλον εργοστασίου, τα κομμάτια συχνά δεν ταιριάζουν στο βαθμό που θα αναμέναμε. Φυσικά, το ρομπότ δεν ξέρει τη διαφορά και θα συγκολλήσει εκεί που θα περιμένει να είναι η ραφή και όχι εκεί που είναι πραγματικά.

Ένα άλλο πρόβλημα εμφανίζεται όταν τα κομμάτια πυρώσουν. Η συγκόλληση μπορεί να προκαλέσει περιφερειακό κάψιμο ή απλώς να έχουμε φτωχή διείδυση. Αυτές οι δύο προβληματικές περιοχές

επισημαίνουν την ανάγκη για τους αισθητήρες να ακολουθούν τη ραφή και να διορθώνουν τη πορεία συγκόλλησης, να ελέγχουν τη θερμοκρασία και το πλάτος της συγκόλλησης και να διορθώνουν τις παραμέτρους συγκόλλησης, για να εξασφαλίσουν ότι κάθε φορά στη ραφή γίνεται μια άριστη συγκόλληση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 9^ο

ΤΑΣΕΙΣ ΚΑΙ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

9.1 Η ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΑΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ

Σε γενικές γραμμές, το δεύτερο μισό της δεκαετίας του '80. χαρακτηρίζεται από μία σημαντική πτώση στις πωλήσεις βιομηχανικών ρομπότ. Ωστόσο, στις αρχές της δεκαετίας του '90, οι πωλήσεις ανέκαμψαν και ξεπέρασαν αυτές της αρχής της δεκαετίας του '80 όπου η Ρομποτική γνώρισε μεγάλη άνοδο. Τα στοιχεία που περιλαμβάνει ο Πίνακας 9.1 είναι ενδεικτικά των τάσεων.

Έτος	Αριθμός Ρομπότ	Αξία (σε €)
1984	5800	480 εκ.
1985	6200	380 εκ.
1986	5400	320 εκ.
1987	3800	300 εκ.
1988	4000	325 εκ.
1989	4500	510 εκ.
1990	5000	510 εκ.
1991	4000	410 εκ.
1992	5250	500 εκ.
1993	6800	630 εκ.

Πίνακας 9.1 Καθαρές Νέες Παραγγελίες Ρομπότ στις Η.Π.Α.

	1974	1977	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1990
Αγγλία	136	205	371	713	152	1753	2623	3017	12000
Γερμανία	133	541	1255	230	3500	4808	6600	8800	22000
Γαλλία	30	117	200	250	300	1500	1800	2300	6000
Ιταλία	93	231	400	420	550	1800	2100	2500	4500
Σουηδία	164	485	1200	1300	1450	1900	2300	2800	6300
Άλλες χώρες	283	320	430	450	660	1020	1500	1800	6200
Σύνολο	839	1899	3856	5433	7612	12781	16923	21217	57000
B. Αμερική	1200	2500	3500	5000	6250	8000	14550	16000	40000
Δ. Ευρώπη	839	1899	3856	5433	7612	12781	16923	21217	57000
A. Ευρώπη			500	550	600	900	1100	1300	3500
Ιαπωνία	1500	2200	6000	9000	13000	16500	22000	93000	274210
Γενικό Σύνολο	3539	6599	13856	19983	27462	38181	54573	131517	374710

Πίνακας 9.2 Πλήθος Εφαρμογών Βιομηχανικών Ρομπότ ανά Κράτος.

	74-77	77-80	80-81	81-82	82-83	83-84	84-85	85-90
Αγγλία	51	81	92	62	52	50	15	298
Γερμανία	307	132	83	52	37	37	33	150
Γαλλία	290	71	25	20	400	20	28	160
Ιταλία	148	73	5	31	227	16	19	80
Σουηδία	196	147	8	12	31	21	22	125
Άλλες χώρες	13	34	5	47	55	47	20	244
Σύνολο	126	103	41	40	70	32	25	169
Β. Αμερική	108	40	42	25	28	82	10	150
Δ. Ευρώπη	126	103	41	40	68	32	25	168
Α. Ευρώπη			10	9	50	22	18	169
Ιαπωνία	47	173	50	44	27	33	322	194
Σύνολο	86	110	44	37	39	48	141	185

Πίνακας 9.3: Ποσοστιαία Αύξηση Ρομποτικών Εφαρμογών.

	Ιαπωνία	Η.Π.Α	Δ. Ευρώπη	Σύνολο *	Ετήσια αύξηση
1990	274210	40000	67762	459875	19,2 %
1991	324895	44000	79682	532765	15,8 %
1992	349458	47000	91500	574320	7,8 %
1993	368054	50000	101834	610605	6,3 %
1994	388000	56000	113000	653000	6,9 %
1995	41000	62000	126000	701000	7,4 %
1996	442000	70000	138000	761000	8,6 %
1997	478000	78000	153000	831000	9,2 %
* Στο παγκόσμιο σύνολο συμπεριλαμβάνονται οι πληθυσμοί κι άλλων χωρών					

Πίνακας 9.4: Πλήθος Ρομπότ στη Δεκαετία τον '90

Ο Πίνακας 9.2 παρουσιάζει τον αριθμό των ρομποτικών εφαρμογών σε παγκόσμιο επίπεδο, κατά τη χρονική περίοδο 1974-1990. ενώ ο Πίνακας 9.3 δίνει την ποσοστιαία (%) αύξηση της ζήτησης σε ρομπότ κατά το αντίστοιχο χρονικό διάστημα.

Τέλος, ο Πίνακας 9.4 παρουσιάζει το πλήθος των εφαρμογών στις ΗΠΑ, Ιαπωνία και Δυτική Ευρώπη κατά τη δεκαετία του 1990.

9.2 ΤΑΣΕΙΣ ΤΗΣ ΑΓΟΡΑΣ

Τα σημερινά ρομπότ αποτελούνται από συνιστώσες διάφορων τεχνολογιών που ολοκληρώνονται σε μία μηχανή ικανή να διαχειρίζεται και να επιδρά σε αντικείμενα στο περιβάλλον της εργασίας. Η μηχανή αυτή είναι συνήθως μία μηχανική συσκευή που αποτελείται από ένα χειριστή και ένα τελικό στοιχείο δράσης. Τα σημερινά βιομηχανικά ρομπότ έχουν τους εξής λειτουργικούς περιορισμούς

- Μικρή ακρίβεια στη δυνατότητα μεταχείρισης και ευαισθησία στις διακυμάνσεις Φορτίου.
- Περιορισμένη ενσωμάτωση αισθητήρων (sensor integration).

- Απλές λειτουργίες ελέγχου που δεν προσαρμόζονται στις αλλαγές σε παραμέτρους και περιβάλλον.
- Πολύ περιορισμένη δυνατότητα λήψης αποφάσεων ανεξάρτητα από άχρηστη.

Κατά τη μελέτη της επίδρασης των χαρακτηριστικών της αγοράς στη νέα γενιά των βιομηχανικών ρομπότ, είναι σημαντικό να μελετηθούν όχι μόνον οι σημερινές τάσεις αλλά και οι αναμενόμενες αλλαγές στις τάσεις της αγοράς κατά την επόμενη δεκαετία. Η ρομποτική είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία και οι τάσεις της αγοράς της αναμένεται να μεταβληθούν δραστικά εξαιτίας της αύξησης της βάσης εμπειρίας στη ρομποτική και την πιο ευρεία αποδοχή των ρομπότ στη βιομηχανία.

Σήμερα, οι περισσότερες βιομηχανικές εφαρμογές των ρομπότ είναι περιορισμένες είτε σε επαναληπτικές εργασίες ή σε λειτουργίες οι οποίες, κατά μεγάλο ποσοστό, δεν είναι ευαίσθητες σε ανοχές (tolerances) αντικειμένων ή διαδικασιών, απαιτούν μικρή ακρίβεια, και μικρή ή και καθόλου αλληλεπίδραση με τον υπόλοιπο εξοπλισμό.

Η κατανόηση των τάσεων της ρομποτικής αγοράς κατά εφαρμογή είναι σημαντική για την εκτίμηση της ζήτησης σε δυνατότητες και απόδοση της επόμενης γενιάς ρομποτικών συστημάτων. Η μελέτη Delphi παρέχει μια ουσιαστική αποτίμηση και πρόβλεψη των τάσεων της ρομποτικής αγοράς και τεχνολογίας. Μερικά από τα βασικά συμπεράσματα της μελέτης αυτής είναι τα ακόλουθα:

- (α) Αν και το μερίδιο αγοράς των πιο προηγμένων ρομποτικών εφαρμογών θα αυξηθεί, η διαχείριση υλικών θα παραμείνει το μεγαλύτερο τμήμα της αγοράς.
- (β) Καθώς η εμπειρία πάνω στη ρομποτική θα αυξάνεται, πολλές βιομηχανίες θα αυξήσουν τη χρήση της ρομποτικής τεχνολογίας.
- (γ) Η κατανόηση της ζήτησης της ρομποτικής αγοράς για κάθε βιομηχανικό κλάδο είναι σημαντική στην εκτίμηση των χαρακτηριστικών της μελλοντικής τεχνολογίας ρομπότ που αναπτύσσεται με στόχο την ανταπόκριση στη ζήτηση.
- (δ) Η αυτοκινητοβιομηχανία είναι σήμερα ο κύριος πελάτης βιομηχανικών ρομπότ. Αν και η απόλυτη ζήτηση σε αυτοκίνητα αναμένεται να παραμείνει στα ίδια επίπεδα κατά την επόμενη δεκαετία, το σχετικό μερίδιο άλλων βιομηχανιών στη ρομποτική αγορά αναμένεται να αυξηθεί σημαντικά. Άλλες σημαντικές

αυξήσεις υποδεικνύονται για τη μηχανουργική βιομηχανία, την αεροδιαστημική και τη βιομηχανία μη μεταλλικών εξαρτημάτων.

(ε) Στον τομέα των υπηρεσιών τα ρομπότ αναμένεται να βρουν εφαρμογή με αυξημένη συχνότητα σε χώρους ή καταστάσεις που είναι μη προσπελάσιμοι ή επικίνδυνοι για τον άνθρωπο. Τέτοιες εφαρμογές περιλαμβάνουν τις εργασίες συντήρησης και διόρθωσης βλαβών πυρηνικών αντιδραστήρων, εργασίες στο διάστημα, εργασίες εξόρυξης, εργασίες στο βυθό των ωκεανών, αποστολές σε ατυχήματα, και πολεμική υποστήριξη.

(στ) Στην ιατρική η ρομποτική τεχνολογία αναμένεται να έχει σημαντικές καινοτομικές εφαρμογές, όπως η ανάπτυξη «ευφυών» κινητών ρομποτικών συστημάτων και άλλων συσκευών υποστήριξης για άτομα με ειδικές ανάγκες, η ανάπτυξη τεχνητών ανθρώπινων άκρων, και ακόμη η εκτέλεση χειρουργικών επεμβάσεων εξ' αποστάσεως με τη βοήθεια της τεχνολογίας της εικονικής πραγματικότητας (virtual reality).

Πράγματι, τα τελευταία χρόνια οι εφαρμογές καθώς και η χρήση ρομποτικών συστημάτων διαρκώς αυξάνονται. Κατά την τρέχουσα δεκαετία η αύξηση των πωλήσεων ρομπότ είναι της τάξης του 40%. Σήμερα, η βάση των εγκατεστημένων βιομηχανικών ρομπότ στις ΗΠΑ είναι 90.000 μονάδες περίπου.

Ταυτόχρονα, παρατηρείται ένας σημαντικός αριθμός τεχνολογικών αναπτύξεων και νέων προϊόντων. Αυτά περιλαμβάνουν την ανάπτυξη μικρότερων και ελαφρύτερων ρομπότ, τη βελτίωση της ικανότητας ανύψωσης βάρους σε σχέση με το βάρος του ρομπότ, καθώς και τη βελτίωση στην τεχνολογία των αρπαγών. Στην περιοχή των αισθητηρίων, σημαντικές βελτιώσεις έχουν παρατηρηθεί στα συστήματα μηχανικής όρασης, στα αισθητήρια αφής και στα χαμηλού κόστους αισθητήρια δύναμης. Εξάλλου, σημαντική πρόοδος έχει παρατηρηθεί στις ικανότητες ελέγχου και προγραμματισμού ρομπότ, συμπεριλαμβανομένης και της χρήσης αρχών ιεραρχικού ελέγχου και προγραμματισμού εκτός λειτουργίας. Τέλος, παρά την αύξηση των ρυθμών παραγωγής, οι τιμές των ρομπότ έχουν παραμείνει σχετικά σταθερές.

Οι τάσεις αυτές και οι αναμενόμενες εξελίξεις μπορούν μόνο να επιταχύνουν τη χρήση των ρομπότ για εφαρμογές κατασκευών και επεξεργασίας. Οι βελτιωμένες ικανότητες, κυρίως στην τεχνολογία αισθητηρίων και ελέγχου, σε συνδυασμό με το μειωμένο κόστος, πρέπει λογικά

να καταστήσουν εφαρμογές που είναι δύσκολα πραγματοποιήσιμες σήμερα, εφικτές και πολύ αποδοτικές οικονομικά στο μέλλον.

Καθώς οι πωλήσεις ρομπότ θα συνεχίσουν να αυξάνονται, αναμένεται επίσης και μία μετατόπιση στα είδη των εφαρμογών. Αναμένεται ότι οι παραδοσιακές ρομποτικές εφαρμογές, όπως η σημειακή ηλεκτροσυγκόλληση, η διαχείριση υλικών και η βαφή, θα περιορισθούν σε σχέση με το τρέχον μερίδιο τους στην αγορά, ενώ άλλες εφαρμογές, όπως η συναρμολόγηση και η μηχανουργική κατεργασία, θα αυξηθούν σημαντικά. Επειδή οι εφαρμογές όπως μηχανουργική κατεργασία, συναρμολόγηση, και παρόμοιες χρήσεις ρομπότ, εν γένει απαιτούν περισσότερο προηγμένο εξοπλισμό και διασύνδεση, η σχετική επίδραση τους στις μελλοντικές βιομηχανικές λειτουργίες θα είναι όλο και πιο εμφανής.

Οι εφαρμογές των μελλοντικών ρομποτικών συστημάτων θα καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από τις δυνατότητες τους. Ένα μεγάλο τμήμα του μέλλοντος ανήκει στα «ευφυή»(intelligent) ρομπότ. Ωστόσο, θα εξακολουθήσει να υπάρχει ανάγκη και για «μη ευφυή» ρομπότ. Ως μη ευφυές ρομπότ θεωρείται αυτό το οποίο έχει λίγους ή και καθόλου αισθητήρες, είναι προγραμματισμένο εκ των προτέρων να εκτελέσει ένα συγκεκριμένο έργο, δεν έχει καθόλου ευφυΐα στη λήψη αποφάσεων, και γενικά έχει περιορισμένη ή και καθόλου κινητικότητα. Ως ευφυές ρομπότ μπορεί να περιγραφεί αυτό το οποίο έχει προηγμένους αισθητήρες, προηγμένες δυνατότητες επεξεργασίας σημάτων, ευφυείς ικανότητες λήψης αποφάσεων και στη γενική περίπτωση κινητικότητα.

9.3 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΩΝ ΡΟΜΠΟΤΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ

Τα χαρακτηριστικά της νέας γενιάς βιομηχανικών ρομπότ μπορούν να εξαχθούν από τους περιορισμούς της τρέχουσας τεχνολογίας, τις τάσεις της αγοράς, και την αναμενόμενη πρόοδο στις τεχνολογίες των συνιστωσών. Βελτιώσεις και στις πέντε βασικές λειτουργίες της μεταχείρισης, αίσθησης, επικοινωνίας, ελέγχου και λήψης αποφάσεων, αναμένονται στη μελλοντική ρομποτική τεχνολογία. Η πρόοδος σε όλες τις ομάδες συνιστωσών της ρομποτικής τεχνολογίας θα επηρεάσει τέτοιες βελτιώσεις.

Η επόμενη των μηχανικών χειριστών αναμένεται να είναι τμηματική (modular). απαρτιζόμενη από υποκατασκευές (βραχίονες, καρπούς, μικροχειριστές. κλπ.) οι οποίες πα μπορούν εύκολα να συναρμολογηθούν σε μία ποικιλία ρομποτικών σχηματισμών. Επιπλέον, τα μελλοντικά ρομποτικά συστήματα αναμένεται να ενσωματώνουν παράλληλες ρομποτικές αρχιτεκτονικές ή συστήματα χειριστών με πολλούς βραχίονες και συντονισμένες κινήσεις. Η χρήση συνεργαζόμενων συστημάτων πολλών βραχιόνων θα μειώσει τον χρόνο εκτέλεσης ενός έργου, κάτι το οποίο είναι απαραίτητο σε πολλές εφαρμογές κατασκευών, επισκευών, συναρμολόγησης, κ.ά.

Η ακρίβεια των διαθέσιμων χειριστών αναμένεται επίσης να βελτιωθεί σημαντικά, παρέχοντας τη δυνατότητα στην επόμενη γενεά ρομποτικών συστημάτων να χρησιμοποιείται πλήρως στις ηλεκτρονικές εφαρμογές συναρμολόγησης, επίβλεψης και ακριβούς κατεργασίας. Οι τρέχουσες κατασκευαστικές διαδικασίες στη βιομηχανία ημιαγωγών απαιτούν ρομποτικά συστήματα με ακρίβεια της τάξης των $\pm 0.00025\text{mm}$. Καθότι τα ρομποτικά συστήματα που καθοδηγούνται από αριθμητικά δεδομένα (data-driver systems) αναμένεται να χρησιμοποιηθούν ευρύτερα σε τέτοιες εφαρμογές, απαιτούνται ακρίβειες τοποθέτησης αυτής της τάξης. Τέτοιες απαιτήσεις ακριβείας είναι πολύ φιλόδοξες και φαίνεται να βρίσκονται πέρα από τις αναμενόμενες δυνατότητες των ρομποτικών συστημάτων επόμενης γενεάς, εκτός και αν εμφανισθεί κάποια επαναστατική τεχνολογία.

Μια εναλλακτική προσέγγιση σε τέτοιες κρίσιμες απαιτήσεις ακριβείας μπορεί να είναι η κατασκευή συσκευών εξαιρετικής τοποθέτησης (μικροχειριστές) στο άκρο του χερίστη ή η ενσωμάτωση συστημάτων όρασης για αίσθηση στο τελικό σημείο. Στις εφαρμογές ηλεκτρονικής συναρμολόγησης διαφόρων τμημάτων, ωστόσο, ρομποτικά συστήματα καθοδηγούμενα από δεδομένα με ακρίβεια σε εύρος από $\pm 0.025\text{mm}$ έως $\pm 0.01\text{mm}$ είναι επαρκείς.

Οι εφαρμογές επίβλεψης-εποπτείας εξάλλου, θέτουν απαιτήσεις στην ακρίβεια των ρομποτικών συστημάτων παρόμοιες προς αυτές της ηλεκτρονικής βιομηχανίας. Οι απαιτήσεις σε εφαρμογές κατεργασιών ακριβείας, επιπλέον, επεκτείνονται όχι μόνον στην ακρίβεια του ρομπότ, αλλά και στην δυνατότητα μεταφοράς φορτίου με τη συγκεκριμένη ακρίβεια, θα χρειασθούν επίσης χειριστές οι οποίοι θα έχουν μικρή κάμψη υπό φορτίο και υψηλή σκληρότητα των συνδέσμων.

Οι αναμενόμενες πρόοδοι στη γεωμετρία και δομή του χείριστη θα βελτιώσουν τα χαρακτηριστικά των ταλαντώσεων και την ακαμψία στα εξαρτήματα των εμπορικών ρομποτικών συστημάτων. Επιπλέον, γενικοί μηχανισμοί σε επίπεδο αρθρώσεων ή εργαλείου, όπως εργαλειοοδηγοί, που θα βελτιώνουν τη σκληρότητα του ρομπότ αναμένεται να διατεθούν εμπορικά.

Τέτοιες απαιτήσεις επεξεργασίας αναμένεται να οδηγήσουν σε μελλοντικά ρομπότ που θα έχουν κατανεμημένες λειτουργίες ελέγχου πολλών εργασιών. Η πρόοδος στην τεχνολογία VLSI αναμένεται να βελτιώσει τις υπολογιστικές δυνατότητες του λογισμικού ελέγχου της ρομποτικής κίνησης, βελτιώνοντας ταυτόχρονα και τις δυνατότητες ελέγχου των έργων στα ρομποτικά συστήματα επόμενης γενεάς.

Οι ουσιαστικές κατευθύνσεις που ακολουθούν οι νέες τεχνολογίες προσδιορίζονται από πολύπλοκη αλληλεπίδραση πολλών παραγόντων, οι βασικότεροι των οποίων είναι η ανάπτυξη του υλικού και του λογισμικού, η τεχνική και οικονομική υποστήριξη, και η κοινωνική αποδοχή και ασφάλεια των ρομπότ. Αυτοί αναλύονται στη συνέχεια:

9.3.1 Ανάπτυξη Υλικού (Hardware Development)

Τα βασικά χαρακτηριστικά της ανάπτυξης ρομποτικού υλικού εξαιτίας των τεχνολογικών εξελίξεων είναι:

1. **Η ανάπτυξη ταχέων, ισχυρών, και φθηνών υπολογιστικών συστημάτων.** Οι παράλληλες αρχιτεκτονικές σε υπολογιστές, οι ταχύτεροι και ισχυρότεροι, μικροεπεξεργαστές, το μικρότερο μέγεθος και οι μειωμένες απαιτήσεις ισχύος θα χαρακτηρίσουν το μελλοντικό υπολογιστικό υλικό για εφαρμογές στη ρομποτική. Το πιο ισχυρό υλικό σε συνδυασμό με καλύτερο λογισμικό, θα καταστήσει δυνατή την εισαγωγή περισσότερης ευφυΐας σε μικρότερο χώρο. Από την πλευρά των συστημάτων, η επόμενη γενεά ρομπότ αναμένεται να είναι πιο αξιόπιστη, να κοστίζει λιγότερο, και να ενσωματώνει ολοκληρωμένες λειτουργίες συντήρησης και ασφαλείας, καθώς και προγράμματα εκπαίδευσης. Επίσης, οι τεχνικές δοκιμών απόδοσης αναμένεται να προτυποποιηθούν και να γίνουν ευρύτερα διαθέσιμες.

2. Η ανάπτυξη ρομποτικών βραχιόνων και των κινητήρων τους.

Το μηχανικό σύστημα του βραχίονα των σημερινών βιομηχανικών ρομπότ αποτελείται από ένα μηχανικό βραχίονα ή χειριστή και ένα χέρι ή τελικό στοιχείο δράσης. Υπάρχουν σημαντικές εξελίξεις στα υλικά κατασκευής, στο βέλτιστο και καινοτόμο σχεδιασμό, στην αποφυγή κατασκευαστικών ατελειών, στη μείωση των μηχανικών ταλαντώσεων, κλπ. Η επόμενη γενεά των τελικών στοιχείων δράσης θα έχει ιδιότητες μεταξύ των οποίων η δυνατότητα ταχείας αλλαγής, η τμηματικότητα, η επιδεξιότητα, οι συσκευές προστασίας ρομπότ και εργαλείων, και η ενσωμάτωση αισθητήρων. Η γενική απαίτηση αλληλεπίδρασης με ένα μεγάλο εύρος αντικειμένων υποδεικνύει την ανάγκη για γενικά (universal) τελικά στοιχεία δράσης. Αν και υπάρχει το δυναμικό για την ανάπτυξη κάποτε ενός οικονομικού σχεδίου για γενική αρπάγη ενσωματωμένη στο ρομπότ, η επόμενη γενεά τελικών στοιχείων δράσης θα δώσει έμφαση στις ιδιότητες εναλλαγών και αισθητήρων.

3. Η ανάπτυξη αισθητήρων. Οι οπτικοί αισθητήρες

σήμερα έχουν περισσότερη ικανότητα απ' ό,τι μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ένα ρομποτικό σύστημα. Ωστόσο, οπτικοί αισθητήρες με υψηλότερη διακριτική ικανότητα αναπτύσσονται σήμερα από έναν αριθμό κατασκευαστών. Αναμένεται επίσης να διατεθούν στο εμπόριο μικρά φύλλα (pads) αισθητήρων αφής τα οποία θα έχουν κατάλληλο χρόνο απόκρισης και ευαισθησία ώστε να χρησιμοποιηθούν στα άκρα ρομποτικών δακτύλων. Τέτοιου είδους δεδομένα μπορούν να βελτιώσουν τη λειτουργικότητα των μηχανικών χεριών κατά την αρπάγη και την ακριβή μεταχείριση αντικειμένων.

Επίσης, η τεχνολογία αίσθησης της ολισθηρότητας (slip-sensing) αναμένεται να διατεθεί ευρέως και να χρησιμοποιηθεί σε ρομποτικά συστήματα σχεδιασμένα για τη διαχείριση επικίνδυνων υλικών ενώ ολοκληρωμένες συσκευές αίσθησης δύναμης θα διατεθούν επίσης ευρύτατα. Ακουστικοί αισθητήρες σε συνδυασμό με βελτιωμένες μεθόδους αναγνώρισης ομιλίας θα παρέχουν σε ρομπότ τη δυνατότητα να αντιλαμβάνονται την ανθρώπινη ομιλία. Αυτή και μόνο η επίτευξη θα αποτελέσει ένα επαναστατικό τρόπο επικοινωνίας μεταξύ ρομπότ και μηχανών και θα ανοίξει νέες περιοχές δράσης που θα στοχεύουν στην εκμετάλλευση αυτής της δυνατότητας. Έχουν ακόμη αναπτυχθεί μικροαισθητήρια (microsensors), τα οποία είναι ολοκληρωμένα

κυκλώματα αισθητήρων που επεξεργάζονται πληροφορίες, ενώ σε ορισμένες περιπτώσεις προτείνουν και τρόπους δράσης.

Σε σχέση με τις εξωτερικές συσκευές διασύνδεσης των ρομπότ, βελτιώσεις τόσο στους εξωτερικούς αισθητήρες όσο και στις δυνατότητες επικοινωνίας δεδομένων αναμένονται στα ρομποτικά συστήματα επόμενης γενεάς. Τέλος, στην επόμενη γενεά ρομποτικών συστημάτων, η ολοκλήρωση οπτικών αισθητήρων και ρομποτικού υλικού/ λογισμικού θα επιτυγχάνεται με χαμηλό κόστος.

4. **Η εξέλιξη των συσκευών διεπικοινωνίας των συνιστωσών ρομποτικών συστημάτων με υπολογιστή.** Οι συσκευές διασύνδεσης στα μελλοντικά ρομποτικά συστήματα αναμένεται να υποστηρίζουν εξωτερικούς αισθητήρες, κινητήρες, συνεργαζόμενους υπολογιστές, ελεγκτές και τοπικά υπολογιστικά δίκτυα, PLCs σταθμούς CAD και άλλες μηχανές παραγωγής. Τυποποιημένα πρωτοκόλλα επικοινωνίας και διασύνδεσης είναι ήδη διαθέσιμα για ρομποτικούς ελεγκτές και για τα προγραμματιστικά συστήματα των χρηστών τους. Τέτοιες διασυνδέσεις παρέχουν στο χρήστη την επιλογή ελέγχου της κίνησης με ένα κατάλληλο πρόγραμμα που έχει υλοποιηθεί εξωτερικά, παρά με ότι παρέχεται από τον κατασκευαστή στο ρομποτικό ελεγκτή. Η δυνατότητα αυτή ενδυναμώνει τη χρήση των ρομπότ σε κατασκευαστικά κελύφη υπό τον έλεγχο ενός κεντρικού υπολογιστή ή με τη χρήση ενός γενικευμένου λογισμικού σχεδιασμού ή λογισμικού εκτός λειτουργίας για τον προγραμματισμό του ρομπότ.

5. **Η αυξημένη κινητικότητα των ρομπότ.** Μία από τις αρχές που διέπουν τα ρομποτικά συστήματα είναι η περιορισμένη ευελιξία στην κίνηση. Στις τρέχουσες εφαρμογές αυτό συνεπάγεται ένα σταθερό πλην ευέλικτο χώρο εργασίας μέσα στον οποίο μπορεί να κινηθεί το ρομπότ. Η προσθήκη της δυνατότητας για γενική κινητικότητα είναι το επόμενο λογικό βήμα στην ανάπτυξη περισσότερο χρήσιμων ρομποτικών συστημάτων και ανοίγει ένα νέο φάσμα ρομποτικών εφαρμογών.

9.3.2 Ανάπτυξη Λογισμικού (Software Development)

Η καρδιά κάθε υπολογιστικού συστήματος είναι το λογισμικό του. Καθώς γίνεται διαθέσιμο όλο και πιο προηγμένο υλικό, τίθενται νέες απαιτήσεις σε όσους αναπτύσσουν εργαλεία λογισμικού, γλώσσες προγραμματισμού και μεθόδους πλήρους εκμετάλλευσης των δυνατοτήτων του υλικού.

Οι μελλοντικές εφαρμογές της ρομποτικής εξαρτώνται άμεσα από το λογισμικό που παρέχει έλεγχο, επεξεργασία αισθητηρίων σημάτων, αναγνώριση προτύπων και ευφυή λήψη αποφάσεων. Επιπλέον, απαιτείται ένα αποδοτικό περιβάλλον ανάπτυξης και ολοκλήρωσης συνιστωσών λογισμικού ενός ρομποτικού συστήματος. Το περιβάλλον αυτό πρέπει να παρέχει τα εργαλεία ανάπτυξης λογισμικού, και εύκολη μεταφορά του λογισμικού σε πραγματικά ρομποτικά συστήματα. Επίσης, πρέπει να διασφαλίζεται η συμβατότητα (compatibility) και η μεταφερισιμότητα (portability) των προγραμμάτων, καθώς και η ανοικτή αρχιτεκτονική (open architecture).

Στην περιοχή του λογισμικού ειδικών εφαρμογών, η αναγνώριση προτύπων και η κατανόηση ομιλίας είναι δύο περιοχές που αποτελούν πολλά υποσχόμενους τομείς βελτίωσης των ρομποτικών δυνατοτήτων. Βελτιωμένοι αλγόριθμοι σε συνδυασμό με ταχύτερο υλικό θα καταστήσουν δυνατή την πραγματοποίηση τέτοιων βελτιώσεων. Μία από τις πιο σημαντικές στενωπούς στην ανάπτυξη ευφυών ρομπότ είναι αυτή της επεξεργασίας εικόνας. Αισθητήρες όρασης με μεγάλη διακριτική ικανότητα και πολυφασματική απεικόνιση είναι ήδη διαθέσιμοι, ωστόσο δεν είναι ακόμη δυνατή η επεξεργασία της πληροφορίας αυτής τόσο γρήγορα ώστε να μπορεί να χρησιμοποιηθεί στις περισσότερες εφαρμογές.

Εξάλλου, οι βελτιώσεις σε ψηφιακά υπολογιστικά συστήματα αναγνώρισης φωνής αναμένεται να οδηγήσουν σε χειριστές φωνητικά καθοδηγούμενους με απευθείας έλεγχο της ανθρώπινης φωνής. Τέτοια συστήματα αναμένεται να έχουν ένα ευρύτερο λεξιλόγιο ελέγχου κίνησης από τα υπάρχοντα συστήματα δημιουργίας φωνής και να είναι εμπορικά διαθέσιμα υπό τη μορφή ολοκληρωμένων ρομποτικών συστημάτων.

Το ευφυές λογισμικό είναι το νευραλγικό κέντρο της λειτουργίας ενός ευφυούς ρομπότ. Δέχεται επεξεργασμένη πληροφορία αισθητήρων, βάσεις δεδομένων και γνώσης και λαμβάνει αποφάσεις. Δυστυχώς, όλες οι

διαθέσιμες ευφυείς γλώσσες προγραμματισμού εξαρτώνται ακόμη από κανόνες προγραμματισμού. Κατά συνέπεια, εξαρτάται από τη δομή του προγράμματος το εάν θα επιτευχθεί ή όχι πραγματική ευφυΐα. Καθώς όλο και περισσότερα πράγματα μαθαίνονται για τη γνώση, την αναπαράσταση της και τη χρήση της, αυτή η δυνατότητα μπορεί να παρασχεθεί στο ρομπότ μέσω καταλλήλων γλωσσών. Εφόσον οι περισσότερες ιδέες για τη γνώση και την ευφυΐα εκφράζονται μέσω της γλώσσας, η ανάπτυξη μεθόδων κατανόησης της φυσικής γλώσσας από υπολογιστές αναμένεται να διευκολύνει την παροχή παρομοίων δυνατοτήτων σε ένα ρομποτικό σύστημα.

Στον τομέα της επικοινωνίας ανθρώπου-μηχανής, σημαντικές βελτιώσεις αναμένονται στα ρομποτικά συστήματα της επόμενης γενιάς. Η πολυπλοκότητα των ανθρωπίνων εργασιών που απαιτούνται για τον προγραμματισμό και την παρατήρηση των ρομποτικών εφαρμογών θα μειωθεί σημαντικά. Οι βιομηχανικές απαιτήσεις για τη χρήση αυτοματισμοί καθοδηγούμενων από δεδομένα σε συνδυασμό με την πρόοδο στην τεχνολογία CAD/CAM, οι γλώσσες προγραμματισμού των ρομπότ, και η τεχνητή νοημοσύνη, αναμένεται να οδηγήσουν στην παραγωγή συστημάτων προγραμματισμού εκτός γραμμής βασισμένων σε CAD και ολοκληρωμένων στο ρομπότ, σε γλώσσες προγραμματισμού σε επίπεδο έργου, και σε έμπειρους συμβούλους σχεδιασμού έργων.

9.3.3 Τεχνική και Οικονομική Υποστήριξη

Ο κατάλογος των τομέων υποστήριξης στη ρομποτική περιλαμβάνει ένα μεγάλο ποσοστό όλων των περιοχών της ανθρώπινης δραστηριότητας. Προφανώς οι τεχνολογικοί τομείς συνεισφέρουν σημαντικά στη ρομποτική τεχνολογία. Ιδιαίτερης σημασίας είναι οι τομείς της μηχανικής, της επιστήμης των υπολογιστών και της ερευνάς υλικών, με υποστήριξη από πολλές επιστήμες.

Στις μη τεχνολογικές περιοχές, η ρομποτική παρουσιάζει συνάφεια με τους τομείς εκπαίδευσης, ψυχολογίας και κοινωνιολογίας όσον αφορά τις έννοιες της εκμάθησης, της ευφυΐας και των όρων της κοινωνικής συμπεριφοράς για την ανάπτυξη χρήσιμων ρομπότ.

Τονίζεται όμως ότι η ανάπτυξη οποιουδήποτε σύνθετου τεχνολογικού συστήματος απαιτεί δέσμευση οικονομικής υποστήριξης η οποία επεκτείνεται πολύ περισσότερο από τα άμεσα οφέλη. Είναι θετικό ότι η ρομποτική, βασίζεται σε τεχνικές περιοχές οι οποίες ήδη έχουν ευρεία βάση σε άλλες εφαρμογές, ωστόσο, υφίσταται ακόμη η ανάγκη για την υποστήριξη της ολοκλήρωσης τέτοιων τεχνολογικών περιοχών σε λειτουργούντα ρομποτικά συστήματα.

9.3.4 Κοινωνική Αποδοχή και Ασφάλεια

Ένα από τα προβλήματα που αντιμετωπίζονται εξαιτίας της εκτεταμένης ρομποτικής ανάπτυξης και εφαρμογής σήμερα, είναι ο φόβος της απώλειας εργασίας από ένα ρομπότ, όπως είχε κάποτε εκδηλωθεί και για τους προσωπικούς υπολογιστές. Όπως με τις περισσότερες τεχνολογικές εξελίξεις, πρέπει να αναμένεται ότι τα ρομπότ θα δημιουργήσουν ένα νέο σύνολο τύπων εργασιών, ενώ ταυτόχρονα θα αντικαταστήσουν τους ανθρώπους σε εργασίες οι οποίες ούτως ή άλλως δεν τους ταιριάζουν. Επιπλέον, όπως έχει ομολογηθεί από ανθρώπους της βιομηχανίας, η εισαγωγή ρομπότ στη γραμμή παραγωγής, οδήγησε σε αύξηση της παραγωγικότητας με επακόλουθο την ανάγκη νέων προσλήψεων προκειμένου να καλυφθεί η ζήτηση της αγοράς.

Τέλος, μία από τις πιο συχνές ανησυχίες που εκφράζονται σε σχέση με την κοινωνική αποδοχή και τις νέες εφαρμογές των ρομπότ είναι η ασφάλεια τους. Εάν όλα τα ρομπότ μπορούν να συμμορφωθούν με τους τρεις νόμους της ρομποτικής όπως διατυπώθηκαν από τον Ασίμωφ. τότε δεν πρόκειται να υπάρξει πρόβλημα.

Συμπερασματικά, η επόμενη γενεά ρομποτικών συστημάτων θα έχει τα ακόλουθα λειτουργικά χαρακτηριστικά:

- Βελτιωμένες επιδόσεις, διαχείρισης ως προς την ακρίβεια, την ικανότητα φόρτωσης, και τη σκληρότητα.
- Ολοκληρωμένες λειτουργίες αίσθησης και ελέγχου και προσαρμοστική συμπεριφορά υπό την επίδραση αισθητήριας πληροφορίας.
- Καλά οργανωμένη επικοινωνία δεδομένων και σημάτων ελέγχου με άλλες συσκευές, υπολογιστές, χρήστες, και τοπικά δίκτυα υπολογιστών.

- Βελτιωμένες, πιο σθεναρές (εύρωστες), και προσαρμοστικές ενέργειες ελέγχου.
- Ικανότητα σχεδιασμού και λήψης αποφάσεων βασισμένη στους αισθητήρες, την αλληλεπίδραση, και την εμπειρία.

9.4 ΜΕΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Στη συνέχεια, παρατίθενται οι βασικότεροι τομείς εφαρμογών της ρομποτικής υπό το πρίσμα των μελλοντικών εξελίξεων.

9.4.1 Βιομηχανία Ημιαγωγών

Διατίθενται σήμερα ρομπότ, για εφαρμογές θαλάμων κενού. Στο εγγύς μέλλον είναι λογικό να αναμένεται ότι τα ρομπότ θα χρησιμοποιούνται εκτενώς σε λειτουργίες παρασκευής μικροκυκλωμάτων. Έχουν υψηλή ακρίβεια, υψηλή επαναληπτικότητα, υψηλή κατάταξη καθαριότητας και μεγάλη αντίσταση στους κινδύνους των περισσότερων διαδικασιών παρασκευής μικροκυκλωμάτων.

9.4.2 Κατασκευές, Συναρμολόγηση και Επιθεώρηση

Οι λειτουργίες κατασκευών και συναρμολόγησης ήταν ανάμεσα στις πρώτες εφαρμογές ρομποτικής. Η περιοχή αυτή αναμένεται να συνεχίσει να αποτελεί περιοχή ευρείας εφαρμογής της ρομποτικής, εκμεταλλευόμενη την αυξημένη ικανότητα των ρομπότ για κατασκευή, συναρμολόγηση και επιθεώρηση τελειωμένων προϊόντων.

Η προσθήκη ευφυΐας και βελτιωμένης ικανότητας αναγνώρισης και ταύτισης προτύπων (pattern identification and matching) θα καταστήσει δυνατή την απόλυτη επιθεώρηση κατασκευασμένων προϊόντων. Η υψηλότερη

παραγωγικότητα και το μειωμένο κόστος θα διατηρήσουν ανταγωνιστική την κατασκευαστική βιομηχανία.

9.4.3 Διαχείριση Υλικών

Πέραν της συνήθους διαχείρισης υλικών, η οποία είναι τμήμα κάθε κατασκευαστικής διαδικασίας, μία πολύ σημαντική εφαρμογή της ρομποτικής είναι η διαχείριση πακέτων και αλληλογραφίας που μεταφέρονται καθημερινά από το ένα σημείο στο άλλο μίας χώρας. Οι νυκτερινές υπηρεσίες διανομής διαχειρίζονται στις ΗΠΑ εκατομμύρια πακέτα κάθε νύκτα. Ένα μεγάλο τμήμα της ταξινόμησης και επαναδρομολόγησης αυτών των πακέτων γίνεται κυρίως από ανθρώπους. Ένα τυπικό ποσοστό σφάλματος (λάθος διανομή ή απώλεια) είναι κοντά στο πέντε τοις εκατό.

Η εμπειρία υπαγορεύει έναν αριθμό ελέγχων που πραγματοποιούνται στη διαδικασία της μεταφοράς πακέτων. Τα ρομπότ μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτέλεση αρκετών εργασιών διαχείρισης πακέτων καθώς και για την παροχή ελέγχων εγκυρότητας. Η ευρεία χρήση των ρομπότ για τις λειτουργίες αυτές εξαρτάται από την ανάπτυξη βελτιωμένων μεθόδων επεξεργασίας εικόνων και αναγνώρισης προτύπων, καθώς και από τους σχεδιασμούς βελτιωμένης μεταχείρισης από ρομπότ. Η τοποθέτηση σε κιβώτια μεταφορών με σκοπό τη μεγιστοποίηση της πληρότητας ενός αεροσκάφους για μεταφορά πακέτων είναι επίσης μία ευφυής διαδικασία που οι άνθρωποι εκτελούν πολύ καλά. Ωστόσο, ακόμη δεν είναι γνωστό πως πρέπει να προγραμματισθεί ένα ρομπότ για να το εκτελέσει αυτό εξίσου καλά.

9.4.4 Οικιακές Εφαρμογές

Η αποδοχή από τον άνθρωπο μίας νέας τεχνολογίας βοηθείται πάντοτε από τη φιλική, φθηνή έκδοση της τεχνολογίας, η οποία μπορεί να εκτελεί ένα απλό αλλά μη ελκυστικό έργο το οποίο αποτελεί κομμάτι της καθημερινής ζωής. Υπό αυτό το πρίσμα, ένα ρομπότ καθαρισμού πατωμάτων θα ενισχύσει πολύ περισσότερο την αποδοχή της ρομποτικής από όλες τις άλλες

ρομποτικές εφαρμογές μαζί. Ένα τέτοιο ρομπότ απαιτεί ιδιαίτερα εξελιγμένες ικανότητες αίσθησης, αναγνώρισης προτύπων και ελέγχου, και έχει ήδη αναπτυχθεί. Μέσα στην επόμενη δεκαετία, είναι πιθανόν τα οικιακά ρομπότ να έχουν τη θέση τους στο νοικοκυριό όπως τα PCs.

9.4.5 Διαστημικές και Υποβρύχιες Εφαρμογές

Τα ρομπότ είναι ιδεώδη για διαστημικές εφαρμογές. Συγκεκριμένα, ένα ρομπότ με κατάλληλους αισθητήρες μπορεί να εκτελέσει αρκετά έργα τα οποία είναι ιδιαίτερα επικίνδυνα και ακριβά για να εκτελεστούν από τους ανθρώπους. Τα ρομπότ επισκευής δορυφόρων και διαστημικών κατασκευών παρέχουν μία επέκταση των ανθρώπινων δυνατοτήτων σε διαστημικές εφαρμογές, οι οποίες αναμένεται να είναι ιδιαίτερου ενδιαφέροντος για τη μελλοντική εξερεύνηση του διαστήματος. Μη επανδρωμένα διαστημόπλοια εφοδιασμένα με ευφυή ρομπότ απορούν να διεξάγουν πειράματα και να αντλήσουν γνώσεις όσον αφορά απομακρυσμένες και επικίνδυνες περιοχές του διαστήματος.

Στην ίδια λογική λειτουργίας εμπίπτουν και τα υποβρύχια ρομπότ, τα οποία χρησιμοποιούνται όλο και περισσότερο για την εξερεύνηση του βυθού, για τον εντοπισμό ναυαγίων, για την πόντιση καλωδίων, κ.ά. Ένα τέτοιο ρομπότ χρησιμοποιήθηκε πρόσφατα από τον αμερικανό επιστήμονα Robert Ballard, για τον εντοπισμό του ναυαγίου του Τιτανικού.

9.4.6 Ιατρική

Η ακρίβεια και η ορθότητα των ρομποτικών χειριστών σε συνδυασμό με λογισμικό ευφυούς επεξεργασίας εικόνας θα καταστήσει τη χειρουργική μία ιδιαίτερα επακριβή τέχνη από ότι είναι σήμερα εφικτό. Αυτό βεβαίως δεν ενθαρρύνει την αντικατάσταση των χειρουργών ή άλλου ιατρικού προσωπικού

από ρομπότ. Απλά, το ρομπότ θα είναι ένας πολύτιμος βοηθός στη διανομή της ιατρικής φροντίδας. Η κοινωνική αποδοχή των ρομπότ, θα είναι πιθανότατα αρκετά πιο γρήγορη εάν οι εφαρμογές στην ιατρική έχουν τα αποτελέσματα που υπόσχονται. Ρομπότ που υποβοηθούν ιατρικές εγχειρήσεις βρίσκονται ήδη σήμερα σε χρήση.

Αξίζει τέλος να αναφερθούν επιγραμματικά ορισμένες πρόσφατες αναπτύξεις ρομποτικής τεχνολογίας στην Ιαπωνία. Αυτές είναι:

- **Μηχανισμοί με Παράλληλους Βραχίονες:** Είναι ρομπότ με βελτιωμένη ταχύτητα και ακρίβεια που δρουν συνεργατικά.
- **Τεχνολογία Εικονικής Πραγματικότητας:** Είναι συστήματα όπου οι κινήσεις ανθρώπων επαναλαμβάνονται και μαθαίνονται από ρομπότ, ενώ η πληροφορία μεταξύ ανθρώπου και ρομπότ μεταδίδεται σε πραγματικό χρόνο.
- **Μικρό-Ρομπότ Καλυμμένο με Μικροφωτοκύτταρα:** Είναι μικρά κινητά ρομπότ που έχουν αναπτυχθεί από τη Sanyo Electric Corp και που αντλούν ενέργεια από τον ήλιο, ώστε να μην υπάρχει εξάρτηση από καλώδιο παροχής ισχύος. Αναμένεται να χρησιμοποιηθούν σε ιατρικές εφαρμογές και εφαρμογές συντήρησης.
- **Μουσικά Ρομπότ:** Είναι πειραματικά ρομπότ με εξελεγμένα άκρα με δάκτυλα, τα οποία παίζουν μουσικά όργανα.
- **Ρομπότ Ιατρικών Χρήσεων:** Τέτοια ρομπότ χρησιμοποιούνται ήδη σε υποβοήθηση εγχειρήσεων, λαπαροσκόπηση, κλπ.
- **Αυτόματο Σύστημα Κατασκευής Σήραγγας:** Είναι ρομπότ που χρησιμοποιούνται σε κατασκευαστικές εργασίες για αυτόματη επίχρηση και τοποθέτηση πλακιδίων μέσα σε σήραγγες.
- **Ρομπότ Ψεκασμού Φυτοφαρμάκων:** Είναι ρομπότ που χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο εντομών σε μηλιές, προστατεύοντας τους καλλιεργητές από τοξικά χημικά.
- **Ρομπότ Συντήρησης Κρεμαστής Γέφυρας:** Είναι ρομπότ που αναπτύχθηκαν για τη συντήρηση της επιφάνειας των υψηλών πύργων στις κρεμαστές γέφυρες μεταξύ των νησιών Honsyu και Shikoku.
- **Ευφυή Ρομπότ Καθαρισμού Πατωμάτων:** Είναι ρομπότ εξοπλισμένα με γυροσκόπιο και αισθητήρες όρασης και αφής. Η διαδρομή

καθαρισμού προγραμματίζεται ενώ αποφεύγονται οι συγκρούσεις χρησιμοποιώντας τους αισθητήρες. Καθαρίζουν αυτόματα περί τα 2000m² ανά ώρα.

- **Ρομπότ Ασφαλείας:** Είναι ρομπότ εξοπλισμένα με καπνογόνα και φωτιά, έχουν ικανότητα αναγνώρισης του ανθρωπίνου σώματος, και διαθέτουν αισθητήρες για διαρροή νερού. Μετακινούνται αθόρυβα στα δωμάτια, και ειδοποιούν φρουρούς σε περίπτωση εισβολών ή ατυχημάτων.
- **Ρομπότ Καθαρισμού Μεγάλων Αεροπλάνων:** Είναι συστήματα ρομπότ, ελεγχόμενα εξ' αποστάσεως χρησιμοποιώντας 17 κάμερες. Χρησιμοποιούνται από τη Boeing για τον καθαρισμό αεροπλάνων τύπου B747 μέσα σε 90 λεπτά.

Οι εταιρείες ρομποτικής που λειτουργούν σήμερα και κατασκευάζουν ρομπότ, είναι σε κάθε χώρα οι ακόλουθες:

ΗΠΑ: Unimation (αργότερα Westinghouse, και τώρα Staubli Cincinnati-Millacron, Adept Technology, General Motors, IBM, General Electric, Bendix, Intellex, κ.ά.

Ιαπωνία: Kawasaki, Toshiba-Seiki, AIDE Engineering, START-SEIKI, Hitachi, Mitsubishi, Yaskawa, Motoman, Panasonic, Soni, Nachi, Fanuc.

Σουηδία: Asea (με Brown Boveri), Electrolux, Kaufelt, Atlas Copco.

Γερμανία: KUKA, Siemens, Volkswagen.

Ιταλία: Basfer, Olivetti-Osai, Norda, Comau-Fiat.

Νορβηγία: Tralfa.

Γαλλία: Renault και 12 μικρότερες εταιρείες.

Αγγλία: Εγκαταστάσεις της Fanauc.

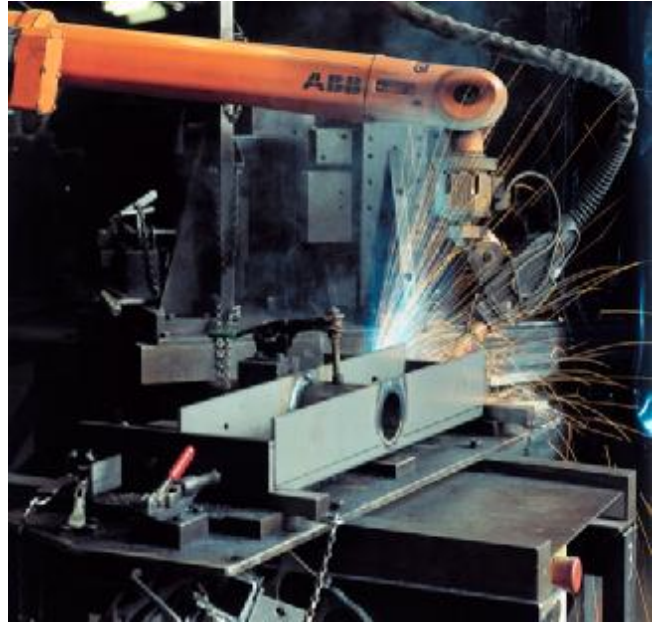
9.5. ΕΤΑΙΡΕΙΕΣ ΡΟΜΠΟΤΙΚΗΣ ΣΤΗΝ ΕΛΛΑΔΑ

Σε σχέση με το διεθνή χώρο, οι εφαρμογές της ρομποτικής στην Ελλάδα είναι περιορισμένες. Η ιδιαιτερότητα στην ελληνική βιομηχανία είναι ότι το πεδίο οράσεως των αυτοματισμών των παραγωγικών διαδικασιών, δεν

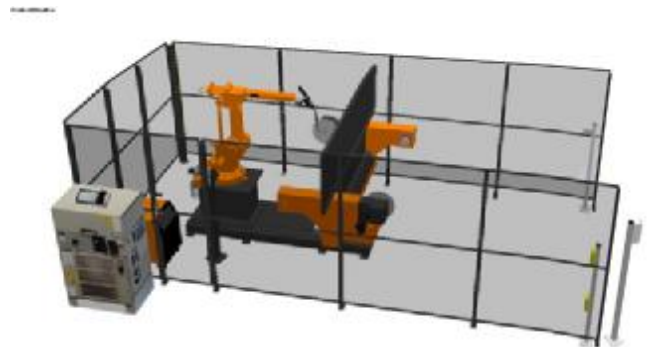
έχει διευρυνθεί στα μέτρα αού ακολούθησαν οι βιομηχανίες του εσωτερικού, καθώς και η σχετικά μικρή έκταση της βιομηχανία κατασκευών. Η διεθνής οικονομική και τεχνολογική πραγματικότητα απαιτεί την όλο και μεγαλύτερη ολοκλήρωση της βιομηχανικής παραγωγής με τις νέες τεχνολογίες όπως για παράδειγμα της ρομποτικής. Οι αυξανόμενες απαιτήσεις για ανταγωνιστικότητα και παραγωγικότητα ωθούν τις ελληνικές επιχειρήσεις στην προσπάθεια για ένα άνοιγμα στις τεχνολογικές καινοτομίες και εφαρμογές. Αυτή ωστόσο η πορεία εμποδίζεται από διάφορα προβλήματα, τα οποία προκύπτουν από την ιδιαιτερότητα των ελληνικών επιχειρήσεων, όπως η έλλειψη οργανωτικότητας, το μέγεθος των επιχειρήσεων οι οποίες κατά πλειοψηφία είναι μικρομεσαίες, κ.α.

Στην Ελλάδα σήμερα υπάρχουν δύο εταιρείες ρομποτικής, η εταιρεία βιομηχανικού αυτοματισμού Ζήνων Α.Ε. (έτος ίδρυσης 1987) και η Kouvalias Robots and Vision Systems. Βασικό χαρακτηριστικό αυτών των εταιρειών δεν είναι η παραγωγή ρομπότ αλλά η μεταφορά τεχνογνωσίας, η προσαρμογή της, και παράλληλα η ενσωμάτωση της δικής τους τεχνογνωσίας. Πρόκειται λοιπόν για εταιρείες που εισάγουν ρομπότ από παραγωγούς του εξωτερικού και στη συνέχεια τα προσφέρουν στην ελληνική αγορά, προσθέτοντας τη δική τους τεχνογνωσία και προσαρμόζοντας τα στις απαιτήσεις των πελατών τους. Πέρα όμως από τις ρομποτικές εγκαταστάσεις, οι ελληνικές εταιρείες ρομποτικής, συμπληρώνουν το φάσμα δραστηριοτήτων τους και με άλλες εγκαταστάσεις αυτοματισμού που αφορούν την ολοκληρωμένη παραγωγή με υπολογιστές (CIM).

Η εταιρεία με το μεγαλύτερο μερίδιο αγοράς είναι η Ζήνων, με καταμετρημένα 28 εγκατεστημένα ρομποτικά συστήματα (στοιχεία 1998), ενώ η Kouvalias Robots and Vision Systems έχει περιοριστεί σε λιγότερες βιομηχανικές εγκαταστάσεις. Οι εταιρείες ρομποτικής, βρισκόμενες σε άμεση και συνεχή επαφή με τους πελάτες τους, ακολουθούν μια πολιτική εγκατάστασης «με το κλειδί στο χέρι» (turn-key installation) στους χώρους παραγωγής του πελάτη, προσφέροντας ένα ολοκληρωμένο «πακέτο» ρομποτικής εγκατάστασης, αναλαμβάνοντας όλη την ευθύνη, και περιλαμβάνοντας όχι μόνο τοποθέτηση και δοκιμή αλλά και συνεχή υποστήριξη για συντήρηση και εκπαίδευση.







Στις παραπάνω εικόνες παρουσιάζονται ρομποτικά συστήματα συγκόλλησης τόξου και σημείου.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

Ελληνική

- 1) Ρομποτική, Τζαφέστας Σπύρος
- 2) Μηχανισμοί και ρομποτικά συστήματα, Καναράχος Ε. Ανδρέας
- 3) Ρομποτική, Εμίρης
- 4) Η Ρομποτική, George Giralt

Ξένα

- 1) Handbook of Industrial Robotics, Shimon Y. Nof
- 2) An Introduction to Robotics, Sandhu
- 3) Applied Robotics, Endwin Wise
- 4) Industrial Electronics and Robotics, Schuler
- 5) Robotics, Malcom
- 6) Industrial Engineering Series, Weiss Mitchell

Ηλεκτρονική (Internet)

- 1) www.ri.cmu.edu
- 2) www.fanurobotics.com
- 3) www.abb.com
- 4) www.robotics.org
- 5) www.stanford.edu
- 6) www.ncsu.edu/IEEE-RAS
- 7) www.robotics.com
- 8) www.robotics.eecs.berkeley.edu
- 9) www.robotics.usc.edu

- 10) www.robotics.nasa.gov
- 11) www.usfirst.org
- 12) www.spawar.navy.mil/robots
- 13) www.crsrobotics.com
- 14) www.mdrobotics.ca
- 15) www.harvard.edu
- 16) www.cs.columbia.edu/robotics
- 17) www.ifr.org
- 18) www.activrobots.com
- 19) www.usr-emea.com
- 20) www.cs.man.ac.uk/robotics
- 21) www.acroname.com
- 22) www.eng.cam.ac.uk
- 23) www.cellrobotics.com
- 24) www.robots.ox.ac.uk
- 25) www.deneb.com
- 26) www.solarbotics.com
- 27) www.cs.cornell.edu
- 28) www.cs.brown.edu
- 29) www.cs.cmu.com
- 30) www.asea.com
- 31) www.siemens.com
- 32) www.gm.com
- 33) www.bendix.com
- 34) www.mitsubishi.com
- 35) www.volkswagen.com
- 36) www.basfer.com
- 37) www.volkswagen.com
- 38) www.basfer.com
- 39) www.nachi.com
- 40) www.imb.com
- 41) www.tralfa.com
- 42) www.intelledex.com
- 43) www.kuka.com