

ΑΝΩΤΑΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΙΔΡΥΜΑ ΠΑΤΡΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΦΑΡΜΟΓΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΑΣ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΚΟΠΗ ΚΑΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕ LASER -
ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ LASER



ΕΚΠΟΝΗΤΕΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ :

ΚΑΛΚΟΥΝΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ Α.Μ. 3582

ΚΟΝΔΥΛΗΣ ΑΝΤΩΝΗΣ Α.Μ. 3665

ΜΠΑΜΠΑΛΗΣ ΧΡΗΣΤΟΣ Α.Μ. 3772

ΕΙΣΗΓΗΤΗΣ :

ΛΑΖΑΡΗΣ ΒΑΣΙΛΕΙΟΣ

ΠΑΤΡΑ 2006



Κοπή και συγκόλληση μετάλλων με laser – Ασφάλεια στη χρήση laser

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ	5
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο	6
ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ LASER	6
1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ LASER	6
1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ LASER.....	9
1.3 ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ LASER.....	10
1.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ LASER	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο	17
ΤΥΠΟΙ LASER ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	17
2.1 ΤΥΠΟΙ LASER.....	17
2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ.....	31
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο	38
ΚΟΠΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕ LASER	38
3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ	38
3.1.1 Μερικά πλεονεκτήματα της κοπής με laser	41
3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	43
3.2.1 Θερμικές διαδικασίες	43
3.2.2 Κοπή με O ₂ (OFC)	44
3.2.3 Κοπή με πλάσμα (PAC).....	45
3.2.4 Μηχανικές διαδικασίες	46
3.2.5 Χάραξη.....	46
3.2.6 Διάτρηση	47
3.2.7 Διάτμηση (ευθείες ακμές)	48
3.2.8 Πριόνισμα.....	48
3.2.9 Κοπή με εκτοξευστήρες νερού.....	49
3.2.10 Ηλεκτρικές διαδικασίες.....	50
3.2.11 Συναγωνισμός μεταξύ κοπής με laser και θερμικών μεθόδων κοπής.....	52
3.2.12 Συστήματα laser μεγάλης κλίμακας.....	52
3.2.13 Κριτήρια για επιλογή μεθόδου κοπής	52
3.2.14 Σύγκριση κόστους.....	53
3.2.15 Σύγκριση από πλευράς ποιότητας.....	54
3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΚΟΠΗΣ	55
3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ LASER.....	57

Κοπή και συγκόλληση μετάλλων με laser – Ασφάλεια στη χρήση laser

3.4.1 Γενικά.....	57
3.4.2 Ισχύς παλμικού και συνεχούς κύματος.....	63
3.4.3 Τρόπος, σταθερότητα ισχύος και σκόπευσης.....	64
3.4.4 Εγκάρσιος ηλεκτρομαγνητικός τρόπος.....	64
3.4.5 Διάμετρος του εστιασμένου σημείου.....	65
3.4.6 Βάθος εστίασης.....	67
3.4.7 Πυκνότητα ισχύος, πυκνότητα ενέργειας και ενέργεια κοπής.....	69
3.5 ΘΕΩΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	71
3.5.1 Βασικά στοιχεία.....	71
3.5.2 Σύστημα παροχής ακτίνας.....	71
3.5.3 Σύστημα κίνησης.....	74
3.5.4 Συστήματα παροχής αερίου.....	78
3.5.5 Σύστημα εξαγωγής.....	79
3.5.6 Ψυγείο.....	79
3.5.7 Ροή ψυχρού νερού.....	80
3.5.8 Πίεση παροχής της αντλίας.....	81
3.5.9 Έλεγχος Θερμοκρασίας.....	82
3.5.10 Ποιότητα του νερού.....	82
3.5.11 Εγκατάσταση σωληνώσεων.....	83
3.5.12 Εξαρτήματα ψύξεως.....	84
3.6 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ.....	85
3.6.1 Δυναμικός έλεγχος ισχύος.....	85
3.6.2 Πόλωση.....	87
3.7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΓΙΑ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ Ή ΜΕΤΑΔΙΔΟΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΑ.....	88
3.7.1 Ευθυγράμμιση ακτίνας.....	88
3.7.2 Σταθερότητα παροχής της ακτίνας.....	89
3.7.3 Καθαρισμός του συστήματος παροχής.....	90
3.7.4 Σημείο δρόσου.....	91
3.8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ.....	92
3.8.1 Τύπος ίνας και διαμέτρου σημείου.....	92
3.8.2 Ευθυγράμμιση.....	93
3.8.3 Σταθερότητα συστήματος.....	93
3.8.4 Διαμορφώσεις οπτικής ίνας.....	94
3.9 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΟΠΗΣ.....	95
3.9.1 Ενέργεια κοπής.....	95
3.9.2 Αποδοτικότητα.....	96
3.9.3 Ασφάλεια των laser.....	96
3.10 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ.....	98
3.10.1 Κατάλληλα υλικά για κοπή με laser.....	98
3.10.2 Μέταλλα.....	99
3.10.3 Μη μέταλλα.....	107
3.10.4 Οργανικά υλικά.....	108
3.10.5 Ανόργανα υλικά.....	113
3.11 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	117
3.11.1 Εγκοπή.....	117

Κοπή και συγκόλληση μετάλλων με laser – Ασφάλεια στη χρήση laser

3.11.2 Κωνικότητα.....	119
3.11.3 Τραχύτητα και ομαλότητα	119
3.11.4 Σκουριά	120
3.11.5 Θερμικός επηρεασμός.....	120
3.11.6 Επιφανειακή κατάσταση του υλικού.....	121
3.11.7 Τοποθέτηση του εξαρτήματος	124
3.11.8 Ακόλουθο ύψος.....	125
3.11.9 Προετοιμασία εξαρτημάτων	126
3.12 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΟΠΗΣ	127
3.13 ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	131
3.14 ΠΑΛΜΟΣ	135
3.15 Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ	136

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο..... 137

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕ LASER..... 137

4.1 ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΕ LASER	137
4.1.1 Συγκόλληση με laser	137
4.1.2 Χαρακτηριστικά μεθόδου	139
4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ.....	141
4.2.1. Πλεονεκτήματα	144
4.2.2 Μειονεκτήματα	147
4.3 ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕ LASER.....	154
4.3.1 Συγκολλησιμότητα και στοιχεία κραμάτων.....	158
4.3.2 Επιδράσεις των επιφανειακών επιστρώσεων στη συγκολλησιμότητα των μετάλλων.....	165
4.3.3 Επιφανειακή κατεργασία	172
4.3.4 Πιθανά συγκολλητικά ελαττώματα και οι λύσεις τους.....	174
4.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ	179
4.4.1 Μέγεθος εστιασμένου σημείου, βάθος εστίασης και θέση εστίασης	180
4.4.2 Προστατευτικά αέρια, προστατευτικές μηχανές και καταστολή πλάσματος	187
4.4.3 Ισχύς του laser και ταχύτητα συγκόλλησης.....	195
4.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ	197
4.5.1 Υλικά.....	199
4.5.2 Συνθήκες συγκόλλησης.....	200
4.5.3 Περιοδικός έλεγχος συγκόλλησης	201
4.5.4 Έλεγχος εξοπλισμού	204
4.5.5 Έλεγχος διαδικασίας συγκόλλησης	207
4.6 ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΤΟΥΣ.....	209

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο..... 212

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ LASER..... 212

5.1 Γενικά.....	212
5.2 Κίνδυνοι	213
5.2.1 Κίνδυνοι από ακτίνες laser.....	213
5.2.2 Ηλεκτρικοί κίνδυνοι.....	215



Κοπή και συγκόλληση μετάλλων με laser – Ασφάλεια στη χρήση laser

5.2.3 Κίνδυνοι από χημικά και αναθυμιάσεις	216
5.3 Πρακτικές προφυλάξεις	217
5.3.1 Προφυλάξεις από την ακτίνα laser.....	217
5.3.2 Ηλεκτρικές προφυλάξεις.....	220
5.3.3 Προφυλάξεις από χημικά και αναθυμιάσεις	221
<u>ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ</u>	<u>223</u>



ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Μια από τις καινούργιες τεχνολογίες κατεργασίας μετάλλων που έχει εμφανιστεί την τελευταία 20ετία είναι η κατεργασία με ακτίνες laser.

Το laser είναι ένα εργαλείο πολλαπλών λειτουργιών που κινείται στο χώρο είτε με χρήση CNC, είτε με robot. Αυξομειώνοντας την έντασή του, μπορεί να κόψει, να συγκολλήσει, να τρυπήσει κ.α. μια μεγάλη ποικιλία υλικών, χρησιμοποιώντας τον ίδιο μηχανισμό.

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία υλικών τα οποία μπορούν να υποστούν κατεργασία με ακτίνες laser. Η κύρια ομάδα υλικών την οποία κατεργάζονται είναι τα μέταλλα. Επίσης με laser μπορούν να κατεργασθούν μια σειρά από εύθραυστα ή πολύ ελαστικά υλικά. όπως γυαλί, κεραμικά κ.α.

Τα πλεονεκτήματα που υπάρχουν κατά την κατεργασία με laser είναι πολλά σε σχέση με άλλες συμβατικές μεθόδους. Γι' αυτό, τα τελευταία χρόνια έχει επέλθει ραγδαία εξέλιξη στην βιομηχανία.

Το αντικείμενο της πτυχιακής μας εργασίας είναι η ανάπτυξη των τεχνικών κοπής και συγκόλλησης μετάλλων και η ασφάλεια στη χρήση laser με τα χαρακτηριστικά τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

ΓΕΝΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΤΟΥ LASER

1.1 ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ LASER

Η λέξη laser είναι ακρωνύμιο και προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων: "*Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation*", που σημαίνει: "*Ενίσχυση Φωτός με Εξαναγκασμένη Εκπομπή Ακτινοβολίας*".

Η ακτινοβολία laser οφείλεται στο φαινόμενο της "*εξαναγκασμένης εκπομπής φωτός*".

Η αντίστοιχη θεωρία διατυπώθηκε το 1917 από τον Albert Einstein. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία όταν ένα άτομο ύλης απορροφήσει μια ποσότητα ενέργειας θεωρείται "*διεγερμένο*" και τότε μπορεί να συμβεί η μετακίνηση ενός ή περισσώτερων ηλεκτρονίων του, από την τροχιά στην οποία κινούνται, στην αμέσως επόμενη τροχιά.

Όταν το ή τα ηλεκτρόνια επιστρέψουν στην αρχική τους τροχιά, τότε το άτομο αποδιεγείρεται και ταυτόχρονα εκπέμπει ακτινοβολία, η οποία, στην προκειμένη περίπτωση, είναι υπό την μορφή φωτονίων, δηλαδή φως.

Η αποδιέγερση αυτή, γίνεται είτε αυτόματα, όπως σε υλικά που φωσφορίζουν π.χ. λαμπτήρες φθορισμού κ.τ.λ., είτε εξαναγκασμένα, όπως στην ακτινοβολία laser.

A. Κατά την αυτόματη εκπομπή ακτινοβολίας, ένα διεγερμένο άτομο επανέρχεται αυτόματα και σύντομα στη θεμελιώδη κατάσταση του με ταυτόχρονη εκπομπή ενός φωτονίου, ενέργειας ίσης προς εκείνη την οποία απορρόφησε όταν διεγέρθηκε.

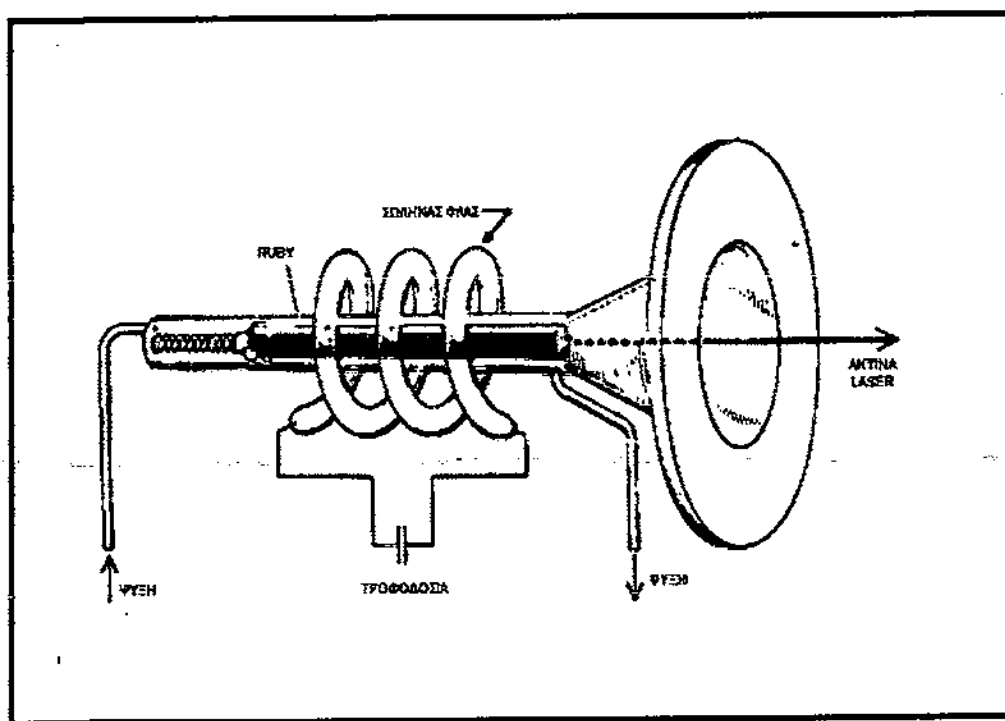
Κοπή και συγκόλληση μετάλλων με laser – Ασφάλεια στη χρήση laser

Β. Κατά την εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας, το διεγερθέν άτομο παρασύρεται σε αποδιέγερση επηρεασμένο από κάποιο άλλο φωτόνιο, (που προέρχεται από κάποιο άλλο αποδιεγερμένο άτομο), με ταυτόχρονη εκπομπή ενός φωτονίου ενέργειας, το οποίο πάλι διεγείρει ένα άλλο άτομο κ.ο.κ.

Και στις δύο περιπτώσεις αποδιέγερσης, ο αριθμός φωτονίων που παράγονται από την εκπομπή εξαρτάται από:

- α) το χρόνο που διαρκεί η αποδιέγερση ή η εκπομπή,
- β) την πυκνότητα ενέργειας που χρησιμοποιήθηκε για την εκπομπή και
- γ) το πλήθος ηλεκτρονίων που βρίσκονται στην εξωτερική τροχιά του ατόμου.

Είναι πολύ πιθανό κάποιος που έκανε πειράματα με σωλήνες αήλης παλαιότερα, να δημιούργησε συνθήκες ενίσχυσης φωτός. Δεν παρατήρησε όμως ακτινοβολία laser είτε από έλλειψη οπτικού αντηχείου, που θα μετέτρεπε τον ενισχυτή φωτός σε ταλαντωτή-πηγή φωτός, είτε γιατί τα πειράματα αυτά έγιναν σε γυάλινους σωλήνες που είναι σκοτεινοί στο υπέρυθρο, περιοχή όπου συναντάμε τα πιο ισχυρά laser αερίων.



Το 1960 τελικά, έγινε ένα πολύ σημαντικό πείραμα στα εργαστήρια Hughes Aircraft Corporation στην Καλιφόρνια, που κατέληξε στην κατασκευή του πρώτου laser. Το πείραμα αυτό ήταν πάρα πολύ απλό. Ένας συνθετικός κρύσταλλος Ruby (ρουβινίου), μήκους 20 mm και διαμέτρου 9 mm, με γυαλισμένες οπτικά τις δύο έδρες του και επιστρωμένες με άργυρο, τοποθετήθηκε μέσα σε ένα ελικοειδή σωλήνα φλας. Όταν το φλας τέθηκε σε λειτουργία, λούζοντας τον κρύσταλλο με πολυχρωματικό φως, βγήκε μία πολύ λεπτή ακτίνα, κόκκινου μονοχρωματικού φωτός, από το ένα άκρο του κρυστάλλου. Αυτή ήταν η πρώτη επιτυχής λειτουργία ενός laser, του πρώτου από μία σειρά εντυπωσιακών συσκευών με μοναδικές ιδιότητες, που μεταμόρφωσαν ή δημιούργησαν ολόκληρες περιοχές έρευνας και τεχνολογίας. Το πρώτο αυτό Ruby laser φαίνεται στο σχήμα της προηγούμενης σελίδας.

Το πόσο σημαντική ήταν η ανακάλυψη αυτή του Ruby laser, από τον Theodore H. Maiman, φαίνεται και από το γεγονός ότι μέσα στα επόμενα 10 χρόνια εμφανίστηκαν 5000 δημοσιεύσεις πάνω σε θέματα ανάπτυξης συστημάτων laser στον διεθνή επιστημονικό τύπο. Τα έξοδα για έρευνα στον ίδιο τομέα, στην ίδια χρονική περίοδο, ξεπέρασαν τα 500 εκατομμύρια λίρες Αγγλίας.

Η επιβράβευση όλων αυτών που ασχολήθηκαν με την κατασκευή του laser ήρθε το 1969, όταν οι τρεις πρωτοπόροι Charles H. Townes στις Ηνωμένες πολιτείες και οι Aleksandr M. Prokhorov και Nikolay Basov στη Σοβιετική Ένωση μοιράστηκαν το βραβείο Nobel φυσικής.

1.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ LASER

1. Μήκος Κύματος

Μετριέται σε νανόμετρα (nm).

$$1\text{nm} = 10 \text{ \AA} = 10^{-9} \text{ m}$$

2. Πυκνότης της ισχύος της ακτινοβολίας (ένταση φωτός εστιασμένου σε ένα σημείο).

Στα laser συνεχούς εκπομπής μετριέται η ισχύς της ακτινοβολίας στη μονάδα επιφάνειας.

$$\text{Watt} / \text{cm}^2 \text{ (1 Watt} = 1 \text{ A x 1 volt)}$$

3. Καθολική διάρκεια παλμού (πυκνότητα της ισχύος στη μονάδα του χρόνου).

Στα laser που λειτουργούν κατά παλμούς μετριέται η διάρκεια της ριπής της ενέργειας.

$$\text{J} / \text{cm}^2 \text{ (1 Joule} = 1 \text{ w x 1 sec)}$$

4. Είδος της ακτίνας.

Μπορεί να είναι απλή ή πολλαπλή.

5. Απόκλιση της δέσμης (το άπλωμα της δέσμης).

Θεωρητικά οι ακτίνες laser είναι κατευθυντικές, δηλαδή παράλληλες σε μεγάλη απόσταση. Αλλά πρακτικά υπάρχει κάποια απόκλιση των ακτινών από την απόλυτη παραλληλότητα.



1.3 ΓΕΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ LASER

Αν συγκρίνουμε την ακτινοβολία ενός laser με την ακτινοβολία μιας λάμπας πυράκτωσης ή ενός σωλήνα φθορισμού, θα δούμε ότι:

1. η διαφορά στην ποιότητα της οπτικής ακτινοβολίας που εκπέμπεται στις δυο περιπτώσεις είναι πάρα πολύ μεγάλη.
2. το φως του laser υπερτερεί σε πέντε σημεία:
 - Την κατευθυντικότητα
 - Την ένταση
 - Την φασματική καθαρότητα
 - Την συμφωνία.
 - Την πόλωση της δέσμης

Στη συνέχεια θα αναφερθούμε περιληπτικά στα παραπάνω πέντε σημεία.

Κατευθυντικότητα

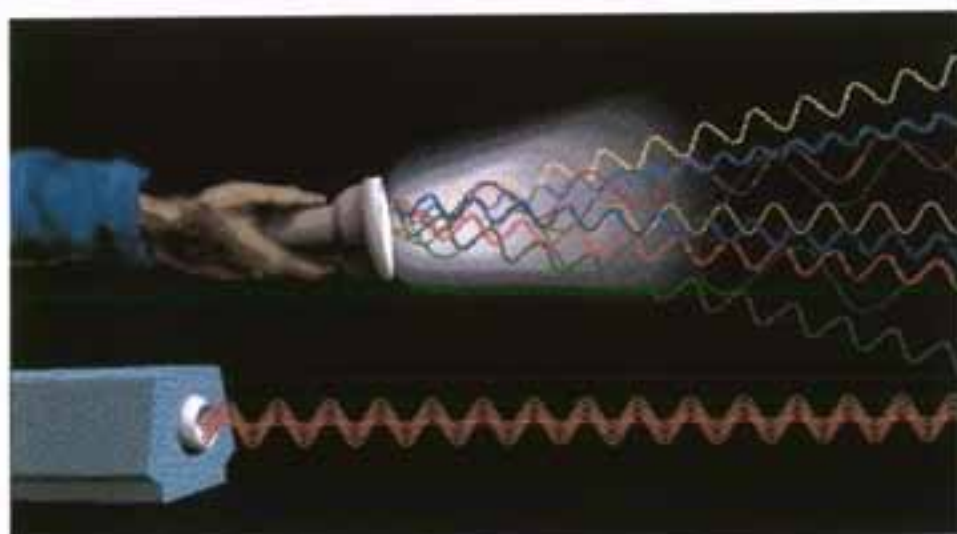
Κριτήριο για την κατευθυντικότητα της δέσμης είναι το λεγόμενο "άνοιγμα" της, που στην πράξη είναι το διπλάσιο της γωνίας που σχηματίζει η εξωτερική ακτίνα της δέσμης με την κεντρική ακτίνα. Συνηθίζεται να εκφράζεται σε mrad. Για ένα κλασσικό μικρό laser το άνοιγμα της δέσμης του είναι περίπου 1 mrad, πράγμα που αντιστοιχεί σε αύξηση της διαμέτρου της δέσμης του laser κατά 1 mm ανά μέτρο διαδρομής.

Είναι γνωστό, ότι μια συμβατική πηγή φωτός (π.χ. λάμπα πυράκτωσης) εκπέμπει ακτινοβολία σε όλες τις διευθύνσεις με ανώμαλη κατανομή φωτοβολίας. Αντίθετα, η ακτινοβολία από ένα laser είναι αυστηρά περιορισμένη σε μια λεπτή δέσμη φωτός εγκάρσιας διατομής (της τάξης του ενός τετραγωνικού χιλιοστού) και μικρής απόκλισης (της τάξης του ενός mrad). Οι ακτίνες δεν εφίστανται

μεταξύ τους και εξακολουθούν να είναι παράλληλες ακόμα και σε μεγάλη απόσταση από την πηγή εκπομπής.

Ένταση

Τα laser είναι πηγές μεγάλης λαμπρότητας και έντασης ακτινοβολίας. Χαρακτηριστικά αναφέρεται, ότι η λαμπρότητα της δέσμης ενός laser He-Ne που έχει ισχύ 1 mWatt είναι κατά πολύ μεγαλύτερη από τη λαμπρότητα του ήλιου (τουλάχιστον 100 φορές μεγαλύτερη).



Φασματική καθαρότητα

Μια λάμπα πυράκτωσης ή μια οποιαδήποτε άλλη πηγή φωτός έχουν μια διευρυμένη περιοχή φάσματος, (η λάμπα πυράκτωσης π.χ. έχει συνεχές φάσμα περίπου 300nm μέχρι 200nm) ενώ το laser είναι μια αυστηρά μονοχρωματική πηγή φωτός, που ακόμη και για ένα απλό He-Ne laser μπορεί να σταθεροποιηθεί σε μια συχνότητα με εύρος 1 Mhz. Κάθε εκπομπή έχει ένα συγκεκριμένο μήκος κύματος, ανάλογα με το ενεργό υλικό από το οποίο αποτελείται. Είναι ομοιογενές φως.

Συμφωνία

Εδώ η ακτινοβολία του laser υπερτερεί εκπληκτικά σε σχέση με την ακτινοβολία των συμβατικών πηγών. Συμφωνία είναι το μέτρο της έκτασης, στην οποία η φάση της ακτινοβολίας διατηρείται σταθερή σε διαφορετικά σημεία από ηλεκτρομαγνητικό πεδίο που δημιουργεί η ακτινοβολία.

Αν θεωρήσουμε μια ακτινοβολία που διαδίδεται με την μορφή μιας δέσμης, (κατά μια συγκεκριμένη διεύθυνση) τότε μπορούμε να διακρίνουμε 2 τύπους συμφωνίας:

- Τη χρονική συμφωνία (temporal coherence)
- Τη χωρική συμφωνία (spatial coherence)

Αναφερόμαστε σε χρονική συμφωνία, όταν παίρνουμε σημεία με σταθερή διαφορά φάσης κατά μήκος της διεύθυνσης διάδοσης της φωτεινής δέσμης, ενώ μιλάμε για χωρική συμφωνία, όταν παίρνουμε σημεία πάνω στο μέτωπο κύματος της ακτινοβολίας και κάθετα προς τη διεύθυνση διάδοσης της φωτεινής δέσμης. Σε πολλές εφαρμογές οπτικής ακτινοβολίας, μια σπουδαία παράμετρος είναι το συνολικό ποσό της διαθέσιμης σύμφωνης οπτικής ενέργειας, δηλαδή το ποσό της οπτικής ενέργειας που διασχίζει την περιοχή συμφωνίας στον χρόνο συμφωνίας.

Οι παραπάνω αναφερόμενες ιδιότητες του laser, το κάνουν σπουδαίο σε πάρα πολλές εφαρμογές, όχι μόνο ως πηγής φωτός αλλά και ως εργαλείο, χρήσιμο σε πάρα πολλές περιπτώσεις και σε πάρα πολλούς τομείς έρευνας και εφαρμογών.

Πόλωση της δέσμης

Το φως των ηλεκτρικών λαμπτήρων, των λαμπτήρων φθορισμού, του ήλιου και των πολλών άλλων φωτεινών πηγών συμπεριφέρεται γενικά σαν "μη πολωμένο" ή "τυχαία πολωμένο". Αντίθετα, πολλά laser παράγουν πολωμένο φως. Θα μπορούσαμε λοιπόν να πούμε, ότι η ακτινοβολία τους έχει και αυτή την ιδιότητα σαν χαρακτηριστικό της.

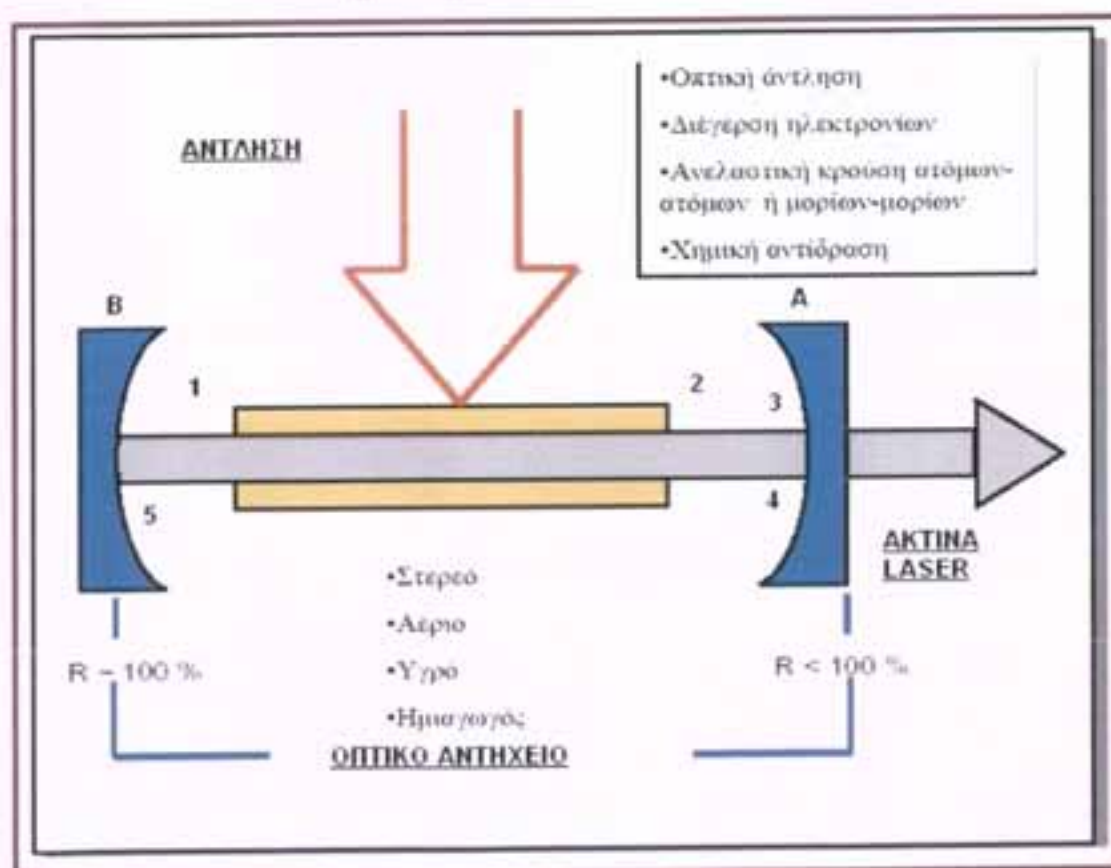
Στην πράξη, η πόλωση της δέσμης του laser επιτυγχάνεται με την χρήση ενός οπτικού πολωτικού στοιχείου που τοποθετείται μέσα στο οπτικό αντηχείο. Τα πιο συνηθισμένα από αυτά στοιχεία είναι οπτικές επιφάνειες σε γωνίες Brewster, (που συνήθως ονομάζονται "*παράθυρα Brewster*"), πρίσματα, φράγματα ανάκλασης, οπτικοί πολωτές κλπ.

1.4 ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ LASER

Παρ' όλο που υπάρχουν πολλοί τύποι laser, που καθένας έχει τα δικά του χαρακτηριστικά και τις δικές του κατασκευαστικές λεπτομέρειες, εν τούτοις είναι δυνατόν να υποδειχθούν ορισμένες βασικές αρχές λειτουργίας των laser που είναι κοινές για όλους τους τύπους.

Έτσι η μελέτη όλων των τύπων laser, μας οδηγεί στο συμπέρασμα ότι σε κάθε ένα από αυτά μπορούμε να διακρίνουμε τα ακόλουθα τμήματα (σχήμα 1.1):

- Το ενεργό υλικό.
- Το οπτικό αντηχείο ή κοιλότητα συντονισμού.
- Το τμήμα της διαδικασίας άντλησης.



Σχήμα 1.1 Σχηματική διάταξη laser

Το ενεργό υλικό είναι το υλικό που παρέχει τις στάθμες ενέργειάς του για μεταπτώσεις ηλεκτρονίων που οδηγούν σε δράση laser. Το υλικό αυτό δρα ως ενισχυτής στην οπτική ακτινοβολία, που περνά μέσα από αυτό.

Η ακτινοβολία αυτή εγκλωβίζεται στο λεγόμενο «οπτικό αντηχείο» ή «κοιλότητα συντονισμού», το οποίο αποτελείται από δυο καθρέπτες. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται το φαινόμενο της ανάδρασης (feedback) στην παραγόμενη οπτική ακτινοβολία, έτσι ώστε το laser να λειτουργεί σε μια αυτοσυντηρούμενη ταλάντωση.

Με τη «διαδικασία άντλησης» είναι δυνατόν να μεταφέρεται ενέργεια μέσα στα άτομα του ενεργού υλικού, έτσι ώστε να διατηρείται μια συντηρούμενη ταλάντωση μέσα στο οπτικό αντηχείο, παρά την ύπαρξη απωλειών της οπτικής ενέργειας λόγω της (σκόπιμης) χρήσιμης απώλειας εξόδου, είτε λόγω (ανεπιθύμητων) παρασιτικών απωλειών που οφείλονται στην ίδια την κατασκευή του laser.

Στο σχήμα 1.1 έχουμε το ενεργό υλικό ανάμεσα σε δυο καθρέπτες Α και Β που αποτελούν το οπτικό αντηχείο. Μια οπτική ακτινοβολία που διαδίδεται από το σημείο 1 στο σημείο 2 βγαίνει κατά πολύ ενισχυμένη από το ενεργό υλικό. Αυτό γίνεται διότι το ενεργό υλικό διοχετεύει την ενέργεια που δέχεται μέσω της διαδικασίας άντλησης στο πεδίο της ακτινοβολίας που σχηματίζεται.

Στη συνέχεια, η ακτινοβολία διαδίδεται από το σημείο 2 στο σημείο 3 πάνω στον καθρέπτη Α. Ο καθρέπτης Α είναι κατασκευασμένος κατά τέτοιο τρόπο, ώστε μόνο ένα μικρό κλάσμα της ακτινοβολίας που πέφτει πάνω του να είναι δυνατόν να περάσει μέσα από αυτόν. Η ακτινοβολία αυτή αποτελεί τη χρήσιμη ακτινοβολία εξόδου του laser. Η ακτινοβολία που παραμένει ανακλάται και επιστρέφει στο οπτικό αντηχείο (από το σημείο 3 στο σημείο 4).

Με τον τρόπο αυτό η ακτινοβολία ενισχύεται ξανά με το πέρασμά της μέσα από το ενεργό υλικό από το σημείο 4 στο σημείο 5, οπότε και προσπίπτει στον

καθρέπτη Β, ανακλάται ολόκληρη και επιστρέφει ξανά ακολουθώντας την ίδια διαδρομή.

Ο καθρέπτης Β είναι κατασκευασμένος, σε αντίθεση με τον καθρέπτη Α, ώστε να έχει ανακλαστικότητα περίπου ίση με 100%.

Κυριότερες ιδιότητες των laser

Μεταξύ των κοινών χαρακτηριστικών όλων των laser, που τα καθιστούν διαφορετικά από τις υπόλοιπες πηγές της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, είναι τα παρακάτω:

1. Μονοχρωματικότητα.
2. Ελάχιστη σύγκλιση δέσμης.
3. Το προφίλ στο χώρο της έντασης της δέσμης είναι τύπου Gauss.
4. Υψηλή πυκνότητα δέσμης.
5. Μεγάλο βαθμό χωρικής και χρονικής συμβατότητας.
6. Μεγάλο βαθμό πόλωσης της δέσμης.
7. Μεγάλη πυκνότητα του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου.

Οι παραπάνω ιδιότητες κάνουν μοναδική την επιλογή των laser στην επεξεργασία των υλικών, όπως και στα άλλα πεδία εφαρμογής τους.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2^ο

ΤΥΠΟΙ LASER ΚΑΙ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

2.1 ΤΥΠΟΙ LASER

Μέσα σε μια εικοσαετία, από τότε που ο T.H. Maiman παρατήρησε τη δράση των laser, αναπτύχθηκαν ραγδαία διάφοροι τύποι laser, καθώς και η τεχνολογία των υλικών που χρησιμοποιούνται σε αυτά.

Οι διάφορες συσκευές laser μπορούν να ταξινομηθούν σε διάφορες κατηγορίες:

A. Ανάλογα με το ενεργό υλικό

1. Laser Στερεών.

Τα πιο κοινά στερεά μέσα laser είναι ράβδοι των ροδοκόκκινων κρυστάλλων και των εμπλουτισμένων με neodymium γυαλιών και κρυστάλλων. Οι άκρες της ράβδου διαμορφώνονται σε δύο παράλληλες επιφάνειες που καλύπτονται με μια μη μεταλλική ταινία απεικόνισης. Τα στερεά κατάστασης laser προσφέρουν την παραγωγή υψηλότερης δύναμης. Χρησιμοποιούνται συνήθως με έναν παλλόμενο τρόπο για να παράγουν μια έκρηξη φωτός κατά τη διάρκεια ενός σύντομου χρόνου. Εκρήξεις τόσο σύντομες, όπως 10-15 sec, έχουν επιτευχθεί, χρήσιμες στη μελέτη φυσικών φαινομένων πολύ συνοπτικής διάρκειας. Η άντληση επιτυγχάνεται με το φως από τους σωλήνες λάμπης ξένου, τους λαμπτήρες τόξων ή τους λαμπτήρες μετάλλου-ατμού. Το φάσμα συχνότητας έχει επεκταθεί από το υπέρυθρο (IR) στην υπεριώδη ακτίνα (UV) με τον πολλαπλασιασμό της αρχικής συχνότητας laser με το κρύσταλλο -όπως διυδρογόνο καλίου- φωσφορικό άλας

και τα μήκη κύματος των ακτίνων X έχουν επιτευχθεί στοχεύοντας με ακτίνες laser έναν yttrium στόχο.

Σε αυτά τα laser, το ενεργό υλικό είναι ένα στερεό σώμα π.χ. Nd-YAG (Νεοδίμιο - ύτριο, αργίλιο, γρανίτης-Garnet), ρουμπίνι κλπ.

2. Laser Αερίων

Μία άλλη κατηγορία συσκευών laser χρησιμοποιεί σαν μέσο ενισχύσεως τον αέρα. Η πρώτη συσκευή αυτού του είδους περιλάμβανε ένα μίγμα από αέρια ήλιο και νέο. Όπως και με το laser κρυστάλλου, το πρόβλημα εντοπίζεται στο να ενεργοποιηθούν τα άτομα σε διεγερμένες καταστάσεις, από τις οποίες μπορεί να προκύψει εξαναγκασμένη εκπομπή.

Τα άτομα του αερίου μπορεί να διεγερθούν με τη διέλευση ενός ηλεκτρικού ρεύματος δια μέσου του αερίου, μία τεχνική στην οποία οφείλεται η παραγωγή ορατού φωτός στις διαφημίσεις με νέο και στο φωτισμό των δρόμων με λαμπτήρες νατρίου. Εκθέτοντας ένα μίγμα από αέριο ήλιο και νέο σ' ένα ηλεκτρικό ρεύμα, γίνεται δυνατή η διέγερση των ατόμων του αερίου σε ενεργειακές καταστάσεις από τις οποίες μπορούμε να πάρουμε εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας μήκους κύματος 1,15 μικρομέτρων (0,000115 cm), η οποία βρίσκεται στην υπέρυθη περιοχή της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η εξαναγκασμένη ακτινοβολία ανακλάται πάλι πίσω και εμπρός δια μέσου του θαλάμου του αερίου, αυξάνοντας την έντασή της, καθώς, όλο και περισσότερα άτομα εξαναγκάζονται να εκπέμψουν ακτινοβολία. Από τον καιρό που εμφανίστηκε το πρώτο laser αερίου έχουν χρησιμοποιηθεί διάφοροι συνδυασμοί αερίων. Μεταξύ αυτών η πιο ενδιαφέρουσα συσκευή είναι αυτή, που χρησιμοποιεί μίγμα από αργό και κρυπτό. Η συσκευή αυτή είναι αξιόλογη μιας και παράγει ενισχυμένη ακτινοβολία περισσότερων της μιας περιοχής του ορατού φάσματος των μηκών κύματος, με αποτέλεσμα η εκπεμπόμενη δέσμη να περιέχει αρκετά χρώματα και το τελικό αποτέλεσμα να δίνει την εμφάνιση λευκού φωτός. Το

πλεονέκτημα του laser αεριού, αν συγκριθεί με το laser κρυστάλλου, είναι, ότι μπορεί να λειτουργεί συνεχώς για μεγάλα χρονικά διαστήματα.

Τα laser αερίων είναι π.χ. He-Ne, He-Cd, ατμών χαλκού (CVL), ατμών χρυσού (GVL), Ar, Kr C02, κτλ.

3. Laser Υγρών

Σε αυτή την κατηγορία, το ενεργό υλικό είναι οργανικές χρωστικές διαλυμένες σε οργανικούς διαλύτες όπως μεθανόλη και διοξίνη -τα μοναδικά laser που το ενεργό υλικό είναι υγρό. Είναι laser μεταβλητού μήκους κύματος. Ανάλογα με την χρωστική, μπορεί να επιτευχθεί υπέρυθρη, ορατή ή υπεριώδης ακτινοβολία. Αντλούνται από άλλα laser (συνήθως Excimer). Τέλος έχουν μεγάλη κβαντική απόδοση.

4. Χημικά laser

Χημικά laser είναι αυτά που η αναστροφή πληθυσμών είναι άμεσο αποτέλεσμα μιας εξωθερμικής χημικής αντίδρασης. Συνήθως περιλαμβάνουν αποσύνθεση ή σύνθεση αερίων, δηλαδή:



Παρουσιάζουν ενδιαφέρον γιατί:

1. Παρέχουν ένα ενδιαφέρον παράδειγμα μετατροπής χημικής ενέργειας σε ηλεκτρομαγνητική
2. Έχουν το δυναμικό να παράγουν υψηλή ενέργεια σε συνεχή και παλμική μορφή.

5. Laser Ημιαγωγών

Η πιο συμπαγής ακτινοβολία laser είναι αυτή των laser ημιαγωγών, που αποτελείται συνήθως από μια σύνδεση μεταξύ των στρωμάτων των ημιαγωγών με τις διαφορετικές ηλεκτρικές ιδιότητες τους. Το αρσενίδιο γαλλίου είναι ο πιο κοινός ημιαγωγός χρησιμοποιούμενος γι' αυτά. Τα laser ημιαγωγών αντλούνται από την άμεση εφαρμογή του ηλεκτρικού ρεύματος, πέρα από τη σύνδεση, και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σαν laser συνεχών κυμάτων με καλύτερη από 50% αποδοτικότητα. Μια μέθοδος, που επιτρέπει ακόμη αποδοτικότερη χρήση της ενέργειας, έχει επινοηθεί και περιλαμβάνει μικροσκοπικά laser κάθετα σε κυκλώματα, σε μια πυκνότητα περισσότερο από ενός εκατομμυρίου ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο.

6. Laser Ελεύθερων Ηλεκτρονίων

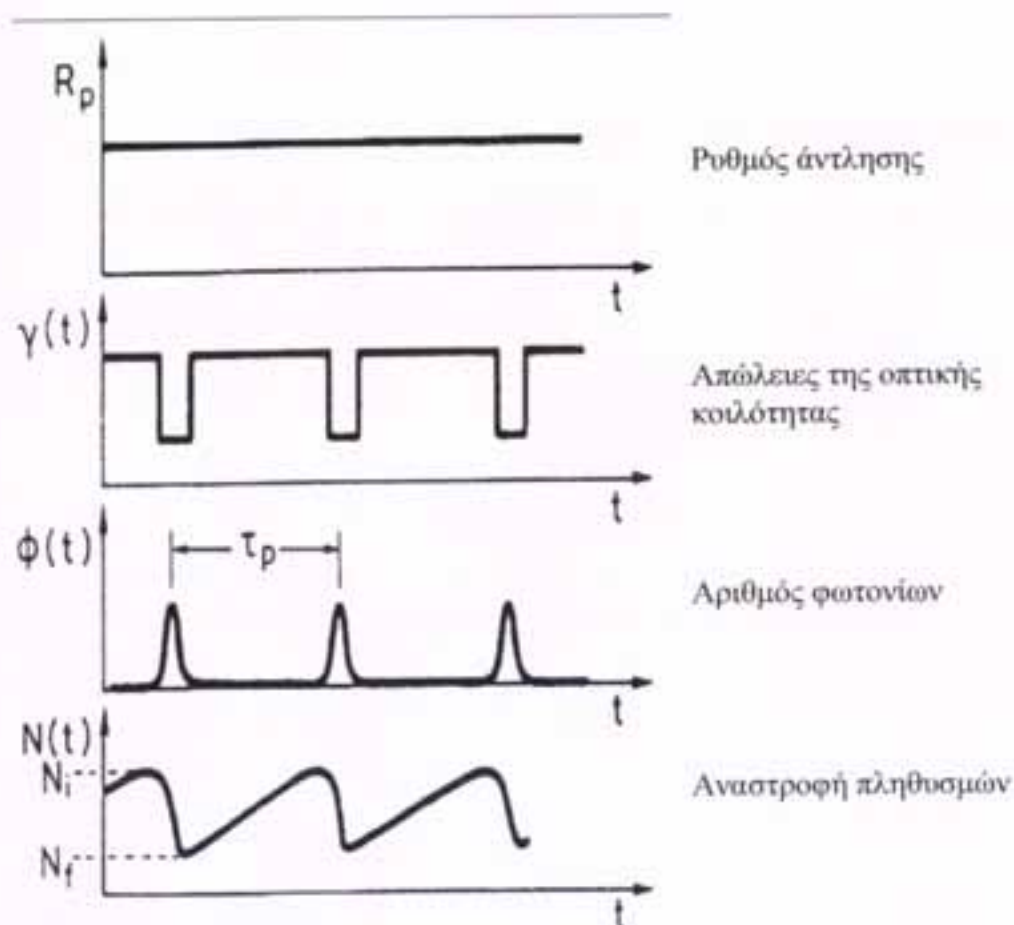
Συσκευή που παράγει ακτίνες laser, χρησιμοποιώντας μια ακτίνα από ηλεκτρόνια αντί για συνάντηση ατόμων που έχουν διεγερθεί. Η συσκευή αυτή, που παρουσιάστηκε για πρώτη φορά το 1976, προσφέρει μια καλή πηγή φωτός, με μεταβαλλόμενο μήκος κύματος. Λειτουργεί με το πέρασμα ακτίνας ηλεκτρονίων, πολύ μεγάλης ταχύτητας, μέσα από μία ομάδα μαγνητών με εναλλασσόμενους τους δύο πόλους, Βόρειο και Νότιο. Αυτές οι δονήσεις, από τη μια μεριά στην άλλη, προκαλούν την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία κατευθύνεται προς τα εμπρός λόγω της μεγάλης ταχύτητας των ηλεκτρονίων. Συσκευές laser αυτής της μορφής θα μπορούσαν να έχουν στρατιωτικές εφαρμογές, με την ικανότητα που παρουσιάζουν να διαπερνούν θωρακισμένες λαμαρίνες.

B. Ανάλογα με τον τρόπο εκπομπής.

1. Laser συνεχούς εκπομπής.

Σε αυτά τα laser η ισχύς της δέσμης μετρείται σε Watt.

Μπορούμε να έχουμε συνεχή εκπομπή laser (Cw) ή σχεδόν συνεχή, όταν η συχνότητα επανάληψης του παλμού είναι μεγάλη. Οι ισχύς που επιτυγχάνονται με αυτό το σύστημα είναι κατώτερες, σε σχέση με τα παλμικά.



2. Laser με εκπομπή κατά παλμούς

Σε αυτά η ισχύς της δέσμης μετρείται σε J/cm^2 .

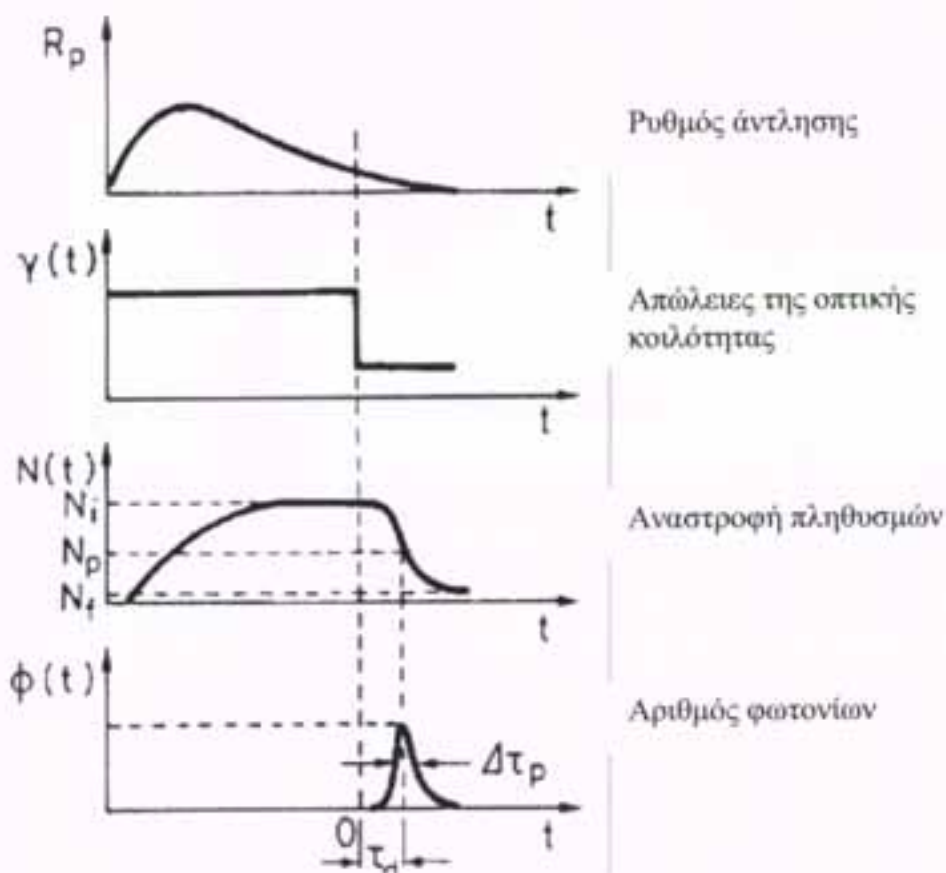
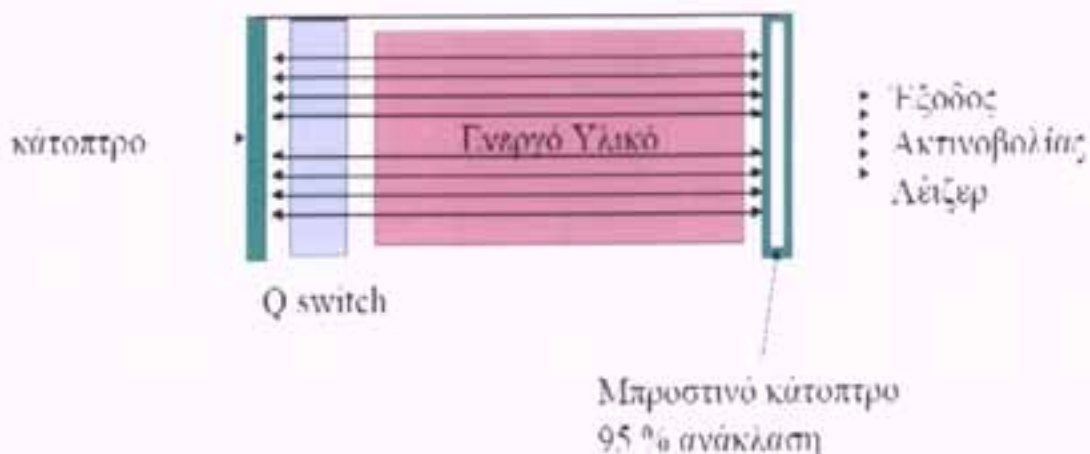
Το μήκος κύματος αμφοτέρων των συσκευών μετρείται σε νανόμετρα (nm).

$$1\text{nm}=10^{-9}\text{m.}$$

Ανάλογα με τις χαρακτηριστικές του παλμού, έχουμε διαφορετικές ιδιότητες στην έξοδο, όπως: Normal mode (normal pulse). Σε αυτό το laser η διάρκεια του παλμού είναι μεταξύ του ms ως δεκάδες ms. Σε κάθε περίπτωση, η διάρκεια του παλμού είναι ανάλογη ως προς τη διάρκεια της διέγερσης π.χ. στην οπτική άντληση μπορεί να φθάσει με ειδικές τεχνικές μέχρι 30ms.

Η λειτουργία με παλμούς μπορεί να γίνει και με άλλο τρόπο, Q-switched, όπως λέγεται. Το Q (Quality factor) ορίζεται ως το πηλίκο της ενέργειας που έχει συσσωρευτεί μέσα στην κοιλότητα προς την ενέργεια ανά κύκλο και εκφράζει τον παράγοντα ποιότητας του συστήματος παλμών. Η τεχνική Q-switched είναι η πιο διαδεδομένη μέθοδος δημιουργίας παλμών laser της τάξης των μερικών ns. Διαμορφώνεται ο παράγοντας Q, από μια ψηλή τιμή σε μια χαμηλή, με την εισαγωγή ενός διαφράγματος μέσα στην οπτική κοιλότητα. Όταν το διάφραγμα είναι κλειστό, τότε δεν μπορεί να αναπτυχθεί δράση laser και η αναστροφή πληθυσμών παίρνει μεγάλη τιμή. Όταν το διάφραγμα ανοίξει, θα απελευθερωθεί ένας σύντομος παλμός μεγάλης έντασης.

Με αυτό το σύστημα, επί πλέον, μπορούμε να επιτύχουμε παλμούς πάρα πολύ βραχείς (psec). Είναι λοιπόν δυνατόν να δημιουργήσουμε με διάφορα συστήματα laser, παλμούς διαφορετικής διάρκειας -από msec ως psec- και διαφορετικής ενέργειας. Κυρίως, οι παλμοί Q-switched έχουν μικρότερη ενέργεια από τους normal-pulse, αλλά συγκεντρωμένοι σε μικρότερο διάστημα χρόνου. Οι παλμοί mode-locked, αντίθετα, παρουσιάζουν τη μέγιστη ισχύ.



Στον παρακάτω πίνακα 1.1 δίνονται οι κυριότερες χαρακτηριστικές των πιο διαδεδομένων laser.

ΠΙΝΑΚΑΣ 1.1

ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΚΠΟΜΠΗΣ	ΜΗΚΟΣ ΚΥΜΑΤΟΣ	ΜΕΣΟΝ	ΤΡΟΠΟΣ ΕΚΠΟΜΠΗΣ
UV-A	325	He - Cd	ΣΥΝΕΧΕΣ
UV-A	337	N ₂	ΠΑΛΜΙΚΟ
UV-A	350	Ar	ΣΥΝΕΧΕΣ
		excimer	ΠΑΛΜΙΚΟ
ΟΡΑΤΟ	441.6	He - Cd	ΣΥΝΕΧΕΣ
ΟΡΑΤΟ	458 488 514	Ar	ΣΥΝΕΧΕΣ
ΟΡΑΤΟ	458 568 647	Kr	ΣΥΝΕΧΕΣ
ΟΡΑΤΟ	530	Nd	ΠΑΛΜΙΚΟ
ΟΡΑΤΟ	632	HeNe	ΣΥΝΕΧΕΣ
ΟΡΑΤΟ	694	Ρουβίδιο	ΠΑΛΜΙΚΟ
ΟΡΑΤΟ	ΟΛΕΣ	laser χρωστικών	ΣΥΝΕΧΕΣ
IR - A	850	GaAlAs	ΠΑΚΕΤΑ ΠΑΛΜΩΝ
IR - A	905	GaAs	ΠΑΛΜΙΚΟ
IR - A	1060	Nd :glass	ΠΑΛΜΙΚΟ
IR - A	1064	Nd :YAG	ΠΑΛΜΙΚΟ / ΣΥΝΕΧΕΣ
IR - C	5000	CO	ΠΑΛΜΙΚΟ / ΣΥΝΕΧΕΣ
IR - C	10600	CO ₂	ΠΑΛΜΙΚΟ

Γ. Ανάλογα με την ισχύ της δέσμης

1. **Soft laser (cryo)** : Από 1-25 mW.
2. **Midium laser (mid)** : Από 25-50 mW.
3. **Power laser (Hot)** : Από >50 mW.

Δ. Ανάλογα με τα παραδεκτά επίπεδα εκπομπής για ειρηνικές εφαρμογές

Κατηγορία 1^η: Είναι laser πολύ χαμηλής ενέργειας απολύτως ασφαλής (soft laser), (0,4 mW) και συνεχούς εκπομπής στο ορατό φάσμα.

Κατηγορία 2^η: Είναι soft laser ορατού φωτός (400-700 nm) με μέγιστη ισχύ 1mWatt. Η ακτινοβολία τους είναι επικίνδυνη για τα μάτια, όχι αν είναι στιγμιαία, αλλά μόνον όταν είναι παρατεταμένη, και επίσης είναι κατά τον ίδιο τρόπο επικίνδυνη η αντανάκλαση της ακτίνας μέσα από καθρέφτη. Άλλα από αυτά λειτουργούν συνεχώς και άλλα κατά παλμούς.

Κατηγορία 3^η: **α)** Είναι επίσης soft laser φωτός με μέγιστη ισχύ 1-5 mWatt. Η ακτινοβολία τους είναι επικίνδυνη για τα μάτια ακόμα και σε στιγμιαία έκθεση. Άλλα λειτουργούν συνεχώς και άλλα κατά παλμούς. **β)** Είναι power laser και έχουν μέγιστη ισχύ σε συνεχή λειτουργία 500mW (0,5 Watt). Είναι πολύ πιο επικίνδυνα από τα laser της κατηγορίας 3α. Υπάρχει αυξημένος κίνδυνος πυρκαγιάς και καταστροφής του δέρματος. Είναι επικίνδυνες, ακόμα και διάχυτες αντανάκλασεις τους. Γι' αυτό, απαιτείται ειδική κατασκευή του χώρου. Από την κατηγορία αυτή, πολύ μεγάλη προσοχή χρειάζονται οι συσκευές που εκπέμπουν αόρατη δέσμη (υπεριώδη ή υπέρυθρη).

Κατηγορία 4^η: Είναι laser υψηλής ισχύος μεγαλύτερης από 500 mW και είναι επικίνδυνα για την όραση.

Ε. Ανάλογα με το μήκος κύματος

1. Υπάρχουν laser **υπεριώδους ακτινοβολίας** (uv) με μήκος κύματος 150-400 nm.

2. laser **ορατού** (v) με μήκος κύματος 400-700 nm.

3. laser **υπέρυθρα** (IR) με μήκος κύματος >700 nm.

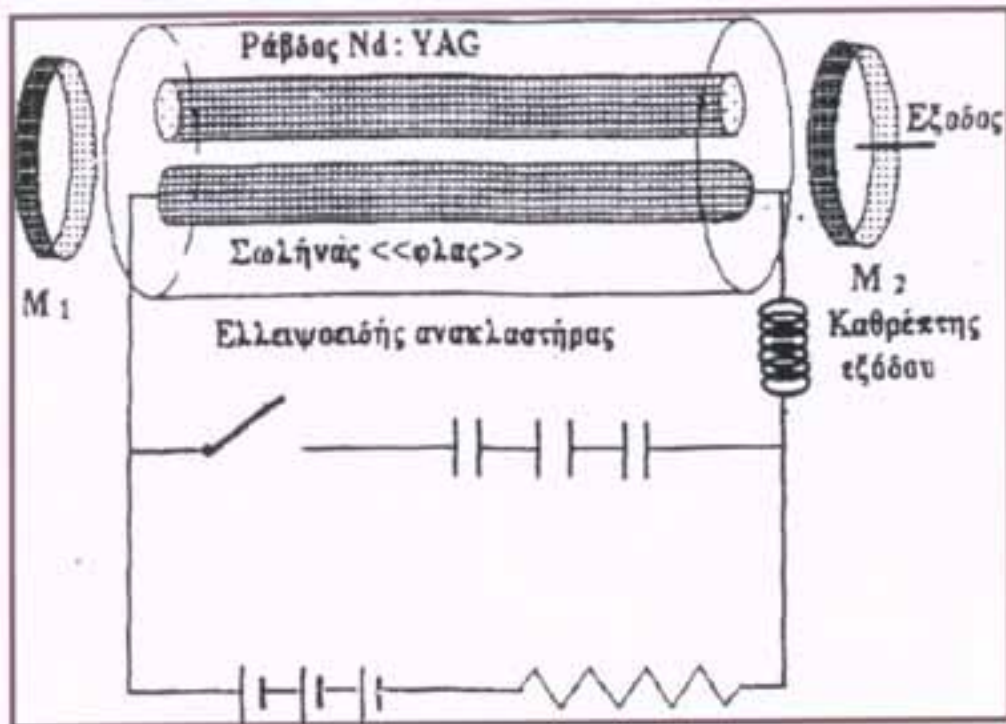
Για μήκη κύματος από 400-1400 nm (δηλαδή περιοχή ορατού και υπέρυθρου, που είναι πιο επικίνδυνη) έχουν καθοριστεί ανάλογα με τη συσκευή laser τα επιτρεπτά όρια έκθεσης για τους οφθαλμούς και το δέρμα.

Nd :YAG laser

Το Nd:YAG laser είναι ένα από τα σπουδαιότερα συστήματα laser με τεράστιο πλήθος εφαρμογών. Το ενεργό υλικό στο laser αυτό είναι ο κρύσταλλος $Y_3Al_5O_{12}$ (Yttrium Aluminium Garnet), ανάμεσα στα άτομα του οποίου έχουν παρεμβληθεί μεταλλικά όντα Νεοδυμίου Nd^{3+} .

Το Νεοδύμιο ανήκει χημικά στην κατηγορία των σπανίων γαιών και τα ιόντα αυτά κατανέμονται τυχαία στο πλέγμα του $Y_3Al_5O_{12}$ ιόντα Υτρίου. Με τον τρόπο αυτό τα ιόντα Νεοδυμίου παρέχουν τις ενεργειακές τους στάθμες για την άντληση και την εκπομπή laser.

Λόγω της φύσης του ενεργού υλικού του και των συνθηκών λειτουργίας του, το laser αυτό παρουσιάζει μεγάλο αριθμό τρόπων (modes) πιο μέσα στην καμπύλη απολαβής του, όταν λειτουργεί ανεξέλεγκτα (είναι δυνατό να παρουσιαστούν γύρω στους 100 τρόπους). Στο σχήμα 2.1 φαίνεται η συγκρότηση και η συνδεσμολογία του βασικού τμήματος του laser Nd:YAG.



Σχήμα 2.1 Συγκρότηση και συνδεσμολογία του βασικού τμήματος του laser Nd:YAG

Ένα άλλο οπτικό αντηχείο σχηματίζεται ανάμεσα στις βάσεις του κυλινδρικού κρυστάλλου Nd:YAG που γυαλίζονται επιμελώς. Παρόλα αυτά, χρησιμοποιούνται άλλοι δυο καθρέπτες κάθετα στον άξονα του ελλειπτικού οπτικού αντηχείου. Από αυτούς ο ένας έχει 100% ανακλαστικότητα, ενώ ο άλλος έχει 90% ανακλαστικότητα (δηλαδή διαπερατότητα 10%) για να δώσει ωφέλιμη έξοδο.

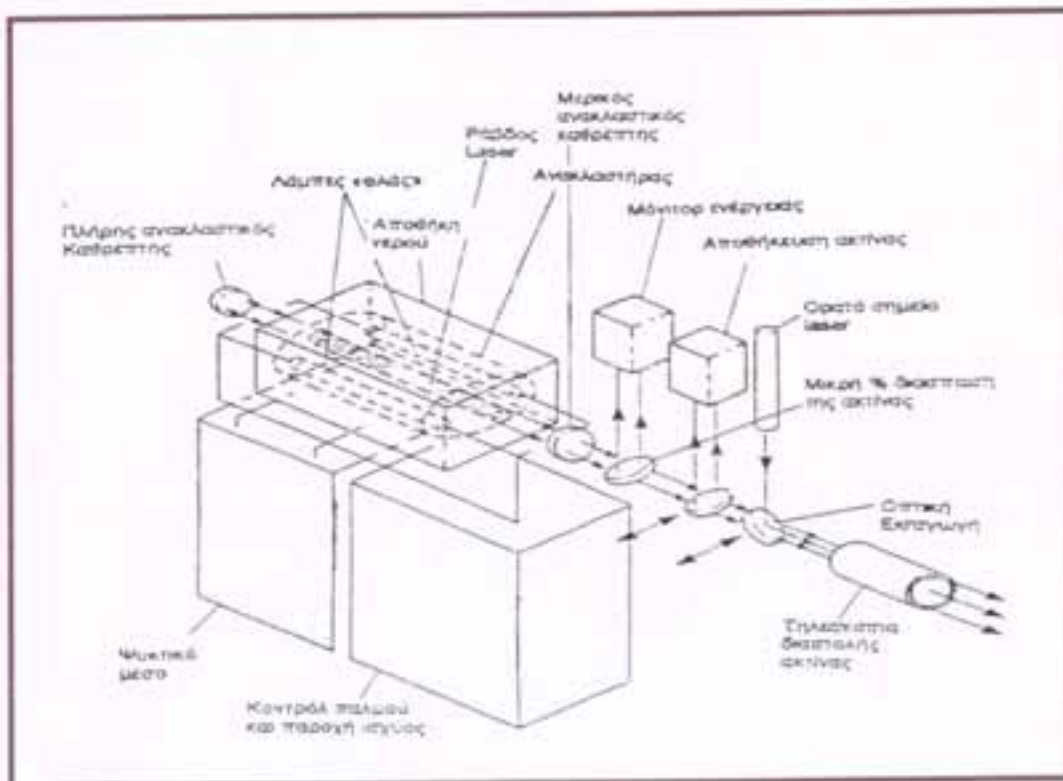
Λόγω του «φλας», διαχέεται ένα μεγάλο ποσό θερμότητας, το οποίο θερμαίνει έντονα τη ράβδο Nd:YAG. Προκειμένου να αποφευχθούν ζημιές, ο κρύσταλλος ψύχεται είτε με ρεύμα αέρα, είτε με ρεύμα νερού, που διαβιβάζονται στο οπτικό αντηχείο, το οποίο παίζει και ρόλο δοχείου ψύξεως.

Το νερό χρησιμοποιείται ως ψυκτικό στο laser αυτού του τύπου, που αποδίδουν μεγάλη ισχύ. Η απόδοση ενός τέτοιου laser ανέρχεται στο 1%. Τυπικές τιμές ισχύος παλμών ενός τέτοιου laser είναι 15 MW διάρκειας 10 ns με ρυθμό 10 Hz.

Στα παρακάτω σχήματα 2.2 και 2.3 παρουσιάζονται η τυπική μορφή ενός τυπικού Nd:YAG laser ισχύος KW και μια σχηματική άποψη αυτού του τύπου laser.



Σχήμα 2.2 Nd :YAG laser

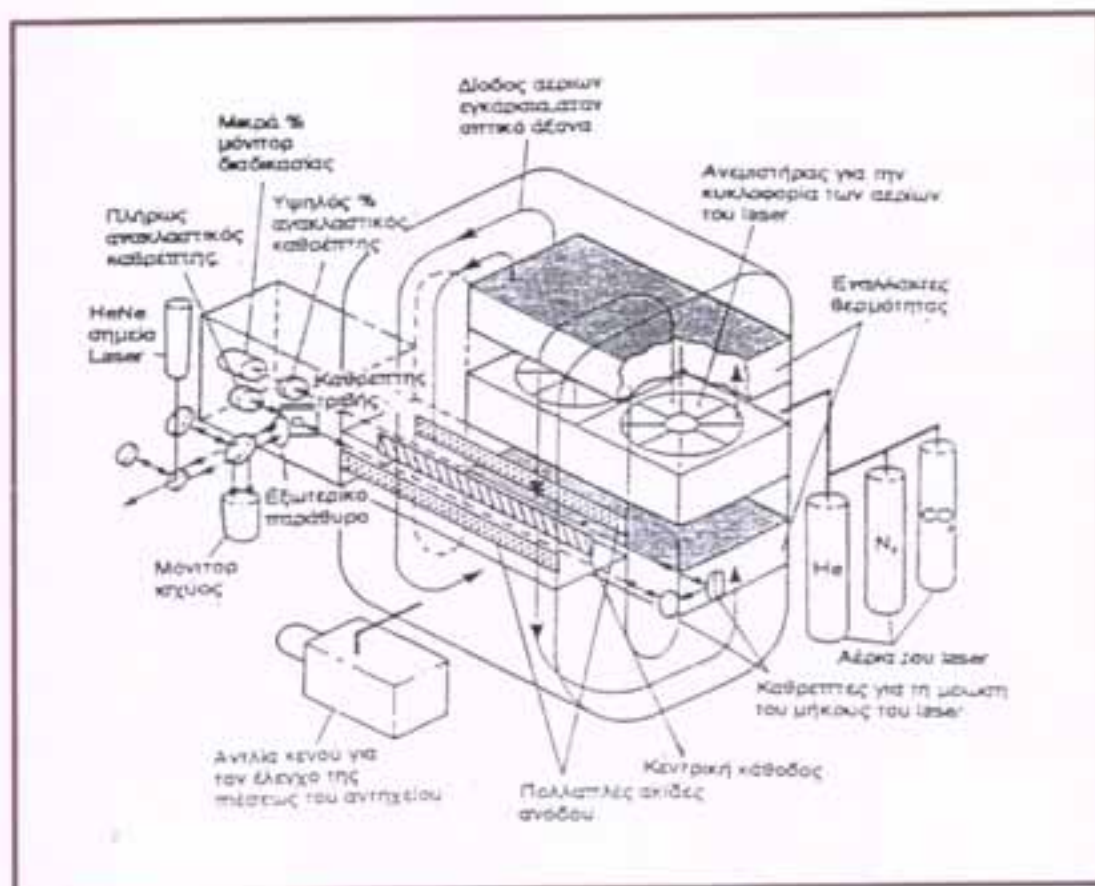


Σχήμα 2.3 Σχηματική άποψη ενός Nd :YAG laser

άζωτο, όταν προστεθούν στο CO₂, αφαιρούν τα ανεπιθύμητα μήκη κύματος και παρέχουν περισσότερη παραγωγή αποτελεσματικών φωτονίων.

Τα αέρια οδηγούνται μέσα, από ένα συνεχή δακτύλιο, διαμέσου του αντηχείου και από ένα σύστημα ανταλλαγής θερμότητας, που τα ψύχει και κάνει τη δράση του laser πιο αποδοτική. Υπάρχουν δυο διαφορετικοί τύποι δακτυλίου, που εφαρμόζονται στα CO₂ laser. Ο πρώτος τύπος αναφέρεται στην αξονική ροή των αερίων (σχήμα 2.4), όπου τα αέρια διαρρέουν αξονικά τον οπτικό άξονα. Ο δεύτερος τύπος αναφέρεται στην κατά μήκος ροή, όπου η εκροή γίνεται σε κατεύθυνση 90°, από τον οπτικό άξονα (σχήμα 2.5). Τα κατά μήκος ροής laser μπορούν να πετύχουν μεγαλύτερες ισχύς, για ένα δεδομένο μήκος αντηχείων, που δίνουν τη δυνατότητα για την κατασκευή πιο συμπαγών CO₂ laser, σε μεγάλο εύρος υψηλών ισχύων.

Γενικότερα, τα αξονικά CO₂ laser κυριαρχούν στην αγορά των laser, για ισχύ μέχρι 5 KW, ενώ τα κατά μήκος CO₂ laser από 5 KW ως 25 KW.



Σχήμα 2.5 Σχηματική άποψη ενός κατά μήκος CO₂ laser

2.2 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ

Υπάρχει μια μεγάλη ποικιλία υλικών, τα οποία μπορούν να υποστούν κατεργασία με ακτίνες laser. Το laser λειτουργεί με την ίδια λογική που λειτουργούν όλες οι διαδικασίες θερμικής κατεργασίας, όπως η κοπή με οξυγόνο-προπάνιο, με τη διαφορά ότι υπάρχει πρόβλημα στα υλικά που αντανakλούν την ακτίνα.

Ένα υλικό, για να είναι εύκολο να κατεργαστεί με ακτίνες laser πρέπει να έχει τα εξής χαρακτηριστικά:

- Χαμηλή ανακλαστικότητα.
- Χαμηλή θερμοαγωγιμότητα.
- Χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής.
- Μη αλλοίωση της χημικής του σύνθεσης σε υψηλές θερμοκρασίες.
- Ελαστικότητα για να μην σπάει από τη θέρμανση.

Η κύρια ομάδα υλικών, την οποία κατεργάζονται τα laser είναι τα μέταλλα.

Οι ακτίνες laser μπορούν να κόψουν ή να συγκολλήσουν χάλυβα, ατσάλι, ανοξείδωτο ατσάλι, τιτάνιο, αλουμίνιο, χαλκό, μπρούτζο κ.λ.π. Μπορούν επίσης, καθώς η κοπή γίνεται χωρίς άσκηση δύναμης, να κόψουν με άνεση πολύ σκληρά μέταλλα, όπως Stellite, χρωμοβανάδιο κ.λ.π. Λόγω του ότι δεν ασκείται δύναμη, μια σειρά από εύθραυστα ή πολύ ελαστικά υλικά μπορούν να υποστούν κατεργασία. Τέτοια υλικά είναι το καουτσούκ, η σιλικόνη, το μαλακό πλαστικό, ο αφρός πολυουρεθάνης κ.λ.π. Τέλος, οι ακτίνες laser μπορούν να κατεργασθούν πολύ δύσκολα υλικά, όπως γυαλί, ανθρακονήματα, κεραμικά υλικά κ.α.

Μια από τις σημαντικότερες βιομηχανικές εφαρμογές των laser είναι η χρησιμοποίησή τους στη μεταλλοτεχνία. Οι εφαρμογές των laser περιλαμβάνουν:

- Διάτρηση
- Κοπή
- Συγκόλληση
- Λείανση
- Τόρνευση
- Θερμική κατεργασία
- Μη καταστρεπτικό έλεγχο
- Έλεγχο μεταλλικών επιφανειών
- Μαρκάρισμα ή χάραγμα υλικών όπως:
 - Διαμάντι
 - Κεραμικά και γυαλιά
 - Μέταλλα
 - Μαλακά υλικά όπως πλαστικά
 - Βιολογικά υλικά

Στη σχετικά συντηρητική βιομηχανία της μεταλλοτεχνίας, το laser συνεχίζει να εμφανίζει αργή, αλλά σταθερή, πρόοδο και σήμερα, είναι σε ορισμένους τομείς το μόνο εργαλείο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Τα laser που χρησιμοποιούνται, κυρίως, στη μεταλλοτεχνία είναι τα παλμικά συστήματα laser στερεών, όπως είναι το laser ρουβιδίου, το Nd:YAG laser και το laser Nd:Glass. Η υψηλή απόδοση των CO₂ laser έχει επίσης χρησιμοποιηθεί εκτενώς στη μεταλλοτεχνία. Στα παλμικά laser στερεών, η πολύ μεγάλη παλμική ισχύς, ο υψηλός βαθμός χωρικής και χρονικής συνέχειας, καθώς και η ακρίβεια κατεύθυνσης της ακτίνας κάνουν δυνατή την εστίαση της ακτίνας φωτός σε ένα πολύ μικρό σημείο. Με αυτή τη πυκνότητα

οπτικής ακτινοβολίας, το μέταλλο μπορεί να απομακρυνθεί, όπως συμβαίνει στην κοπή και στην συγκόλλησή.

Η επιλογή εξαρτάται από τύπο του μετάλλου, την παλμική ενέργεια του laser, την διάρκεια των παλμών, την απόκλιση της ακτίνας και τέλος, την εστίαση. Αν η πυκνότητα ισχύος δεν είναι αρκετά υψηλή, τότε η κατεργαζόμενη περιοχή θα παραμείνει κάτω από το σημείο τήξεως. Αν το μήκος των παλμών είναι μικρότερο, τότε θα επιτευχθεί μια υψηλότερη θερμοκρασιακή αύξηση, λόγω της θερμικής διάχυσης στο μέταλλο. Σε υψηλή ισχύ λαμβάνουν χώρα εξάχνωση και ρευστοποίηση.

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, υπάρχουν συγκεκριμένες εφαρμογές, όπου το laser φαίνεται ότι αποτελεί το μόνο σύστημα που μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Σήμερα, υπάρχουν βιομηχανικές προδιαγραφές που απαιτούν διάτρηση, κοπή ή συγκόλληση, που πραγματοποιούνται σε διάφορους τύπους γυάλινων σωλήνων και στην κατασκευή υπολογιστών, για την ανάπτυξη των κυκλωμάτων.

Χειρισμός συσκευών laser

Υπάρχουν δυο τρόποι κίνησης του συστήματος laser στο χώρο. Ο ένας βασίζεται στη χρήση CNC μηχανών, ο άλλος χρησιμοποιεί robot. Θα εξετάσουμε κάθε μέθοδο χωριστά.

A. Συστήματα CNC

Τα συστήματα CNC χωρίζονται σε δυο κύριες κατηγορίες: δυο βαθμών ελευθερίας (x - y) και περισσότερων από δυο. Τα πρώτα χρησιμοποιούνται για την επεξεργασία επίπεδων φύλλων ή αντικειμένων που χρειάζονται μόνο οριζόντια κίνηση (π.χ. μια κόλληση μορφής T), ενώ τα άλλα για πιο

περίπλοκες εργασίες ή εργασίες σε 3 διαστάσεις. Υπάρχουν τρεις τρόποι μετακίνησης της ακτίνας με CNC συστήματα :

1. Κινούμενο laser.
2. Κινούμενο αντικείμενο.
3. Κινούμενο οπτικό σύστημα.

1 .Κινούμενο laser

Στην πρώτη περίπτωση, οι καθρέπτες και η κεφαλή εστίασης είναι συνδεδεμένα σταθερά και κινούνται μαζί για να ακολουθήσουν την επιθυμητή τροχιά. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται για laser ισχύος μέχρι 500 W. Αυτού του τύπου τα laser είναι ελαφρά και μπορούν να έχουν εξωτερικό τροφοδοτικό, οπότε είναι σχετικά απλό να τοποθετηθούν σαν μια μονάδα πάνω από το μηχάνημα. Το πρόβλημα είναι ότι με 500 W, το ελάχιστο πάχος ατσαλιού που μπορεί να κοπεί είναι περίπου 4mm και γενικά η διεισδυτικότητα της μεθόδου είναι περιορισμένη. Η μέθοδος αυτή δεν ταιριάζει για laser μεγαλύτερα από 500W, καθώς αυτά γίνονται πολύ βαριά.

2. Κινούμενο αντικείμενο

Στην δεύτερη περίπτωση, το κομμάτι κινείται επίπεδα κάτω από μια ακίνητη κεφαλή εστίασης. Καθώς το σύστημα laser δεν κινείται, δεν υπάρχει περιορισμός ισχύος. Η μέθοδος είναι κατάλληλη για μικρά και ελαφριά κομμάτια. Για μεγάλα κομμάτια όμως, γίνεται σπατάλη χώρου και υπάρχει πρόβλημα αδράνειας, που οδηγεί σε ανακρίβειες στην τοποθέτηση των κομματιών. Μια παραλλαγή των μεθόδων 1 και 2 οδηγεί σε μηχανή, που το laser κινείται μόνο σε έναν άξονα και το κομμάτι κινείται κατά μήκος του άλλου. Αυτός ο μηχανισμός χρησιμοποιείται, κυρίως, για επεξεργασία ρολών μετάλλου.

3. Κινούμενο οπτικό αντικείμενο

Στην τρίτη περίπτωση, το κομμάτι προς επεξεργασία και το laser είναι ακίνητα, οι δε κινήσεις επιτυγχάνονται με δύο κινούμενους καθρέπτες και κινητή κεφαλή εστίασης. Οι ταχύτητες εδώ είναι μεγάλες και δεν υπάρχουν περιορισμοί βάρους ή ισχύος. Τα προβλήματα που υπάρχουν είναι δυο: α) οι καθρέπτες πρέπει να είναι καλά προστατευμένοι από δονήσεις και β) όλο το σύστημα απαιτεί μεγάλη ακρίβεια κατασκευής, πράγματα που ανεβάζουν το κόστος.

Η πιο περίπλοκη περίπτωση είναι τα συστήματα CNC 3 και 5 βαθμών ελευθερίας. Σε αυτή την περίπτωση, γίνεται πάντα χρήση της τεχνικής των κινούμενων οπτικών. Τα συστήματα αυτά, χρησιμοποιούνται για να καλύψουν μεγάλους όγκους και επίσης για επεξεργασία μεγάλων τρισδιάστατων κομματιών.

B. Συστήματα robot

Η άλλη λύση είναι η χρήση, σε συνδυασμό με ένα αρθρωτό σύστημα με σωλήνες, καθρέπτες και αρθρώσεις, το οποίο κατευθύνει την ακτίνα στην κεφαλή εστίασης. Το σύστημα αυτό, δίνει την μέγιστη ευελιξία στην επεξεργασία. Επιτρέπει την πραγματοποίηση πολύ περίπλοκων κινήσεων με ομαλό τρόπο και επιτρέπει την κατεργασία σε σημεία, που είναι πολύ δύσκολο να προσεγγισθούν αλλιώς.

Υπάρχουν και εδώ τρεις τρόποι μετακίνησης της ακτίνας (σχήμα 2.6):

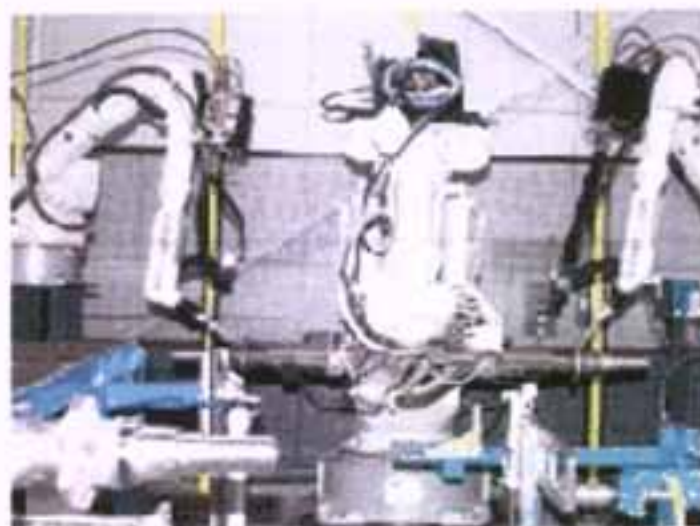
1. Το robot μετακινεί το αντικείμενο κάτω από μια ακίνητη ακτίνα laser.
2. Το αντικείμενο είναι σταθερό και το robot μετακινεί την άκρη του συστήματος μετάδοσης της ακτίνας laser.
3. Το αντικείμενο είναι σταθερό και το robot έχει ενσωματωμένο το σύστημα μετάδοσης της ακτίνας και το μετακινεί.

Στην πρώτη περίπτωση, η μονάδα παραγωγής και μετάδοσης της ακτίνας laser είναι σταθερή, ενώ το robot κρατάει και μετακινεί το προς επεξεργασία κομμάτι, κάτω από το σημείο δράσης της ακτίνας. Η μέθοδος αυτή είναι ιδανική για επεξεργασία σε μικρά κομμάτια, όπου απαιτείται εργασία υψηλής ακρίβειας. Υπόκεινται βέβαια στον περιορισμό βάρους αντικειμένου από τον τύπο robot που χρησιμοποιείται.

Η δεύτερη περίπτωση είναι η πλέον διαδεδομένη στις βιομηχανίες επεξεργασίας μετάλλων. Παρέχει μεγάλη ευελιξία στην κατεργασία πολύπλοκων αντικειμένων και είναι τελείως ανεξάρτητη από τον όγκο και το βάρος του αντικειμένου. Τα συστήματα μετάδοσης της ακτίνας laser σήμερα παράγονται μαζικά, κάνοντάς τα προσιτά για κάποιον χρήστη robot.

Τέλος, η τρίτη περίπτωση είναι και η πιο πολύπλοκη, έχει ερευνηθεί λιγότερο και χρησιμοποιείται από ελάχιστες και πολύ εξειδικευμένες εταιρίες. Είναι ιδανική μέθοδος, όταν χρησιμοποιείται μεγάλη ισχύς (π.χ. 2500 W) αλλά έχει το μειονέκτημα των ακριβών οπτικών συστημάτων και γενικότερα ακριβούς κατασκευής, που τείνει να είναι σύστημα κατά παραγγελία.





Σχήμα 2.6 Συστήματα Robot

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

ΚΟΠΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕ LASER

3.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η τεχνολογία της κοπής με laser χρησιμοποιείται στη βιομηχανία εδώ και 20 χρόνια και έχει παρουσιάσει γρήγορη ανάπτυξη. Κατά το ξεκίνημα, τα υλικά, που ήταν δυνατόν να κοπούν με laser αποτελούσαν ένα πολύ ενδιαφέρον θέμα. Εκτός των λεπτών μεταλλικών φύλλων, πλαστικά και οργανικά υλικά, όπως το ξύλο, μπορούσαν να κοπούν με τη νέα τεχνολογία. Τις πρώτες μέρες της κοπής με laser, σπουδαίες εφαρμογές ήταν η κοπή του ξύλου για κατασκευή εργαλείων κατεργασίας χαρτονιού ή κοπή του πλεξιγκλάς στις βιομηχανίες κατασκευής επιγραφών. Σε αυτές τις βιομηχανίες, η κοπή με laser αποτελεί ακόμα το αποκορύφωμα της τεχνολογίας στην κοπή γραμμάτων, λογοτύπων, κ.λ.π. από ακρυλικά υλικά (PMMA). Οι ακμές μοιάζουν σαν καλογουαλισμένες και δεν χρειάζονται περαιτέρω κατεργασία. Στην κατεργασία των μετάλλων, τα διαθέσιμα laser των 250 W είχαν περιορισμένες δυνατότητες, αφού μπορούσαν να κόψουν χαλύβδινα φύλλα πάχους μέχρι 2 mm και με χαμηλές ταχύτητες.

Αυτοί οι χρήστες laser της «πρώτης γενιάς», έπρεπε να διαθέτουν «πνεύμα laser» σε μεγάλο βαθμό. Δεν υπήρχαν οι ευκολίες εφαρμογής, ούτε η «βιομηχανική χρησιμότητα», όπως στις μέρες μας. Μόνον, όταν, στα τέλη της δεκαετίας του '70, η διαθέσιμη ισχύς των laser αυξήθηκε (500 W και πάνω), έγινε δυνατή η κοπή χαλύβδινων φύλλων μέχρι 6 mm. Έτσι, η τεχνολογία κοπής με laser έγινε σημαντική, για τις εφαρμογές κατεργασίας λεπτών μεταλλικών φύλλων. Τα πλεονεκτήματα, σε σχέση με την κατεργασία nibbing, είναι η καλύτερη ποιότητα ακμών, μεγαλύτερη ταχύτητα κοπής και μεγαλύτερη ευελιξία. Δεν απαιτούνται εργαλεία και οι χρόνοι προετοιμασίας (σεταρίσματος) των μηχανών laser είναι πολύ μικρότεροι. Τα χαρακτηριστικά αυτά χαίρουν μεγάλης εκτιμήσεως, όπου απαιτούνται ευέλικτες μέθοδοι

παραγωγής σε μικρές παρτίδες. Επί πλέον, η τεχνολογία κοπής με laser επιτρέπει την παραγωγή σχημάτων που δεν μπορούν να κατασκευασθούν ούτε σε πρέσα ούτε με nibbing.

Οι θεμελιώδεις ιδιότητες των laser, η εκλογή laser (μόνο για CO₂ και Nd:YAG λαμβάνεται υπ' όψιν), η μελέτη συστημάτων, τα κατάλληλα υλικά, η ποιότητα κοπής, εξαρτήματα και παράμετροι κοπής, ακολουθούν στις επόμενες παραγράφους.

Μερικά ερωτήματα που μπορεί να απαντηθούν παρακάτω είναι:

1. Ποια πλεονεκτήματα προσφέρει η διαδικασία κοπής με laser.
2. Η σύγκριση με συμβατικές μεθόδους κοπής.
3. Τι κάνει ένα laser κατάλληλο για κοπή.
4. Πώς κόβει το laser.
5. Ποια είδη laser είναι τα πιο κατάλληλα.
6. Ποια είναι τα βασικά εξαρτήματα για μηχανές κοπής laser.
7. Ποια είναι τα κατάλληλα υλικά.
8. Πώς προσδιορίζεται ή μετριέται η ποιότητα κοπής.
9. Ποιες είναι οι πιο σημαντικές παράμετροι για την κοπή.
10. Πώς επηρεάζουν αυτές οι παράμετροι την ποιότητα κοπής.

Η επιτυχία, όποιας διαδικασίας κοπής με laser, εξαρτάται από την προσεκτική μελέτη δύο βασικών περιοχών. Αυτές οι περιοχές είναι η διαδικασία του laser (δηλαδή, το πως χειρίζεται η ακτίνα και πως προσπίπτει στο τεμάχιο) και η διαδικασία της κοπής (η αλληλεπίδραση μεταξύ του laser και του προς κοπή τεμαχίου).

Κάθε περιοχή των διαδικασιών εξαρτάται από πολλούς παράγοντες. Μερικοί από αυτούς παρατίθενται παρακάτω:

I. Χαρακτηριστικά των laser:

1. Τύπος laser και μήκος κύματος (π.χ. CO₂ ή Nd :YAG).
2. Ισχύς του laser και τύπος.
3. Ποιότητα ακτίνας (π.χ. ικανότητα εστίασεως).
4. Μέγεθος ακατέργαστης ακτίνας (π.χ. απόκλιση).
5. Εστιακή απόσταση.
6. Μέγεθος εστιασμού.
7. Βάθος εστίασης.
8. Πυκνότητα ισχύος, πυκνότητα ενέργειας και ενέργεια κοπής.
9. Πόλωση
10. Διαδικασία παροχής ακτίνας.
11. Διαδικασίες συστήματος.

II. Χαρακτηριστικά της διαδικασίας κοπής:

1. Καταλληλότητα υλικών (π.χ. κατάσταση της επιφάνειας, ανακλαστικότητα, απορροφητικότητα, πάχος, πυκνότητα, θερμοκρασία ατμοποίησης, θερμοχωρητικότητα και διαχυτότητα).
2. Ποιότητα κοπής (π.χ. πλάτος εγκοπής, κωνικότητα, ομαλότητα / τραχύτητα).
3. Κατάσταση της επιφάνειας του μετάλλου.
4. Θέση εξαρτημάτων.
5. Παράμετροι κοπής (π.χ. ισχύς και πυκνότητα ισχύος, ταχύτητα, εστιακή απόσταση και θέση εστίασης, τύπος και πίεση βοηθητικού αερίου, σχεδιασμός ακροφυσίου αερίου, μέγεθος στομίου εκροής).

Η θεωρία της διαδικασίας των laser αναφέρεται στο σύνολο των παραμέτρων, οι οποίες επηρεάζουν πόσο επιτυχημένα η εστιασμένη ενέργεια

συσχετίζεται με το υλικό και πόσο αποτελεσματικά, αυτή η ενέργεια, χρησιμοποιείται στην διαδικασία κοπής.

3.1.1 Μερικά πλεονεκτήματα της κοπής με laser

Από τη στιγμή που η ακτίνα του laser μπορεί να συγκεντρωθεί, ώστε να παράγει ένα μικρό σημείο υψηλής έντασης ενέργειας, η κοπή με laser προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα σε σύγκριση με άλλες μεθόδους κοπής (όπως η διάτμηση ή η κοπή με πλάσμα).

Πρώτον, η μεγάλη θερμική ενέργεια των laser περιέχεται σε μια εξαιρετικά μικρή περιοχή έτσι, ώστε να παρέχεται για τα εξής:

1. Στενές εγκοπές με ευθείες ακμές και γενικά καλή εμφάνιση (στις περισσότερες περιπτώσεις, τα τεμάχια δεν απαιτούν επιπρόσθετη διαδικασία καθαρισμού).
2. Ελάχιστες ζώνες θερμικού επηρεασμού παρακείμενες στην ακμή κοπής.
3. Ελάχιστη απορρόφηση θερμότητας, η οποία οδηγεί σε μηδενική παραμόρφωση του τεμαχίου.
4. Μπορούν να κοπούν μικρές τρύπες (με διάμετρο μικρότερη από το πάχος του τεμαχίου).
5. Ο τέλειος έλεγχος του μέσου όρου της ισχύος εξαλείφει το υπερβολικό κάψιμο κατά την επιτάχυνση και την επιβράδυνση.

Δεύτερον, από την στιγμή που το φως δεν εξασκεί καμία δύναμη στο τεμάχιο, τα laser είναι εργαλεία κοπής μη επαφής, το οποίο σημαίνει:

1. Καμία μηχανική παραμόρφωση στο τεμάχιο.
2. Σε πολλές περιπτώσεις δεν απαιτούνται σύνδεσμοι.
3. Δεν υπάρχει φθορά σε εργαλεία, ώστε να απαιτείται συντήρηση ή αντικατάσταση.
4. Δυνατότητα για κοπή υλικών, αδιαφορώντας για την σκληρότητά τους.

5. Υπολογίσιμος λιγότερος θόρυβος, συγκρινόμενος με μηχανικές τεχνικές, κοπή με πλάσμα ή με εκτοξευτήρες νερού.

Επιπρόσθετα, η ακτίνα φωτός από το laser έχει υψηλό βαθμό ελέγχου και ευελιξίας, που προσφέρει:

1. Ευκολία για κοπή πλήθους υλικών και σχημάτων (ιδανικό για πλήθος μικρών μεγεθών, ανάπτυξη πρωτοτύπων και άμεση κατασκευή).
2. Ευκολία στην ολοκλήρωση και στον έλεγχο με αυτοματοποιημένο εξοπλισμό (π.χ. CNC).
3. Απεριόριστη δυνατότητα κάθετων τομών (δεν υπάρχουν ακμές κοπής).
4. Πλήρης εκμετάλλευση του υλικού.
5. Δυνατότητα κοπής σε περιοχές που είναι δύσκολο να γίνει με άλλες τεχνικές.

Μερικά από τα μειονεκτήματα, τα οποία πρέπει να λάβουμε υπόψη είναι:

1. Υψηλό κόστος κεφαλαίου, σε σχέση με άλλες τεχνικές (ωστόσο, το κόστος λειτουργίας είναι μικρότερο σε σχέση με άλλες μεθόδους).
2. Σκληρές και συχνά ψαθυρές ακμές μπορεί να εμφανιστούν σε σκληρυμένα υλικά.
3. Σε κάποια υλικά μπορεί να συμβούν μικρορωγμές από τις ακμές κοπής.
4. Κατά την κοπή κάποιων υλικών για laser παράγονται τοξικές αναθυμιάσεις.

Σύμφωνα με τα παραπάνω, μερικές εφαρμογές-κλειδιά της κοπής με laser είναι φανερές:

- Μικρή προς μεσαία παραγωγή ή παραγωγή πρωτοτύπων.
- Εύαισθητα και μικρής ανοχής εξαρτήματα.
- Υψηλής αντοχής ή αντοχής στην τριβή υλικών.

3.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Για να κατανοήσουμε την χρήση των laser, είναι χρήσιμο να σκεφτούμε πού διαφέρουν από τις άλλες μηχανικές μεθόδους. Το σημείο κλειδί, που πρέπει να προσεχθεί, είναι ότι το laser συναγωνίζεται αποτελεσματικά ενάντια των ικανοτήτων μεγάλου εύρους διαδικασιών και τεχνικών, και αυτό επειδή έχει τρομερή ευελιξία.

3.2.1 Θερμικές διαδικασίες

Όπως με τη χρήση ενός laser, αυτές οι μέθοδοι εκπέμπουν μια πηγή θερμικής ενέργειας μη επαφής σ' ένα μετακινούμενο τεμάχιο. Ωστόσο, οι εναλλακτικές αυτές μέθοδοι υστερούν στην ικανότητα να συγκεντρώνουν την θερμική ενέργεια σ' ένα τόσο μικρό σημείο όσο το laser. Γι' αυτό, τείνουν να παρέχουν υπερβολική θερμότητα στο μέταλλο, με αποτέλεσμα πλατιές εγκοπές, μεγαλύτερες θερμικά επηρεαζόμενες ζώνες και τελικά μεγαλύτερο ενδεχόμενο για θερμική παραμόρφωση του τεμαχίου.

Αυτές οι θερμικές μέθοδοι συναγωνίζονται τα laser στην κοπή μεταλλικών εξαρτημάτων [πάχους μικρότερου από 25 mm (1")]. Ωστόσο, το laser είναι το μόνο από τις θερμικές μεθόδους, που παρέχει ικανοποιητικό αποτέλεσμα και για μη μέταλλα.

3.2.2 Κοπή με O₂ (OFC)

Αυτή η διαδικασία κοπής βασίζεται σε μια χημική αντίδραση μεταξύ του O₂ και του μετάλλου βάσης, το οποίο έχει θερμανθεί με φλόγα, (τα κοινά αέρια είναι το ακετυλένιο και το προπάνιο) πάνω από τη θερμοκρασία ανάφλεξης του υλικού (π.χ. 870°C ή 1600°F είναι η θερμοκρασία στην οποία ο σίδηρος αρχίζει να καίγεται παρουσία O₂). Αυτό, περιορίζει την OFC στο να χρησιμοποιείται, βασικά, σε μαλακό χάλυβα, αν και η χρήση χημικής ή μεταλλικής σκόνης μπορεί να βοηθήσει, να ξεπεραστεί η μειωμένη οξειδωση των προσθετικών, όπως το χρώμιο και το νικέλιο σε κράματα σιδήρου. Είναι εύχρηστο, έχει χαμηλό κόστος κεφαλαίου και η ικανότητα να κόβει ατσάλι πάχους πάνω από 2mm, κάνει την OFC ένα ευέλικτο εργαλείο κοπής. Ωστόσο, εξαιτίας της υψηλής προσφοράς θερμότητας, έχει μικρή ακρίβεια στις διαστάσεις και χαμηλό ρυθμό μετακίνησης και έτσι σπάνια επιλέγεται για κοπή υλικών πάχους λιγότερο από 25 mm (1"). Το πλάτος των εγκοπών είναι πάντα παραπάνω από λίγα χιλιοστά.

3.2.3 Κοπή με πλάσμα (PAC)

Αυτή η μέθοδος, περιλαμβάνει ένα τόξο υψηλής έντασης ρεύματος, διαμέσου ενός ακροφυσίου από ένα ηλεκτρόδιο στο τεμάχιο. Οι υψηλές θερμοκρασίες, που επιτυγχάνονται, είναι ικανές να λιώσουν τα περισσότερα μέταλλα, ενώ το υψηλής ταχύτητας αέριο εκδιώχνει το τηγμένο μέταλλο από την εγκοπή. Ενώ οι ρυθμοί κοπής είναι αρκετά γρηγορότεροι από την OFC και είναι στο ίδιο μήκος κύματος με το υψηλής ενέργειας laser, συχνά, χρειάζεται να λαμβάνονται προφυλάξεις για να διατηρείται μια καλή ποιότητα κοπής. Για παράδειγμα, απαιτείται η αντικατάσταση των καταναλισκόμενων τεμαχίων, (π.χ. ακροφύσια) για να διατηρήσουμε μια καλή ποιότητα κοπής. Αυτό, οδηγεί σε λειτουργικό κόστος, το οποίο είναι υψηλότερο, σε σύγκριση με την κοπή με laser. Επιπρόσθετα, πρέπει να λαμβάνονται μέτρα προστασίας, λόγω της παραγωγής υπερϊώδους ακτινοβολίας από το τόξο.

Γενικά, η κοπή με πλάσμα παράγει κοπή, η οποία έχει φαρδύτερη εγκοπή και κυματοειδή μορφή κατά μήκος της ακμής, η οποία έχει ως αποτέλεσμα την μείωση της ακρίβειας κοπής, καθώς και τον περιορισμό των λεπτομερειών που μπορούν να κοπούν. Ακόμα ένα ιδιαίτερο χαρακτηριστικό της κοπής με πλάσμα υλικού, με πάχος μεγαλύτερο των 6 mm (0,25"), είναι για εγκοπή με λοξοτομή στην μια μόνο ακμή. Αυτό, φυσικά, δεν είναι δυνατόν να προσφερθεί από μια κοινή γραμμική κοπή (όπου μια ακμή κοπής είναι κοινή για δύο ή περισσότερα τεμάχια).

Η πρόσφατη ανάπτυξη της κοπής με πλάσμα (μερικές φορές αναφέρεται ως «υψηλής σαφήνειας», «ακρίβειας» ή «καθαρή» κοπή με πλάσμα), έχει κάνει υπολογίσιμες βελτιώσεις στην ποιότητα κοπής. Ωστόσο, η κοπή με πλάσμα απαιτεί, όχι μόνο ένα υψηλό ρυθμό αντικατάστασης των καταναλισκόμενων, αλλά είναι και πολύ ευαίσθητη στην ποιότητα των καταναλισκόμενων. Αυτό, τελικά, επιδρά στην διαδικασία, η οποία είναι δύσκολο να λειτουργήσει ανεξάρτητα. Η κοπή με πλάσμα είναι γενικά ανταγωνιστική προς τα laser, για κοπή μαλακού χάλυβα πάχους μεγαλύτερου των 9,5 mm (0,38") και κραμάτων αλουμινίου και ανοξείδωτου χάλυβα πάχους μεγαλύτερου των 6,4 mm (0,25").

3.2.4 Μηχανικές διαδικασίες

Τα συστήματα κοπής με laser παρέχουν πλεονεκτήματα, τα οποία υπερνικούν τα προβλήματα, που σχετίζονται με την επαφή ενός τεμαχίου με μια κοφτερή ακμή. Τα μηχανικά μέσα (όπως η διάτρηση, διάτμηση και το πριόνισμα) χαρακτηρίζονται από την ανάγκη ύπαρξης μιας ακίνητης σύνδεσης, δυσκολίας σκληρών και ψαθυρών υλικών, παραμορφωμένων ή τραχιών ακμών, καθώς και την ανάγκη για συνεχές τρόχισμα ή αντικατάσταση των κοπτικών εργαλείων. Εάν αυτά τα προβλήματα είναι σημαντικά για τον χρήστη, τότε τα laser μπορούν να αποδειχτούν μια βιώσιμη εναλλακτική λύση.

3.2.5 Χάραξη

Η χρήση των καλουπιών, για την κοπή μεγάλων ποσοτήτων τεμαχίων, επιφέρει τόσο ένα χαμηλό κόστος ανά τεμάχιο, όσο και ένα συντομότερο κύκλο παραγωγής (π.χ. υψηλός ρυθμός παραγωγής). Το καλούπωμα ωστόσο, δεν είναι τόσο ευαίσθητο στον σχεδιασμό αλλαγών, όσο τα προγραμματιζόμενα συστήματα laser. Ο υψηλός χρόνος προετοιμασίας και το υψηλό κόστος των νέων καλουπιών κάνουν το laser ανταγωνιστικό, για μικρές ή μεγάλες παραγωγές. Επιπλέον, τα laser επιτρέπουν τη λιγότερη απώλεια υλικού, ενώ το καλούπωμα απαιτεί την καθαρότητα της περιοχής γύρω από το κάθε τεμάχιο.

3.2.6 Διάτρηση

Η διάτρηση με laser επιτυγχάνεται με τη συγκέντρωση, σε ένα σημείο μεγάλης ισχύος ανά τετραγωνικό εκατοστό, που λιώνει, είτε ακόμα εξαερώνει το υλικό, σχηματίζοντας κωνικότητα στην αρχή της οπής και στη ζώνη υλικού, που έχει επαναστερεοποιηθεί. Προσοχή πρέπει να δοθεί στο σωστό συνδυασμό υλικού και τύπου laser, για να υπάρχει η καλύτερη δυνατή αλληλεπίδραση δέσμης laser και υλικού (μικρή ανακλασιμότητα, μικρότερες απώλειες και κατάλληλη θερμική αγωγιμότητα).

Εάν η περιοχή διάτρησης απορροφά την προσφερόμενη θερμότητα υπερβολικά γρήγορα και υπάρχει κίνδυνος υπέρμετρης αύξησης θερμικού επηρεασμού, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ρεύμα αερίου, σε υψηλή πίεση για να υποβοηθήσει την απαγωγή της θερμότητας.

Με το laser είναι δυνατή η διάνοιξη οπών μεγάλης ακρίβειας, για εξαιρετικά μικρές διαμέτρους (από 0,016 mm έως 1,3 mm), για μεγάλα βάθη και σε σκληρά κ.λ.π. υλικά. Προκύπτουν, δηλαδή, δυνατότητες, που με συμβατικές μεθόδους, είναι πολύ δύσκολες είτε και αδύνατες. Επιπλέον, μπορούμε να τρυπήσουμε υπό γωνία προς την επιφάνεια του κομματιού, (μέχρι 80° από την κάθετο) με την ίδια ευκολία που κατασκευάζουμε κάθετες οπές, ενώ είναι γνωστό πως διάτρηση υπό γωνία με συμβατικό τρυπάνι είναι ιδιαίτερα δύσκολη, εξαιτίας της κάμψης του εργαλείου, πρόβλημα που αντιμετωπίζεται με δαπανηρές ιδιοσυσκευές.

Οπές διαμέτρου άνω των 1,3 mm μπορούν να κατασκευασθούν, με την κίνηση της ακτίνας laser περιμετρικά. Ακόμα, στη διάτρηση μετάλλων είναι σκόπιμο να διοχετευθεί αέριο στο σημείο εστίασης της ακτίνας, που αντιδρά με το μέταλλο και το διαβρώνει χημικά, παράλληλα με την ακτίνα laser.

Με τη χρήση παλμικού laser και το συγχρονισμό της κίνησης του υπό κατεργασία υλικού με την λειτουργία του laser, μπορεί να επιτευχθεί η διάνοιξη μέχρι και 100 οπών ανά δευτερόλεπτο. Επιπλέον, μπορούμε εύκολα να κατασκευάζουμε οπές, διαφορετικών διαμέτρων, με απλή αλλαγή της

εστίασης της ακτίνας. Φυσικά, υπάρχουν και εδώ περιορισμοί, όπως δυσκολία κατασκευής τυφλών οπών, είτε με διαβάθμιση διαμέτρων.

Η διάτρηση με laser χρησιμοποιείται σε μεγάλη έκταση για την κατεργασία εδράνων ωρολογιακών μηχανισμών, δακτυλίων συρματοποίησης κ.λ.π.

3.2.7 Διάτμηση (ευθείες ακμές)

Εκτός και αν υπάρχουν προφανή προβλήματα επαφής με το τεμάχιο ή προβλήματα με την επακόλουθη ακμή που παράγεται, (στρογγυλεμένες άνω ακμές με διατμημένες σχισμές) τα laser δεν υπολογίζονται απ' ευθείας εναντίον των δυνατοτήτων της διάτμησης.

3.2.8 Πριόνισμα

Καθώς αντιτίθενται στο laser, τα πριόνια και οι κοπτικοί τροχοί, γενικά, έχουν ρυθμούς κοπής που δεν εξαρτώνται από το πάχος του υλικού. Για λεπτά υλικά, οι ταχύτητες είναι σημαντικά πιο μικρές από τα laser αλλά το εύρος του πάχους, το οποίο μπορούν να χειριστούν, είναι μεγαλύτερο. Το laser, στην πραγματικότητα, θεωρείται περιγραμματικό εργαλείο, το οποίο μπορεί εύκολα να χειρίζεται προς όποια σχεδόν κατεύθυνση και από όποιο σημείο ενός τεμαχίου, ικανότητα η οποία συνήθως δεν απαιτείται κατά την αγορά ενός πριονιού (με την πιθανή εξαίρεση των πριονιών μορφοποίησης, για κοπή κάποιων μη μεταλλικών υλικών).

3.2.9 Κοπή με εκτοξευτήρες νερού

Το υψηλής πίεσης νερό (ή μίγμα νερού/ μέσου λείανσης), της τάξης των 2.700-5.000 bar (40.000-80.000 psi), εκτοξεύεται από μια τρύπα μικρής διαμέτρου, για να επιφέρει το αποτέλεσμα της κοπής ενός εργαλείου, για παραγωγή μεγάλης ποικιλίας μετάλλων ή μη μετάλλων. Όπως και το laser, δεν υπάρχει επαφή μεταξύ του ακροφυσίου και του τεμαχίου. Ωστόσο, η υδάτινη δέσμη εξασκεί δύναμη πάνω στην επιφάνεια προς κοπή (αρκετή για να παραμορφώσει μια λεπτή επιφάνεια), γιατί η δέσμη νερού κόβει λόγω διάβρωσης. Με μίγμα νερού και μέσου λείανσης, σκληρά κομμάτια από πυρίτιο, γρανίτη ή οξειδία του αλουμινίου, με υψηλές ταχύτητες (περίπου 500 m/sec ή 1500 ft/sec), διαβρώνουν το τεμάχιο.

Ο θόρυβος της κοπής είναι μεγάλος, σε σχέση με την κοπή με laser, ακόμα και την υψηλής πίεσης κοπής με laser. Εξαιτίας του μεγαλύτερου πλάτους εγκοπών που επακολουθούν της δέσμης νερού (γενικά μεγαλύτερων των 2 mm ή 0,08"), η κοπή περίπλοκων τεμαχίων δεν είναι δυνατή. Από την στιγμή που το μέσο λείανσης δεν μπορεί να ξαναχρησιμοποιηθεί, αυτό προκαλεί ένα μεγαλύτερο κόστος λειτουργίας της κοπής με δέσμη νερού, σε σχέση με την κοπή με laser. Μια ακόμη έννοια, κατά την κοπή μετάλλων, είναι η διάθεση του μίγματος μέσου λείανσης μετάλλου (ειδικά όταν περιλαμβάνει συγκεκριμένα βαριά μέταλλα).

Η δέσμη νερού μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κοπή πλήθους υλικών σε στοίβες, ανόμοιων θερμικών διαδικασιών, στα όποια η θερμότητα, που αναπτύσσεται κατά τη διάρκεια της κοπής, μπορεί να συγκολλήσει τα στρώματα μεταξύ τους. Η κοπή με εκτοξευτήρες νερού είναι ιδανική για ινώδη και χοντρά αμέταλλα και τα συνθετικά τους (π.χ. αφρολέξ και υαλοβάμβακα). Ακόμα, όταν χειριζόμαστε τιτάνιο, η κοπή με εκτοξευτήρα νερού προσφέρει μια πολύ καλή εναλλακτική λύση. Η κοπή με εκτοξευτήρες νερού είναι καλή επιλογή, εάν η επανάτηξη ή η ζώνη θερμικής επίδρασης (Θ. Ε. Ζ.), από την θερμική κοπή, είναι μη αποδεκτή για κράματα αλουμινίου. Ωστόσο, η κοπή με

εκτοξευτήρες νερού είναι πολύ πιο αργή από την κοπή με laser, σε πάχη όπου οι δύο συναγωνίζονται [π.χ. πάνω από περίπου 16 mm, (0,6")].

3.2.10 Ηλεκτρικές διαδικασίες

Η χρήση ηλεκτρικής κατεργασίας εκφόρτισης (EPM) της ηλεκτρομηχανικής κατεργασίας (ECM) είναι κοινή για επεξεργασία ακρίβειας σκληρυμένων μετάλλων, από την στιγμή που αυτές οι μέθοδοι, όπως τα laser, δεν έρχονται σε επαφή με το τεμάχιο. Χρησιμοποιεί την διάβρωση ή το διαλυτικό αποτέλεσμα μιας ηλεκτρικής εκφόρτισης για να χαράξουν την κοπή. Ενώ η ομαλότητα της ακμής είναι γενικά ανώτερη από αυτής του laser για πάχος μεγαλύτερο των 3 mm (0,12"), η ταχύτητα περιορίζεται σημαντικά. Από την άλλη, δεν έχουν βάθος εστίασης, το οποίο αποκλείει τα laser από το να κόψουν χοντρά μέταλλα.

Μεγαλύτερη ταχύτητα κοπής είναι δυνατή, σε ορισμένες περιπτώσεις, με τεχνικές ηλεκτρικής εκκένωσης, με τη χρήση πολλαπλών ηλεκτροδίων. Από την στιγμή που οι ταχύτητες κοπής είναι μεγαλύτερες και η ομαλότητα των ακμών είναι συγκρίσιμη, τα laser προτιμώνται, για κοπή οπών σε μεταλλικά φύλλα εξαρτημάτων ή κατασκευή τουρμπίνων.

Στον πίνακα 3.1 που ακολουθεί, παρουσιάζεται η σύγκριση διαφόρων μεθόδων κοπής με την κοπή με laser.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1

ΜΕΘΟΔΟΣ	ΠΑΧΟΣ ΥΛΙΚΟΥ ΜΕΓΙΣΤΟ ΠΡΑΚΤΙΚΑ mm(inch)	ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ
Κοπή με εκτοξευτήρες νερού	150(6) μη μεταλλικά 25(1) μέταλλα	Κόβει οποιοδήποτε υλικό όχι Θ. Ε. Ζ., όχι αναθυμιάσεις, όχι σκουριά, όχι επανάτηξη, κόβει σωρό από υλικά	Υψηλό κόστος λειτουργίας, φθορά εργαλείων, μεγάλες εγκοπές, θόρυβος, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σκουριασμένα μέταλλα
Διάτρηση	13(0,5)	Το χαμηλότερο κόστος ανά τεμάχιο για μεγάλο όγκο παραγωγής, ακρίβεια, αξιοπιστία	Θορυβώδες, παραμόρφωση ακμών διάτμησης, απαιτεί μόνιμη σταθερή επεξεργασία και καλούπια
Χάραξη	3(0,12)	Γρήγορη, χαμηλό κόστος ανά τεμάχιο	Υψηλό κόστος αναστροφής και χρονοβόρο, μεγάλη ποσότητα αποβλήτων, μόνο μέταλλα

3.2.11 Συναγωνισμός μεταξύ κοπής με laser και θερμικών μεθόδων κοπής

Σήμερα, τα περισσότερα εγκατεστημένα συστήματα κοπής με laser χρησιμοποιούνται για κατεργασία μετάλλων. Τα πιο τελειοποιημένα συστήματα κοπής με laser είναι εξοπλισμένα με laser CO₂ με ισχύ μεταξύ 1000 και 2800 W.

3.2.12 Συστήματα laser μεγάλης κλίμακας

Η διαθεσιμότητα συστημάτων κοπής με laser μεγάλης κλίμακας, με επιφάνειες εργασίας μέχρι 3x24 m κάνει τη μέθοδο κοπής με laser ελκυστική, για βιομηχανίες χαλύβδινων κατασκευών ή ναυπηγεία, που μέχρι σήμερα χρησιμοποιούσαν συμβατικές μεθόδους, λόγω των περιορισμών, που επέβαλλε η απαιτούμενη επιφάνεια εργασίας.

Σε αντίθεση με τις «μονοκόμματα» (compact) μηχανές, που συνήθως κατασκευάζονται σαν συστήματα «*Flying Optics*», αυτό το σύστημα διαθέτει πηγή laser τοποθετημένη στην κινούμενη κεφαλή της μηχανής. Έτσι, ο άξονας X της μηχανής μπορεί να καλύπτει (σχεδόν) απεριόριστο μήκος. Στον Y άξονα χρησιμοποιείται ένα flying optic, για την οδήγηση της δέσμης. Συστήματα κοπής με laser μεγάλης κλίμακας εγκαθίστανται, συνήθως, σε μηχανουργεία, αλλά επίσης συναντώνται σε ναυπηγεία, εταιρείες μελετών παραγωγής, εταιρείες χαλύβδινων κατασκευών και στην αυτοκινητοβιομηχανία.

3.2.13 Κριτήρια για επιλογή μεθόδου κοπής

Η κοπή με laser συναγωνίζεται πολλές μεθόδους κοπής. Σπάνια συναντώνται περιπτώσεις, όπου η κοπή με laser είναι η μοναδική εφαρμόσιμη μέθοδος κοπής. Από τη σκοπιά του μηχανικού παραγωγής, η επιλογή εξαρτάται από τις απαιτήσεις ποιότητας και κόστους.

3.2.14 Σύγκριση κόστους

Για όλες τις συγκρίσεις κόστους, χρησιμοποιείται, ευρέως, το κόστος ανά μέτρο. Αυτό, προκύπτει από το κόστος λειτουργίας της μηχανής και την ταχύτητα κοπής, που εξαρτάται από την διαδικασία και το υλικό.

Η εκτίμηση του κόστους λειτουργίας γίνεται σύμφωνα με τα τεχνικά δεδομένα (π.χ. κατανάλωση ενέργειας) και την εμπειρία των χειριστών (π.χ. διάρκεια ζωής φθειρόμενων μερών). Αντίθετα, επιρροές στο κόστος, σχετιζόμενες με το προς κατεργασία κομμάτι, δεν μπορούν να αξιολογηθούν. Για παράδειγμα, αν σε ένα κομμάτι απαιτούνται πολλές διατρήσεις οπών, η διάρκεια ζωής αναλωσίμων μηχανής κοπής με πλάσμα μειώνεται δραστικά. Εκτός αυτού, η παραγωγικότητα κάθε μεθόδου (που σημαίνει η ταχύτητα κοπής) πρέπει να ληφθεί υπ' όψη.

Ακόμα και διαδικασίες παλαιού στυλ, όπως η κοπή με οξυγόνο, έχουν μικρό κόστος όταν χρησιμοποιούνται πολλά ακροφύσια. Όμως, οι σύγχρονες παραγωγικές μέθοδοι, όπως το πλάσμα και το laser, σε παραγωγή μικρών παρτίδων παρουσιάζουν μικρότερο κόστος κοπής.

3.2.15 Σύγκριση από πλευράς ποιότητας

Η υψηλή συγκέντρωση ισχύος αποτελεί αποφασιστικό παράγοντα, για την ποιότητα κοπής που προσφέρει το laser. Κατά την κοπή με laser έχουμε:

- Ακμές με σωστές ορθές γωνίες
- Μικρή τραχύτητα επιφάνειας
- Αποφυγή αφρισμού τηκόμενου μετάλλου
- Πολύ μικρή θερμική παραμόρφωση.

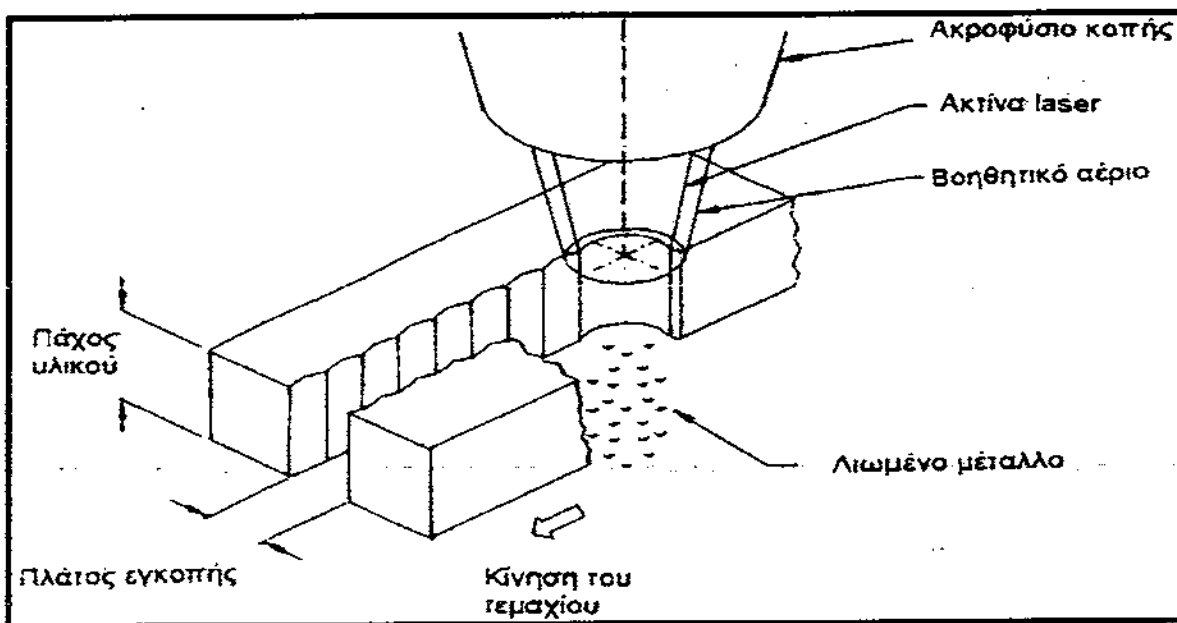
Έτσι, αποφεύγονται φάσεις κατεργασίας, όπως η ευθυγράμμιση μετά την κοπή ή το φινίρισμα των ακμών. Σε αντίθεση με άλλες μεθόδους κοπής, η κοπή με laser παρουσιάζει καλύτερη ποιότητα. Αυτό σημαίνει, ότι, μετά την κοπή, τα κομμάτια είναι έτοιμα για συναρμολόγηση. Έτσι, αποφεύγονται ή περιορίζονται φάσεις κατεργασίας, όπως φρεζάρισμα ή διάτρηση, με αποτέλεσμα σημαντική εξοικονόμηση, ειδικά σε μεγάλα κομμάτια. Παράδειγμα αποτελούν οπές ή σχισμές, που μπορεί να κοπούν αντί να φρεζαριστούν ή να τρυπηθούν με τρυπάνι.

Ένα άλλο αξιοσημείωτο πλεονέκτημα της χρήσης laser είναι η ακρίβεια κοπής, που προκύπτει από το χαμηλό ποσό θερμότητας και το στενό εύρος κοπής. Η μεγάλη ακρίβεια είναι προϋπόθεση, για την αυτοματοποίηση και την εξυπηρέτηση των επόμενων φάσεων κατεργασίας. Για παράδειγμα, η επιτυγχάνομενη ακρίβεια από την κοπή με laser έδωσε τη δυνατότητα χρήσης robot, με συνέπεια την επίτευξη οικονομιών σε μεγάλη κλίμακα.

3.3 ΘΕΩΡΙΑ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΚΟΠΗΣ

Η ακτίνα laser περιλαμβάνεται σε μια ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, η οποία είναι τόσο υψηλή μονοχρωματική (μονό μήκος κύματος) όσο και συνδεδεμένη (σε φάση). Η ικανότητα του laser είναι πρωταρχικά αποδιδόμενη σε αυτά τα δύο χαρακτηριστικά, τα οποία επιτρέπουν στην ακτίνα να εστιαστεί σ' ένα πολύ μικρό σημείο [0,1 mm (0,0004") έως 0,4 mm (0,015")]. Από τη στιγμή που η ισχύς του laser συγκεντρώνεται σ' ένα σχετικά μικρό σημείο, η επακόλουθη πυκνότητα ισχύος (ο λόγος της ισχύος του laser προς την εστιαζόμενη περιοχή) στο κομμάτι είναι χαρακτηριστικά μεγαλύτερη από 10 Watt/cm² ή 6x10 Watt/in².

Σε περιπτώσεις πυκνότητας ισχύος αυτού του μεγέθους, συμβαίνει η ταχεία τήξη, η ατμοποίηση ή η αποσύνθεση πολλών υλικών (αυτών που δεν ανακλούν, άγουν ή διαχέουν την ενέργεια από την εστιαζόμενη ακτίνα του laser, η οποία δημιουργεί οπές και επιτρέπει την εξαγωγή του λιωμένου υλικού - σχήμα 3.1). Καθώς το τεμάχιο κινείται ως προς την ακτίνα, το λιωμένο, ατμοποιημένο ή αποσυντιθέμενο υλικό μπορεί να εκβάλλεται συνεχώς, παρέχοντας ως εκ τούτου την πράξη της κοπής.



Σχήμα 3.1 Αρχές της κοπής με laser

Αυτή η διαδικασία κάνει δυνατή την κοπή για πάχος αρκετών εκατοστών.

Τα συστήματα κοπής με laser συνδυάζουν την ενέργεια (θερμότητα) της εστιαζόμενης ακτίνας, μαζί με ένα βοηθητικό αέριο, το οποίο παρέχεται διαμέσου ενός ακροφυσίου, ομοαξονικά με την εστιαζόμενη ακτίνα. Η υψηλής ταχύτητας δέσμη αερίου εξυπηρετεί ως εξής:

1. Βοηθά την απομάκρυνση υλικού, εκκενώνοντας το ρευστό, ατμοποιημένο ή αποσυντεθειμένο υλικό, διαμέσου της πίσω πλευράς του τεμαχίου.
2. Προστατεύει τους φακούς από τυχόν «πιτσιλίσματα» από την ζώνη κοπής.
3. Σε μερικούς συνδυασμούς υλικών και αερίων αυξάνεται ο ρυθμός κοπής.

3.4 ΜΕΛΕΤΗ ΤΩΝ LASER

3.4.1 Γενικά

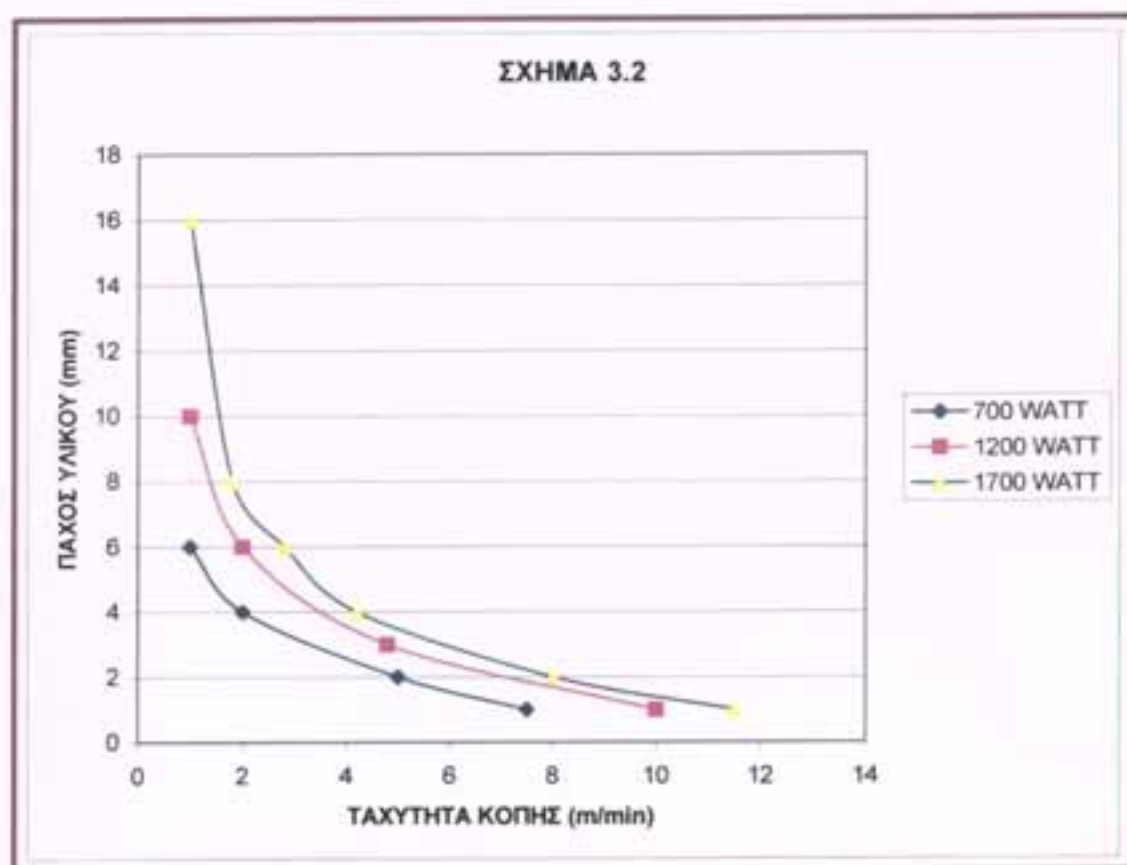
Αν και υπάρχουν πολλοί τύποι laser, μόνο τα laser CO₂ και Nd:YAG βρίσκονται συχνά σε βιομηχανικές εφαρμογές. Αντιπροσωπευτικές ταχύτητες κοπής για τα συγκεκριμένα laser σε διάφορα επίπεδα ενέργειας, παρουσιάζονται στα σχήματα 3.2, 3.3, 3.4 και 3.5. Η επιλογή του τύπου laser (μήκος κύματος) είναι χαρακτηριστική συνάρτηση του τύπου του υλικού που θέλουμε να κόψουμε (πόσο καλά απορροφά την ισχύ του laser ενός συγκεκριμένου μήκους κύματος), καθώς και της γεωμετρίας του τεμαχίου, του πάχους του, της ποιότητας και ταχύτητας κοπής. Γενικά, το μήκος κύματος του Nd:YAG απορροφάται καλύτερα από το μήκος κύματος του CO₂, από τα περισσότερα μέταλλα.

Η χρήση των οπτικών ινών, για την παροχή της ακτίνας, κατέχει την πιο σημαντική θέση για την ευελιξία, σε σχέση με το χαμηλό κόστος της κοπής με laser σε τρεις διαστάσεις. Αρκετές από τις πρωταρχικές θεωρίες, για την επιλογή μεταξύ Nd:YAG και CO₂ laser, ακολουθούν παρακάτω.

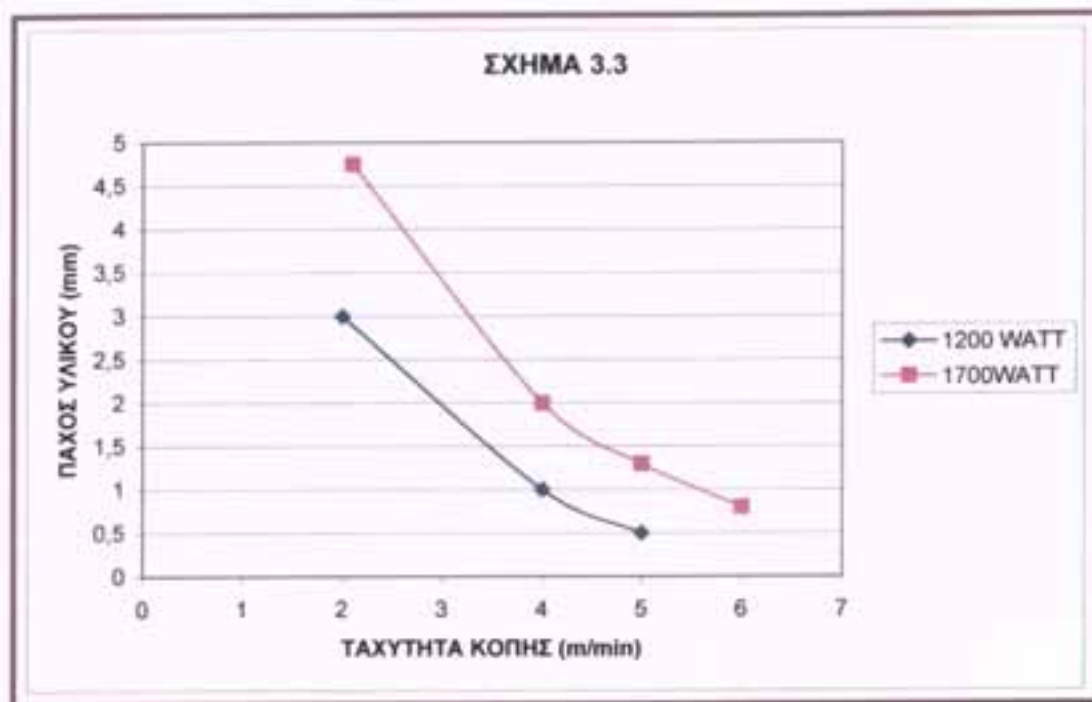
Χαρακτηριστικά των CO₂ laser

1. Υψηλότερη ισχύ.
2. Καλύτερη ικανότητα εστίασης (δηλ. ποιότητα ακτίνας), γενικά μικρότερες εγκοπές και ανώτερη ποιότητα κοπής.
3. Υψηλότερες ταχύτητες κοπής σε υλικά που δεν ανακλούν το μήκος κύματος του CO₂.
4. Μεγαλύτερο πάχος υλικού, για υλικά που δεν ανακλούν το μήκος κύματος του CO₂.
5. Μικρότερο κόστος μέτρων προφύλαξης, με το CO₂.
6. Χαμηλότερο κεφάλαιο και κόστος λειτουργίας.
7. Το ενεργό υλικό είναι μείγμα CO₂:N₂:He, σε αναλογία 1:1:8.
8. Εκπέμπει στα 10.6 μm και 9.6 μm.
9. Είναι laser 4 επιπέδων.
10. Έχει απόδοση έως και 45 %.

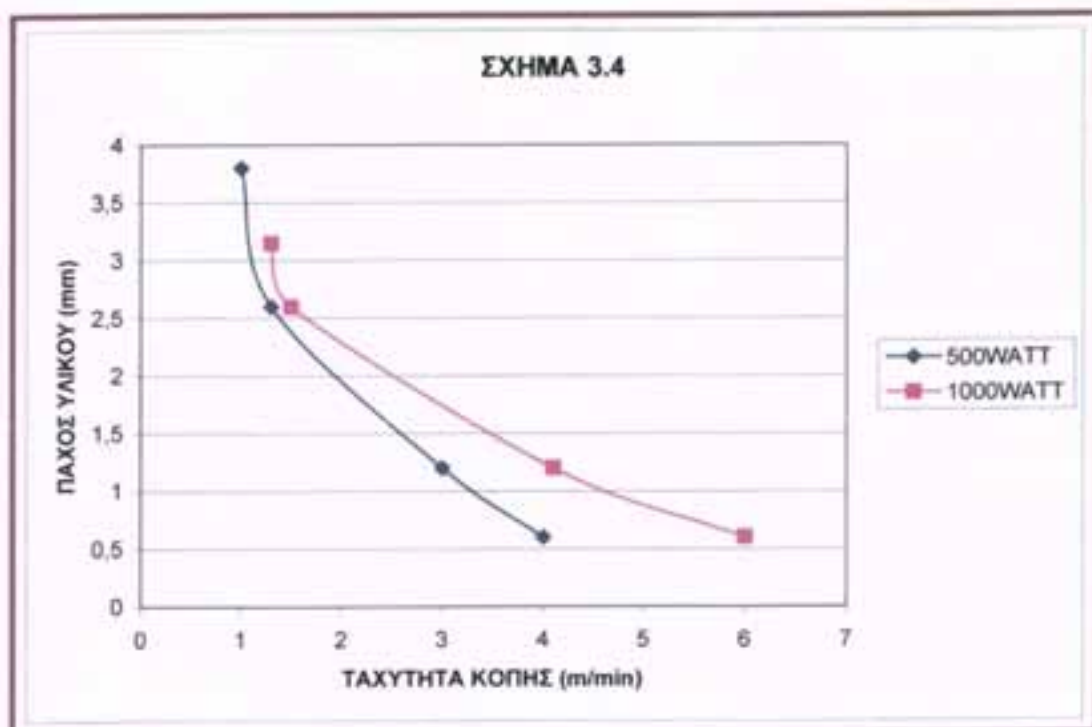




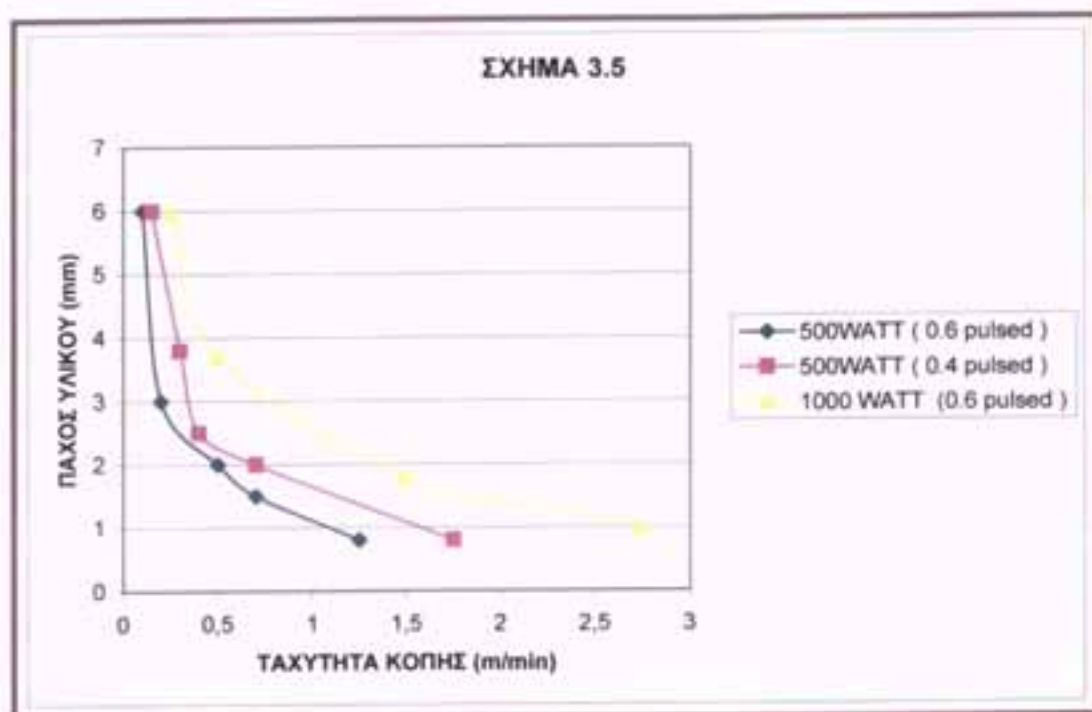
Σχήμα 3.2 Αντιπροσωπευτικές ταχύτητες κοπής με CO₂ laser για μαλακό χάλυβα με βοηθητικό αέριο οξυγόνο



Σχήμα 3.3 Αντιπροσωπευτικές ταχύτητες κοπής με CO₂ laser για ανοξείδωτο χάλυβα με βοηθητικό αέριο άζωτο



Σχήμα 3.4 Αντιπροσωπευτικές ταχύτητες κοπής με Nd:YAG laser για χαλυβδοσίδηρο παρουσία οξυγόνου



Σχήμα 3.5 Αντιπροσωπευτικές ταχύτητες κοπής με Nd:YAG laser για ανοξείδωτο χάλυβα παρουσία αζώτου

Χαρακτηριστικά των laser Nd :YAG (παροχή ακτίνας με οπτικές ίνες)

- 1) Παροχή οπτικής ίνας (ειδικά όσον αφορά εφαρμογή για ρομπότ).
- 2) Υλικά που ανακλούν το μήκος κύματος του CO₂, μπορούν συχνά να κοπούν.
- 3) Εύκολη ευθυγράμμιση της ακτίνας, εύκολος χειρισμός και διανομή της ακτίνας.
- 4) Μικρής έκτασης και απλές συντηρήσεις του laser (συσκευές στέρεας κατάστασης) και του παροχέα της ακτίνας.
- 5) Μικρότερος χώρος για laser με παροχέα ακτίνας.
- 6) Μεγάλα και διάφορα μήκη ινών, τα οποία δεν επιδρούν στη διαδικασία.
- 7) Υψηλά σημεία ισχύος με υψηλή ενέργεια ανά παλμό.
- 8) Το πιο δημοφιλές laser στερεάς κατάστασης.
- 9) Το ενεργό μέσο είναι ένας κρύσταλλος Y₃Al₅O₁₂ (YAG, Yttrium Aluminum Garnet), στον οποίο μερικά ιόντα Y³⁺ έχουν αντικατασταθεί από ιόντα Nd³⁺(1%).
- 10) Είναι laser 4 επιπέδων.
- 11) Αντλείται στα 730 nm και 800 nm

3.4.2 Ισχύς παλμικού και συνεχούς κύματος

Η κοπή είναι πρωταρχικά μια συνάρτηση της ισχύος του laser. Ωστόσο, η ποιότητα κοπής εξαρτάται, ισχυρά, από το πώς αυτή η ισχύ μεταδίδεται στο προς κοπή τεμάχιο. Η ισχύς του laser μπορεί να παραχθεί τόσο με παλμικό τρόπο, όσο και ως συνεχή ακτίνα [η οποία αναφέρεται ως συνεχές κύμα (CW)]. Η κοπή CW υψηλής ισχύος μεταφέρει ένα σημαντικό ποσό θερμότητας στα τοιχώματα της εγκοπής, προκαλώντας χειροτέρευση της ποιότητας κοπής και θέρμανση του τεμαχίου. Αυτό το αποτέλεσμα είναι ιδιαίτερα δύσκολο να ξεπεραστεί σε παχύτερα υλικά, που απαιτείται ελάχιστο πλάτος εγκοπής και όπου η θέση του τεμαχίου δεν επιτυγχάνεται με σταθερή ταχύτητα. Ακόμη, όταν κόβουμε υλικά που αντιδρούν με το CO₂, χρησιμοποιώντας CO₂ ως βοηθητικό αέριο, υπάρχει η πιθανότητα ανάφλεξης [όταν η θερμότητά του ξεπερνά τους 95°C (200 F)].

Η παλμική ισχύς μπορεί να χρησιμοποιηθεί, ώστε να εξομαλύνονται τέτοια προβλήματα και να παράγει κοπή καλύτερης ποιότητας, κάτω από αυτές τις περιστάσεις.

Όπως είναι φανερό, ο ρυθμός επανάληψης του παλμού είναι κρίσιμος και άμεσα συνδεδεμένος με την ταχύτητα κοπής. Εάν υπάρχει πολύ μεγάλος χρόνος μεταξύ των παλμών (ο ελάχιστος χρόνος off περιορίζεται από την τροφοδοσία του laser), δεν μπορεί να πραγματοποιηθεί μια συνεχής κοπή. Αυτή η κατάσταση είναι χαρακτηριστικά απροσδόκητη στο laser CO₂. Εάν υπάρχει πολύ μικρός χρόνος μεταξύ των παλμών, η ισχύς του laser πλησιάζει τα επίπεδα της συνεχούς ισχύος και γι' αυτό τα προβλήματα που περιγράφηκαν παραπάνω είναι πιθανά.

3.4.3 Τρόπος, σταθερότητα ισχύος και σκόπευση

Η κοπή υψηλής ποιότητας εξασφαλίζεται μόνο από την εφαρμογή σταθερής ενέργειας από το laser. Γι' αυτό, η σταθερότητα της εξόδου του laser είναι ένα κλειδί για την κοπή. Αυτό συμπεριλαμβάνει σταθερότητα ισχύος, σταθερή ποιότητα ακτίνας (τρόπος σταθερότητας) και αμετάβλητη συγκέντρωση ενέργειας (σταθερότητα στόχευσης).

3.4.4 Εγκάρσιος ηλεκτρομαγνητικός τρόπος

Η δυνατότητα εστίασης της ακτίνας του laser είναι μια συνάρτηση του εγκάρσιου ηλεκτρομαγνητικού τρόπου [συνήθως αναφέρεται ως TEM (Transverse Electromagnetic Mode), ή πιο απλά «τρόπος»]. Είναι, βασικά, ένας τρόπος, για να περιγραφεί το πώς η ισχύς διανέμεται μέσα στην ακτίνα. Είναι συγκρίσιμος με το βαθμό αιχμηρότητας ενός κοπτικού εργαλείου. Από την σκοπιά του σχεδιασμού των οπτικών εξαρτημάτων, αυτό συμπεριλαμβάνει στοιχεία όπως:

- 1) Κατάλληλη επιλογή υλικών για τα οπτικά (ανακλαστικότητα ή μεταδοτικότητα).
- 2) Μάζα οπτικών εξαρτημάτων (θερμομηχανική σταθερότητα).
- 3) Επαρκή ψύξη των οπτικών εξαρτημάτων (συνήθως απαιτείται ψύξη νερού πάνω από 1500 W).

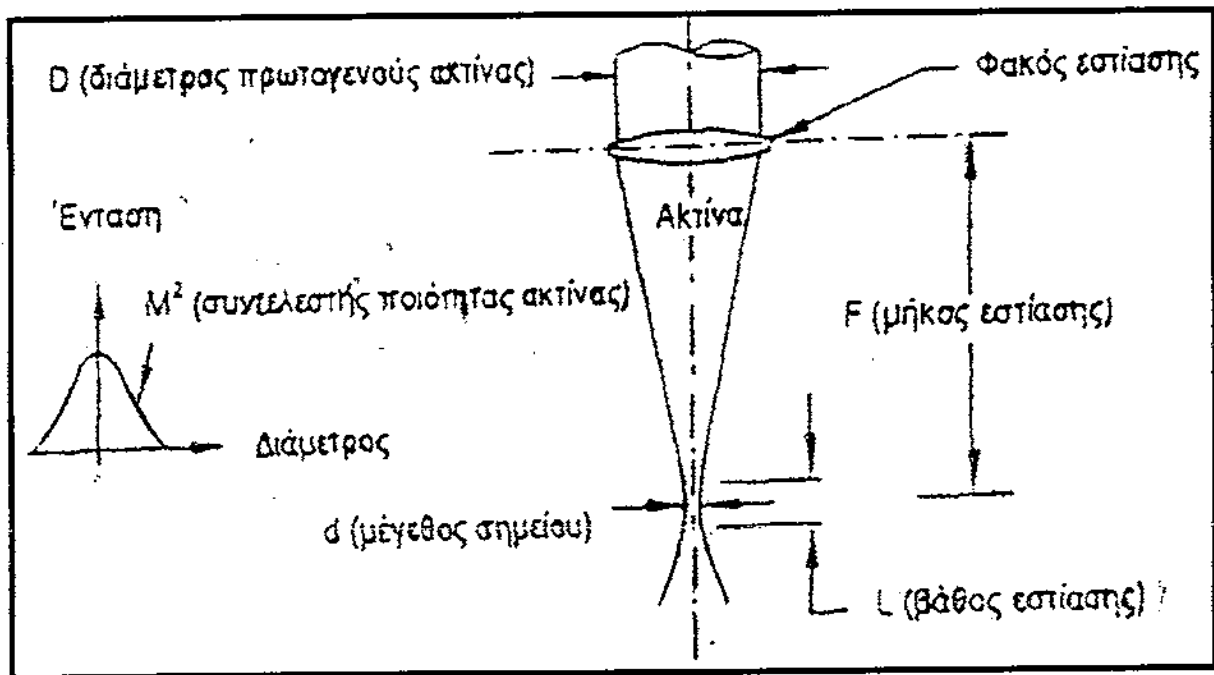
Από την πλευρά της συντήρησης, αυτό περιλαμβάνει έναν υψηλό βαθμό καθαριότητας των οπτικών, τόσο από προληπτική πλευρά, όσο και από την πλευρά της συντήρησης (πολύ καλή επιθεώρηση και πρόγραμμα καθαρισμού).

3.4.5 Διάμετρος του εστιασμένου σημείου

Είναι το μέγεθος μιας εστιαζόμενης ακτίνας, σε μια δεδομένη ισχύ, το οποίο υπαγορεύει την πυκνότητα ισχύος στο τεμάχιο, και ελέγχει την ταχύτητα κοπής, το πάχος του υλικού και το πλάτος της εγκοπής. Είναι, γι' αυτό, χρήσιμο, να λάβουμε υπόψιν τους παράγοντες, οι οποίοι επηρεάζουν το γεγονός της εστιαζόμενης ακτίνας.

Παροχή ανακλώμενης / μεταδιδόμενης ακτίνας.

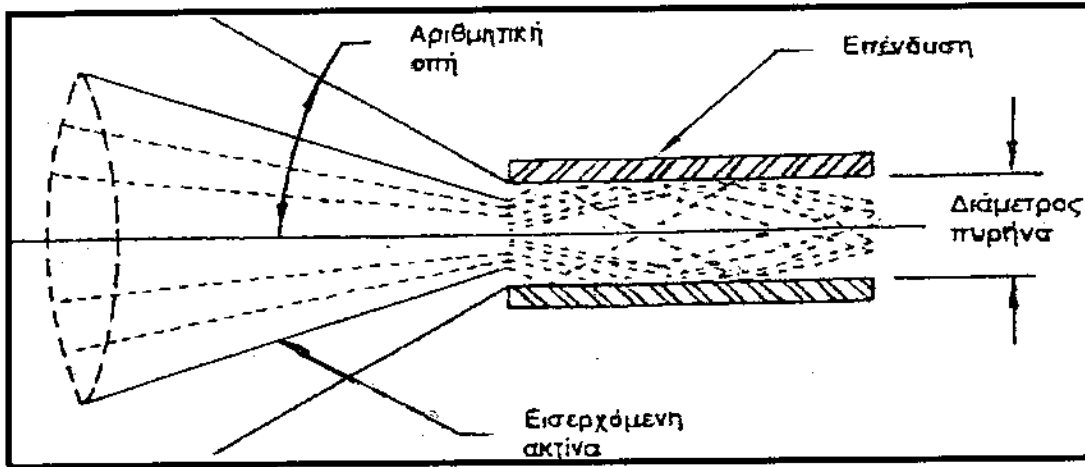
Οι παράμετροι του laser, που προσδιορίζουν το μέγεθος της διαμέτρου του εστιαζόμενου τόξου, όταν εστιάζουμε μια πρωτογενή ακτίνα laser είναι: το μήκος κύματος (λ), ο τρόπος και η ευκολία εστίασης της ακτίνας (M^2) η εστιακή απόσταση (f) και η διάμετρος της πρωτογενούς ακτίνας στον φακό εστίασης (D) (σχήμα 3.6).



Σχήμα 3.6 Παράμετροι κοπής

Παροχή ακτίνας με οπτική ίνα

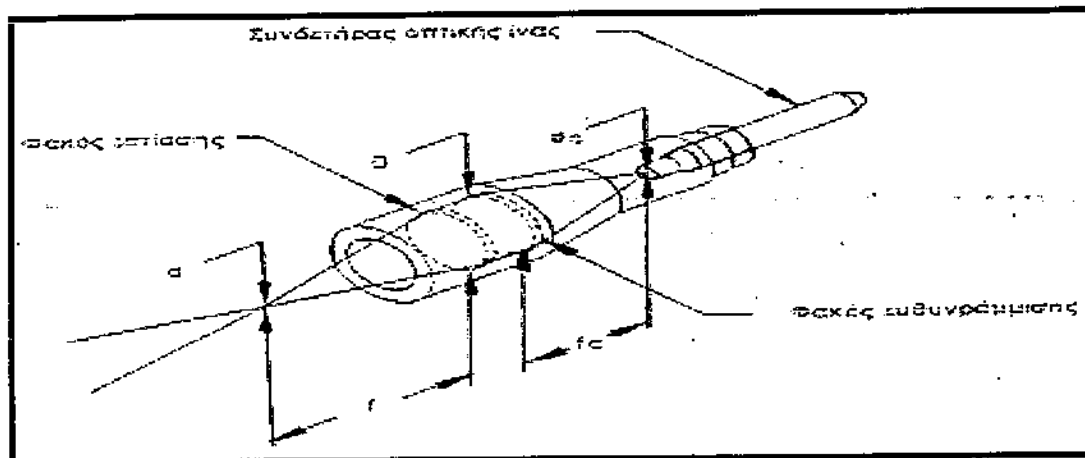
Μέσα στην οπτική ίνα, η ακτίνα μεταδίδεται, διαμέσου των εσωτερικών ανακλάσεων στον πυρήνα της ίνας (σχήμα 3.7).



Σχήμα 3.7 Μετάδοση με οπτική ίνα

Χαρακτηριστικές διαμέτροι του πυρήνα είναι από 0,4-1 mm. Η ακτίνα εξέρχεται της οπτικής ίνας. Η εξερχόμενη ακτίνα εστιάζεται, στη συνέχεια, από έναν ή περισσότερους φακούς (χαρακτηριστικά από έναν φακό ευθυγράμμισης και ένα φακό εστίασης) σ' ένα πολύ μικρό σημείο. Οι παράμετροι που προσδιορίζουν το μέγεθος του εστιαζόμενου σημείου (d), όταν εστιάζουμε μια ακτίνα laser, η οποία παρέχεται από μια οπτική ίνα είναι:

1. Η διάμετρος του πυρήνα της οπτικής ίνας (Φ_c).
2. Η εστιακή απόσταση του φακού ευθυγράμμισης (f_c).
3. Η εστιακή απόσταση (f) του φακού εστίασης (σχήμα 3.8)



Σχήμα 3.8 Παράμετροι εστίασης

Σημειώνουμε ότι, όσο μικρότερη η διάμετρος του πυρήνα της ίνας, τόσο μικρότερη και η διάμετρος του εστιαζόμενου σημείου. Ωστόσο, η μείωση της διαμέτρου του πυρήνα περιορίζεται από την ποιότητα της εισερχόμενης ακτίνας. Η εστιακή απόσταση μπορεί επίσης να μειωθεί, για να μειώσει το μέγεθος του σημείου, αλλά ταυτόχρονα μειώνεται και το βάθος της εστίασης.

3.4.6 Βάθος εστίασης

Άλλο ένα χαρακτηριστικό του σημείου εστίασης είναι το βάθος εστίασης (L), το οποίο καθορίζει την πλήρη έκταση, στην οποία το μέγεθος του εστιαζόμενου σημείου δεν αυξάνει παραπάνω από ένα προκαθορισμένο ποσοστό επί τοις εκατό (π.χ. $p = 0,05$ για 5%). Πρακτικά, το βάθος εστίασης προσδιορίζει το εύρος, στο οποίο το πλάτος της εγκοπής, κατά την κοπή, δεν αυξάνει σημαντικά. Αποτέλεσμα αυτού είναι, ότι το βάθος εστίασης είναι ένας από τους βασικούς παράγοντες, που επηρεάζουν τη σταθερότητα της κοπής, και είναι άμεσα συνδεδεμένο με τον χρόνο εγκατάστασης (όσο μεγαλύτερο το βάθος εστίασης, τόσο μικρότερο το χρονικό διάστημα ,που απαιτείται).

Παροχή ακτίνας με οπτικές ίνες

Είναι σημαντικό να σημειώσουμε ότι, εξαιτίας της μεγάλης μείωσης της ποιότητας της ακτίνας ενός συστήματος Nd:YAG, η οποία μεταδίδεται διαμέσου μιας οπτικής ίνας, το βάθος της εστίασης για ένα δεδομένο σημείο είναι πολύ μικρότερο αυτού, από όταν παρέχεται με ένα σύστημα ανάκλασης ή μετάδοσης της ακτίνας. Το βάθος της εστίασης εξαρτάται από την ποιότητα της εξερχόμενης ακτίνας και την διάμετρο του σημείου.

Στον πίνακα 3.Π που ακολουθεί φαίνεται η αλληλεξάρτηση μεταξύ βάθους - εστίασης και μεγέθους - σημείου.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.Π

ΑΛΛΗΛΕΞΑΡΤΗΣΗ ΒΑΘΟΥΣ ΕΣΤΙΑΣΗΣ ΚΑΙ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΣΗΜΕΙΟΥ		
Παράμετροι διαδικασίας	Μικρή εστιακή απόσταση	Μεγάλη εστιακή απόσταση
Μέγεθος σημείου	<p><u>Μικρότερο</u></p> <p>Υψηλότερη ταχύτητα κοπής, μικρότερη εισερχόμενη θερμότητα, μικρότερες εγκοπές, λεπτότερα υλικά</p>	<p><u>Μεγαλύτερο</u></p> <p>Μικρότερη ταχύτητα κοπής, υψηλότερη εισερχόμενη θερμότητα, μεγαλύτερες εγκοπές, χοντρότερα υλικά</p>
Βάθος εστίασης	<p><u>Κοντότερο</u></p> <p>Υψηλότερη ανοχή τεμαχίου, υψηλότερη ανοχή επεξεργασίας, μεγαλύτερος χρόνος για να επιτύχουμε την εστίαση, λεπτότερα υλικά</p>	<p><u>Μακρότερο</u></p> <p>Χαμηλότερη ανοχή τεμαχίου, χαμηλότερη ανοχή επεξεργασίας, μικρότερος χρόνος για να επιτύχουμε την εστίαση, χοντρότερα υλικά</p>

3.4.7 Πυκνότητα ισχύος, πυκνότητα ενέργειας και ενέργεια κοπής.

Πυκνότητα ισχύος

Η πυκνότητα ισχύος ορίζεται ως ο λόγος της ισχύος του laser προς την επιφάνεια του εστιασμένου σημείου και είναι άμεσα συνδεδεμένο με το πάχος του υλικού, το οποίο μπορεί να κοπεί. Είναι κρίσιμο, γι' αυτό περικλείει τόσο την ισχύ του laser όσο και την περιοχή, στην οποία είναι συγκεντρωμένη. Τόσο η υψηλής ισχύος ανεστίαστη ακτίνα όσο και η χαμηλής ισχύος εστιασμένη ακτίνα, δεν χρησιμοποιούνται πολύ στην κοπή.

Πυκνότητα ενέργειας

Η πυκνότητα ενέργειας σχετίζεται με την ταχύτητα, με την οποία η πυκνότητα ισχύος μεταδίδεται στο υλικό που θέλουμε να κόψουμε. Μια υψηλή ταχύτητα κοπής ενός λεπτού υλικού μεταδίδει λιγότερη ενέργεια στο τεμάχιο, απ' ό,τι μια χαμηλής ταχύτητας κοπή ενός χοντρότερου υλικού, για μια δεδομένη πυκνότητα ισχύος. Η διαθέσιμη πυκνότητα ενέργειας είναι απ' ευθείας ανάλογη στην πυκνότητα ισχύος (P_d) και στο μήκος κοπής (w) και αντιστρόφως ανάλογη στην ταχύτητα κοπής (V):

$$E_d = w * P_d / V$$

Ενέργεια κοπής

Η πυκνότητα ενέργειας μαζί με την αποδοτική συσχέτιση (την ικανότητα του υλικού προς κοπή να απορροφά την ενέργεια της εστιασμένη ακτίνας), προσδιορίζει την ενέργεια κοπής του laser. Εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μερικοί από αυτούς είναι: ο τύπος του laser, η πυκνότητα ισχύος, η αγωγιμότητα και η ανακλαστικότητα του υλικού, η κατάσταση της επιφάνειας του υλικού και το ποσό των πτητικών συστατικών, μέσα ή πάνω στην επικάλυψη του υλικού.

Η συνολική ενέργεια κοπής (του laser και του αντιδρώντος αερίου) είναι υπεύθυνη για την δημιουργία του λιωμένου (ατμοποιημένου ή απόσυντιθέμενου) υλικού, το οποίο πρέπει να εκρέει από την εγκοπή. Αυτό, δημιουργεί την πιο βασική σχέση της κοπής με laser, η οποία είναι:

Παραγόμενο λιωμένο / ατμοποιημένο / αποσυντιθέμενο υλικό=
Απορριπτόμενο λιωμένο / ατμοποιημένο / αποσυντιθέμενο υλικό.

Μια καλή κοπή με laser συνεπάγεται την προσαρμογή των παραμέτρων, για να εξασφαλίσει αυτήν την ισορροπία. Πολλές από τις παραμέτρους, ωστόσο, επηρεάζουν τόσο την δημιουργία όσο και την εκροή, ταυτόχρονα (πίνακας 3.III). Γι' αυτό, η προσαρμογή των παραμέτρων στην κοπή με laser δεν είναι συχνά απλή.

Αυτή η πολυπλοκότητα επηρεάζει ακόμη τη λύση των προβλημάτων, γιατί για πολλά από τα προβλήματα μπορεί να υπάρχει παραπάνω από μία αιτία.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.III

ΙΣΟΖΥΓΙΟ ΔΗΜΙΟΥΡΓΙΑΣ ΚΑΙ ΑΠΟΡΡΙΨΗΣ	
Δημιουργία λιωμένου υλικού	Απόρριψη λιωμένου υλικού
Ισχύς του laser	Ταχύτητα κοπής
Πυκνότητα ισχύος	Τύπος βοηθητικού αερίου
Πλάτος εγκοπής	Πίεση βοηθητικού αερίου
Τύπος βοηθητικού αερίου	Γεωμετρία ακροφυσίου
Ροή βοηθητικού αερίου	Πλάτος εγκοπής
Ταχύτητα κοπής	Τύπος υλικού
Τύπος υλικού	Πάχος υλικού
Πάχος υλικού	
Επιφάνεια υλικού	
Θερμοκρασία υλικού	

3.5 ΘΕΩΡΙΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

3.5.1 Βασικά στοιχεία

Ας ξαναθυμηθούμε ότι το laser είναι μια συσκευή, η οποία παράγει μια σχεδόν ευθύγραμμη ακτίνα φωτός. Το laser από μόνο του έχει εξαιρετικά περιορισμένες δυνατότητες. Ωστόσο, η ακτίνα κατευθύνεται, χειρίζεται και εστιάζεται προς το τεμάχιο και έχει μια σταθερότητα, η οποία είναι ιδανικά ταιριαστή για αυτόματες διαδικασίες.

3.5.2 Σύστημα παροχής ακτίνας

Το σύστημα παροχής ακτίνας περιλαμβάνει τέτοια στοιχεία τα οποία δέχονται την ακτίνα από το laser και την εμπεριέχουν κατευθείαν στο τεμάχιο, και την ρυθμίζουν σε μια χρήσιμη μορφή ενέργειας. Αυτό γενικά περιλαμβάνει:

1. καθρέφτες λυγισμού της ακτίνας, αλληλοσυνδεόμενους σωλήνες προστασίας της ακτίνας και ίσως να συμπεριλαμβάνουν έναν ευθυγραμμιστή για μετακινούμενη ακτίνα ή ένα σύστημα παροχής μακριάς ακτίνας για ένα σύστημα αντανάκλασης ή
2. ένα ζευγάρι μετρητών, ένα καλώδιο οπτικής ίνας και έναν ευθυγραμμιστή σε σύστημα παροχής με οπτική ίνα. Επιπρόσθετα και τα δύο συστήματα απαιτούν έναν μετρητή εστίασης με φακούς και ένα ακροφύσιο αερίου.

Οι μετρητές εστίασης παρέχουν περίβλημα των φακών εστίασης. Αυτές οι συναρμολογήσεις γενικά παρέχουν ένα μέσο ρύθμισης της θέσης εστίασης σχετικά με το τεμάχιο ενώ διατηρούμε ένα επιθυμητό κενό. Ακόμα, παρέχουν χαρακτηριστικά τις ρυθμίσεις που απαιτούνται για το κεντράρισμα της ακτίνας, διαμέσου του στομίου εκροής του ακροφυσίου. Οι μετρητές εστίασης του laser Nd:YAG χαρακτηριστικά χρησιμοποιούν φθηνά, αναλώσιμα και διαφανή καλύμματα των φακών ώστε να προστατεύουν τον φακό εστίασης από «πιτσιλίσματα» και καπνούς από την διαδικασία κοπής. Με τα laser CO₂, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα διάφανα καλύμματα των φακών, και τα υλικά

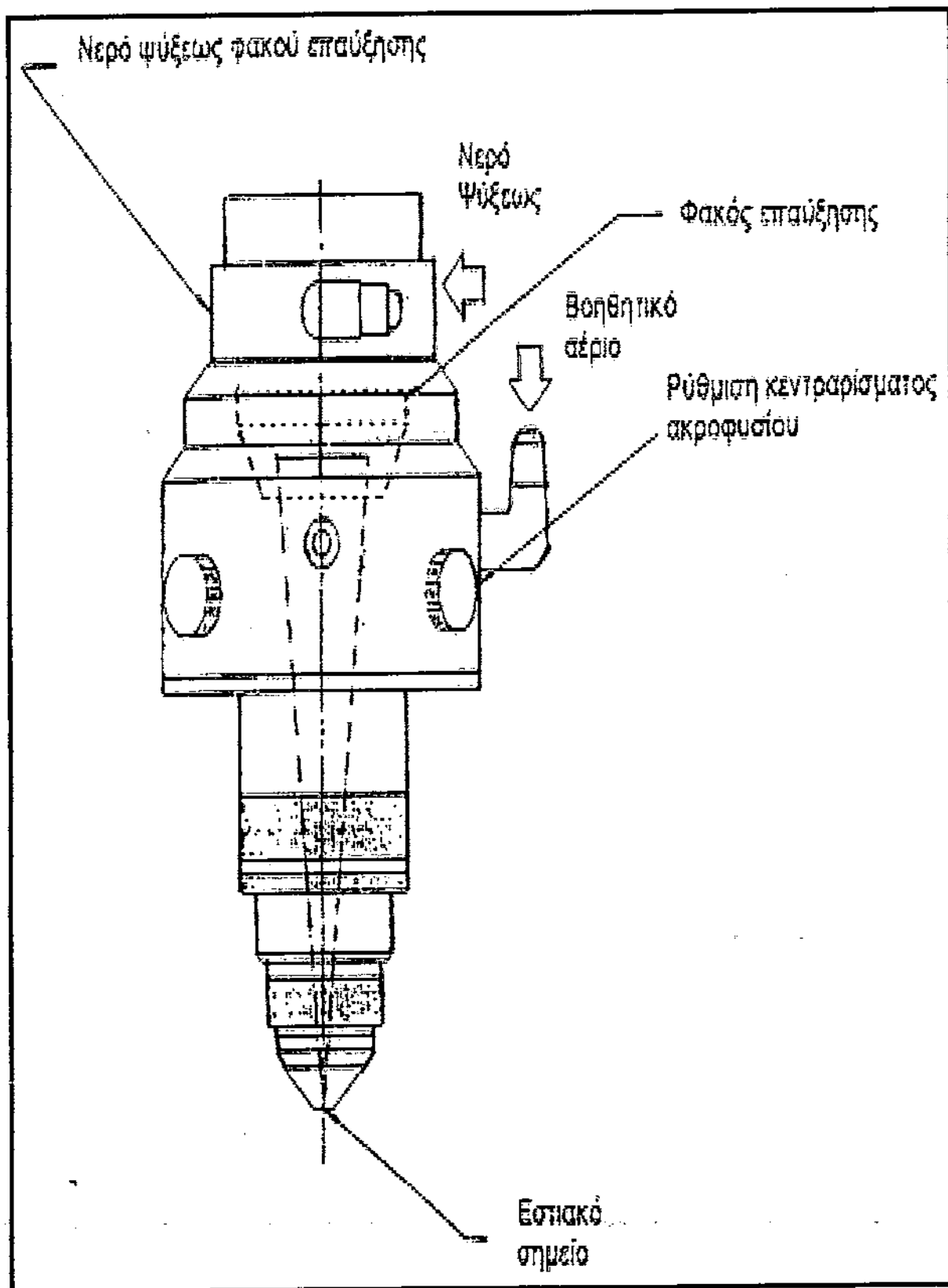
που μπορούν να χρησιμοποιηθούν κοστίζουν σχεδόν όσο και ο φακός εστίασης και γι' αυτό το λόγο γενικά δεν χρησιμοποιούνται. Οι αισθητήριες συσκευές ύψους μπορούν να ενσωματώνονται ώστε αυτόματα να διατηρείται η σωστή θέση εστίασης, του κυματισμού της επιφάνειας του τεμαχίου.

Οι συναρμολογήσεις του ακροφυσίου (σχήμα 3.9) γενικά ολοκληρώνονται κάτω από τους φακούς, με σκοπό να καθοδηγήσουν το επιθυμητό βοηθητικό αέριο στο σημείο κοπής. Ένας κατάλληλος τρόπος σχεδίασης του ακροφυσίου είναι πολύ σημαντικός στην διαδικασία κοπής. Μπορεί να μεγιστοποιήσει την ποιότητα κοπής με την ελάχιστη κατανάλωση αερίου.

Ενδεικτικά παρατίθεται πίνακας με χαρακτηριστικές επιδόσεις της ακτίνας laser κατά την κοπή διαφόρων μετάλλων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1.V

Υλικό	Τύπος laser	Ισχύς (W)	Ταχύτητα κοπής (m/min)	Βάθος αρμού (mm)	Πλάτος αρμού (mm)
Αλουμίνιο	Nd:YAG	200	0,23	1,3	0,6
Αλουμίνιο	Nd:YAG	200	0,78	2	0,25
Χαλκός	Nd:YAG	120	0,05	3	0,2
Χάλυβας	CO ₂	850	1,8	2,2	
Χάλυβας	CO ₂	1000	0,8	10	0,9
Χάλυβας	CO ₂	2500	0,85	10	0,9
Χάλυβας	CO ₂	4000	0,95	10	0,9
Ανοξ. Χάλυβας	CO ₂	850	2,6	9	
Ανοξ. Χάλυβας	Nd:YAG	1200	1,5	6	
Τιτάνιο	CO ₂	375	0,7	3	0,8



Σχήμα 3.9 Παράδειγμα ακροφυσίου εκροής αερίου

3.5.3 Σύστημα κίνησης

Τα laser πρέπει να θεωρούνται ως τμήματα ενός μεγαλύτερου συστήματος. Επιπρόσθετα στο laser περιέχονται τα στοιχεία του συστήματος παροχής της ακτίνας, η μέθοδος χειρισμού των υλικών και το σύστημα ελέγχου να επηρεάζει τη δράση του. Η σχετική κίνηση της εστιασμένης ακτίνας του laser με προσοχή στο υλικό μπορεί να πραγματοποιηθεί με την κίνηση της ακτίνας, την κίνηση του τεμαχίου ή με συνδυασμό των δύο. Αυτή η επιλογή είναι κάπως εξαρτώμενη από τη φύση του υλικού που θα κοπεί. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να μετακινήσουν το υλικό σχεδόν ελεύθερα, η συναρμολόγηση φακών σε θέση πάνω από ένα κινούμενο τραπέζι σε άξονες X-Y είναι μια αποτελεσματική και αξιόπιστη προσέγγιση.

Το εύρος των συστημάτων κίνησης κυμαίνεται από τα απλά όπου το υλικό κινείται ευθεία κάτω από μια σταθερή ακτίνα, έως τα πιο περίπλοκα με κίνηση σε πολλούς άξονες που χρησιμοποιούνται για περιμετρική κοπή σε 3 διαστάσεις. Τα συστήματα κοπής σε 2 άξονες ακολουθούν στις παρακάτω 3 διαμορφώσεις:

1. Σταθερή ακτίνα (όπου το σύστημα παροχής της ακτίνας παραμένει σταθερό).
2. Κινούμενη ακτίνα (όπου το τεμάχιο παραμένει σταθερό).
3. Υβριδικό σύστημα (όπου κινούνται ένας άξονας της ακτίνας και ένας της τράπεζας).

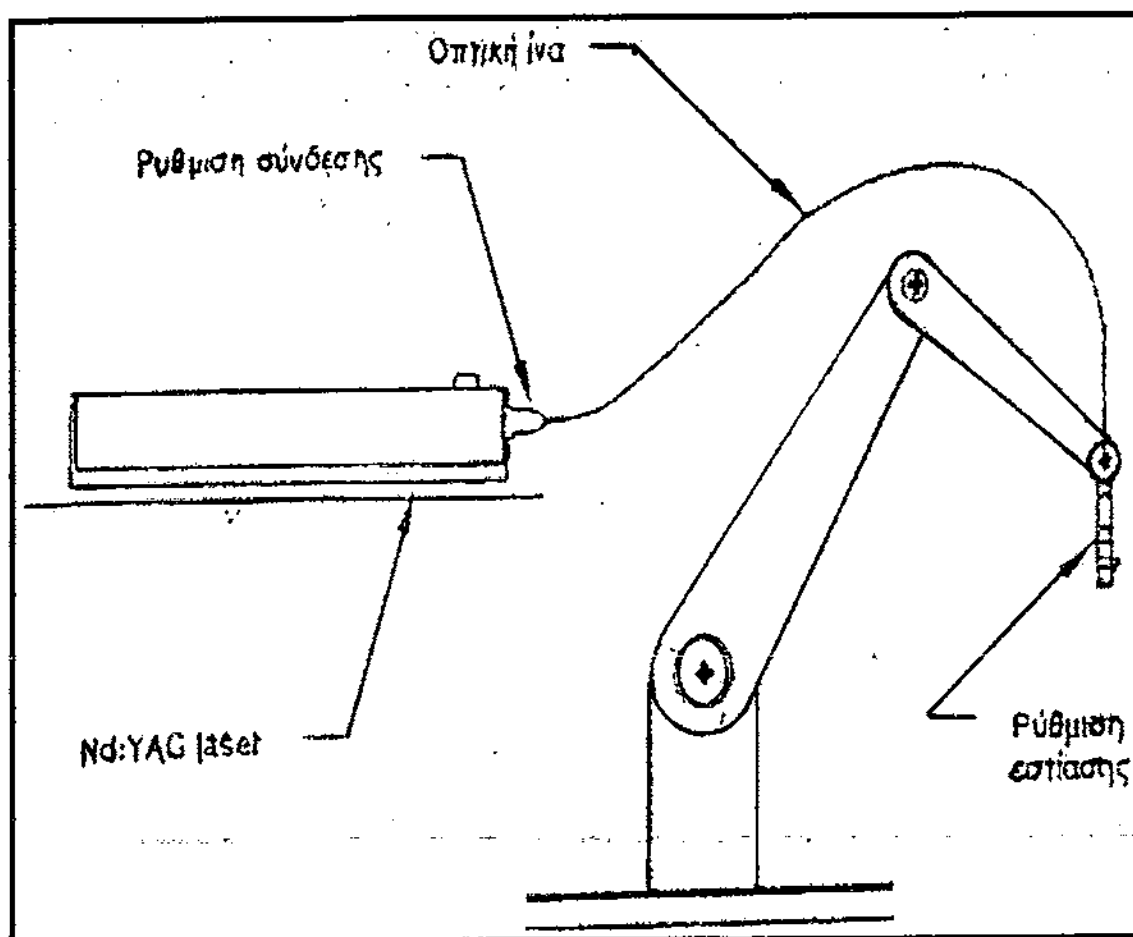
Όλες οι διαμορφώσεις έχουν πλεονεκτήματα και αδυναμίες τα οποία θα πρέπει σε κάθε περίπτωση να σταθμίζονται.

Στον πίνακα 3.V που ακολουθεί παρουσιάζονται μερικά από τα πιο σπουδαία χαρακτηριστικά για τα συστήματα κοπής σε 2 διαστάσεις.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.V

ΑΘΡΟΙΣΜΑ ΤΩΝ ΠΑΡΑΜΕΤΡΩΝ ΕΝΟΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΔΥΟ ΔΙΑΣΤΑΣΕΩΝ			
Παράμετροι που λαμβάνονται υπόψη κατά την σχεδίαση	Σταθερή καθορισμένοι ακτίνα (κίνηση σε x-y)	Υβριδική (x-τράπεζα, y-φακοί)	Κινούμενη ακτίνα (x-y φακοί)
Κόστος	Χαμηλότερο	Μέσο	Υψηλότερο
Χρόνος ευθυγράμμισης της ακτίνας	Μικρότερος	Μέσος	Μεγαλύτερος
Επηρεασμός της απόκλισης στην κοπή	Κανένας	Κάποιος	Πιο πολύς
Χρόνος χειρισμού των υλικών	Υψηλότερος	Υψηλότερος	Χαμηλότερος
Επηρεασμός της ακρίβειας και της ταχύτητας από την αδράνεια και τους κραδασμούς	Υψηλότερος	Μέσος	Χαμηλότερος
Περιορισμός βάρους του υλικού	Υψηλότερος	Μέσος	Χαμηλότερος
Αποτύπωμα	Μεγαλύτερο	Μέσο	Μικρότερο
Απαιτήση σύσφιξης	Υψηλότερη	Μέση	Χαμηλότερη

Τα συστήματα περιγραμματικής κοπής 3 διαστάσεων παρουσιάζουν διόρθωση λιγότερο από 10% της εγκαταστημένης βάσης. Τα συστήματα κοπής 3 διαστάσεων περιλαμβάνουν πρωταρχικά 2 τύπους των 5 (ή 6) αξόνων γερανοφόρων συστημάτων. Ο ένας τύπος έχει όλες τις κινήσεις για τα οπτικά, ενώ ο άλλος έχει μια τράπεζα η οποία κάνει όλες τις κινήσεις και επιτρέπει το ευκολότερο φόρτωμα και ξεφόρτωμα των τεμαχίων. Για κοπή 3 διαστάσεων χρησιμοποιούνται ακόμα και robot. Ωστόσο, πρακτικά είναι περιορισμένα στα laser τύπου Nd:YAG με σύστημα παροχής της ακτίνας με οπτική ίνα (σχήμα 3.10). Η σταθερότητα και η ακρίβεια των robots πρέπει να λαμβάνεται υπόψη μαζί με τα κύρια χαρακτηριστικά του (π.χ. την επίδραση του μήκους κύματος, στην αλληλεπίδραση των υλικών και την επίδραση των οπτικών ινών στο μέγεθος του σημείου και το πλάτος της εγκοπής).



Σχήμα 3.10 Robot με σύστημα παροχής ακτίνας με οπτική ίνα

Το laser είναι ικανό να παρέχει συνεχώς μια σταθερή ενέργεια φωτός η οποία κατευθύνεται στο τεμάχιο. Η αλληλεπίδραση της ακτίνας με το υλικό συμβαίνει μ' ένα αναμενόμενο ρυθμό. Για να επιτύχουμε σταθερή κοπή, πρέπει το εστιαζόμενο σημείο να μετακινείται μαλακά με σταθερή ταχύτητα παντού στο επιθυμητό περίγραμμα κοπής. Οποιαδήποτε επιτάχυνση ή επιβράδυνση κατά την διάρκεια της κοπής με σταθερή ενέργεια θα έχει ως επίδραση την ασυνεχή εγκοπή ή και την σκουριά. Γι' αυτό εάν δεν μπορεί να επιτευχθεί μια σταθερή ταχύτητα κοπής από το σύστημα κίνησης ή το σύστημα ελέγχου είναι απαραίτητη η μείωση της ισχύος ή του παλμού κατά την μετάπτωση των ταχυτήτων. Σ' αυτό το σημείο τίθεται το πιο σημαντικό πρόβλημα της διατήρησης της ολικής ακρίβειας του συστήματος κοπής. Αυτό αφορά τη δυναμική αντίδραση στην κίνηση του συστήματος τοποθέτησης.

Ανεπαρκής κωδικοποιητής καθώς και μηχανικές ελλείψεις όπως μικρή ροπή στρέψης, υπερβολική διαδρομή, υπερβολική αδράνεια και ανεπαρκής μηχανική σταθερότητα μπορούν να συνεισφέρουν στην ακανόνιστη κοπή. Τα συστήματα υψηλής ακρίβειας αξιοποιούν την συμβατότητα των μηχανικών εξαρτημάτων με τις προβλεπόμενες αλλαγές στην αδράνεια του συστήματος. Χρησιμοποιούν εξαρτήματα ακρίβειας όπως μικρής αδράνειας υψηλής στρεπτικής ροπής, σερβομηχανισμούς, υψηλής ανάλυσης κωδικοποιητές, μικρής μάζας πακτωμένα δομικά στοιχεία.

3.5.4 Συστήματα παροχής αερίου

Τα αέρια του laser (εάν απαιτούνται) και τα αέρια κοπής, πρέπει να παρέχονται στα ακροφύσια του laser και του αερίου προσεκτικά. Οι φιάλες αερίου και τα δοχεία υγρού αερίου είναι αξιοποιήσιμα. Μερικά από τα πολλά χαρακτηριστικά όταν καθορίζουμε ένα σύστημα παροχής αερίου είναι:

Χαρακτηριστικά παροχής αερίου για το laser

1. Κανονισμοί πίεσης.
2. Ρυθμίσεις πίεσης.
3. Ανιχνευτής πίεσης (π.χ. ανιχνεύει αν η πίεση είναι χαμηλή).

Χαρακτηριστικά παροχής βοηθητικού αερίου

1. Κανονισμοί και ρυθμίσεις πίεσης (π.χ. διαμέσου προγραμμάτων CNC και σερβοβαλβίδας).
2. Υψηλή πίεση και επιλογή εξαρτημάτων ροής (π.χ. σωληνοειδή, σωλήνες των φακών εστίασης).
3. Διευθυντήρες πίεσης (π.χ. ανιχνεύουν όταν η πίεση είναι χαμηλή).
4. Έλεγχος πίεσεως και ροής στην κεφαλή κοπής.
5. Χαρακτηριστικά του κύκλου ζωής των σωληνοειδών και ο ρυθμός κύκλου (π.χ. σφαιροβαλβίδες μπορεί να είναι απαραίτητες για απαιτήσεις υψηλών κύκλων).
6. Προμήθεια σωληνωτών υλικών, τα οποία μπορούν να αντέξουν την ανακλώμενη ισχύ, ειδικά όταν κόβουμε υλικά που έχουν υψηλή ανακλαστικότητα, όπως το αλουμίνιο.

3.5.5 Σύστημα εξαγωγής

Ένα σύστημα εξαγωγής για να μετακινεί το ατμοποιημένο ή αποσυντιθεμένο υλικό είναι απαιτούμενο. Όταν κόβουμε τοξικά υλικά όπως τα πλαστικά ή ο μόλυβδος (Pd), οι αναθυμιάσεις πρέπει να συλλέγονται και να φιλτράρονται και τα φίλτρα πρέπει να χειρίζονται με ασφάλεια και να διατίθενται σωστά. Ο πίνακας στοιχείων ασφάλειας του υλικού [Material Safety Data Sheet (MSDS)] μπορεί να φανεί χρήσιμος για την αναγνώριση των κινδύνων. Ομοσπονδιακοί, κρατικοί και τοπικοί νόμοι πρέπει να ερευνηθούν για κανονισμούς που αφορούν στον χειρισμό των αναθυμιάσεων. Επιπρόσθετα, οι χρήστες πρέπει να συνεργάζονται στενά με τους κατασκευαστές των συστημάτων κοπής με laser για τον σχεδιασμό ενός κατάλληλου συστήματος μετακίνησης των αναθυμιάσεων για όλα τα υλικά που σκοπεύουμε να κόψουμε με το laser.

3.5.6 Ψυγείο

Τα laser και πολλά από τα εξαρτήματα των συστημάτων παροχής της ακτίνας απαιτούν ψύξη με νερό για να διατηρήσουν την σταθερότητα της λειτουργίας. Η χρήση του νερού της πόλης έχει απαγορευτικό κόστος, γι' αυτό ένας βιομηχανικός ψύκτης νερού είναι απαραίτητος. Ο ψύκτης μπορεί να είναι είτε υδρόψυκτος (χρησιμοποιώντας το νερό της πόλης ή έναν πύργο ψύξης) είτε αερόψυκτος (χρησιμοποιώντας αναπόσπαστους ανεμιστήρες).

Το laser και το σύστημα παροχής της ακτίνας ίσως απαιτούν νερό ψύξης σε δύο θερμοκρασίες ώστε να αποφύγουμε την συμπύκνωση της υγρασίας σε ευαίσθητα εξαρτήματα, σε κάθε περίπτωση μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε ένας ψύκτης διπλού κυκλώματος, είτε ένας ψύκτης και ένας βοηθητικός.

Μερικά από τα χαρακτηριστικά για κατάλληλη επιλογή και εγκατάσταση ψύκτη αναφέρονται παρακάτω.

3.5.7 Ροή ψυχρού νερού

Ο ρυθμός ροής ισούται ή είναι μεγαλύτερος από τον ελάχιστο συνολικό ρυθμό ροής που έχει προδιαγραφεί όπως το laser να ήταν μόνο του. Αν τα εξαρτήματα προς ψύξη (εξαρτήματα ρύθμισης της εστίασης, εξαρτήματα της κατεύθυνσης της ακτίνας) είναι ενοποιημένα στο σύστημα, θα απαιτείται ρυθμός ροής μεγαλύτερος από τον συνολικό ελάχιστο ρυθμό που έχει προδιαγραφεί για επαρκή ψύξη. Εγκαθιστώντας έναν μετρητή στην γραμμή παροχής του ψύκτη θα βοηθηθεί η αναγνώριση τυχόν απαιτήσεων συντήρησης (δηλ. αντικατάσταση φίλτρων, καθαρισμός ψυγείου κ.α.).

Σημειώνεται ότι τα πρόσθετα του νερού μπορεί να αυξήσουν το ιξώδες και έτσι να αλλάζουν τις απαιτήσεις για την αντλία του ψύκτη. Επιπρόσθετα, τα χειροκίνητα συστήματα laser επιφέρουν μείωση της ροής του νερού στο σύστημα. Αυτόματα συστήματα by-pass (τα οποία ανοίγουν μόνο κατά τη διάρκεια της τρέχουσας κατάστασης) είναι προτιμότερα αλλά είναι πιο ακριβά.

3.5.8 Πίεση παροχής της αντλίας

Η πίεση παροχής (όχι στατική) ισούται ή είναι μεγαλύτερη από το άθροισμα της μέγιστης ολικής πτώσης πίεσης κατά μήκος του laser (ΔP laser συν την πτώση πίεσης από τον ψύκτη ως την είσοδο του laser (ΔP γραμμής παροχής) συν την πτώση πίεσης από την έξοδο του laser ως τον ψύκτη (ΔP γραμμή επιστροφής), και πρέπει να είναι διαθέσιμη στον ψύκτη [ΔP παροχής] να μην ξεπερνά την μέγιστη πίεση παροχής που επιτρέπεται στην είσοδο του laser (P μέγιστη laser)]. Οι συμβουλές του κατασκευαστή του ψύκτη για την πτώση της πίεσης στη γραμμή παροχής (συμπεριλαμβανομένων και των φίλτρων) και την πτώση πίεσης στη γραμμή επιστροφής είναι απαραίτητες, ώστε να βεβαιώνουν την επάρκεια της πίεσης παροχής του ψύκτη. Σημειώνουμε ότι η πτώση πίεσης στις γραμμές παροχής και επιστροφής εξαρτώνται από πολλούς παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι:

1. Ο ρυθμός ροής.
2. Τα πρόσθετα του νερού.
3. Τα υλικά των γραμμών, η εσωτερική διάμετρος και το μήκος τους.
4. Η ποσότητα και η γεωμετρία όλων των εξαρτημάτων (γωνίες, κ.τ.λ.)
5. Η ποσότητα των φίλτρων και το μέγεθός τους.
6. Η ευθύτητα του σωλήνα (εάν χρησιμοποιείται).

$$P \text{ παροχής} \geq \Delta P \text{ laser} + \Delta P \text{ γραμμή παροχής} + \Delta P \text{ γραμμή επιστροφής} < P \text{ μέγιστη laser}$$

3.5.9 Έλεγχος Θερμοκρασίας

Σημειώνουμε ότι μια αύξηση στην θερμοκρασία το νερού που παρέχεται στο laser επιφέρει μια μείωση στην μέγιστη ισχύ εξόδου του laser. Γι' αυτό είναι σημαντικό να λειτουργεί στην ονομαστική θερμοκρασία νερού, και ενδιάμεσα στην σταθερή θερμοκρασία που έχει προδιαγραφεί για το laser. Η σταθερότητα της θερμοκρασίας πρέπει να διατηρείται ανεξάρτητα από το θερμικό φορτίο του laser και των τμημάτων. Αυτή μπορεί να βρίσκεται μεταξύ 10-100% από τις μέγιστες απαιτήσεις ψύξης. Η ρύθμιση της θερμοκρασίας ελέγχου του ψύκτη (και του κυκλώματος για μοντέλα που απαιτείται διπλό κύκλωμα ψύξης) προτείνεται ώστε να αποφεύγουμε λειτουργία σε συνθήκες κάτω από το σημείο δρόσου.

3.5.10 Ποιότητα του νερού

Χαρακτηριστικά, ένας καθαρός κρουνός μπορεί να χρησιμοποιείται για να γεμίζει το ψύκτη (παρέχοντας την ποιότητα του νερού που προδιαγράφεται για κάθε laser). Μερικές φορές προδιαγράφεται αποσταγμένο ή απιονισμένο νερό. Στην γραμμή παροχής πρέπει τα φίλτρα να μειώνουν τα μολυσματικά στοιχεία (το μέγεθος των φίλτρων δίνεται για κάθε laser). Τα φίλτρα και τα σουρωτήρια πρέπει να καθαρίζονται και να αντικαθίστανται κάθε τόσο ώστε να αποφεύγεται ο περιορισμός της ροής. Προτείνεται μια θυρίδα όρασης για επιβεβαίωση της ποιότητας του νερού. Το σύστημα του νερού πρέπει να αδειάζει και να ξαναγεμίζει τακτικά.

3.5.11 Εγκατάσταση σωληνώσεων

Μη διαβρωτικά υλικά (π.χ. CPVC, PVC, χαλκός και ανοξείδωτος χάλυβας) πρέπει να χρησιμοποιούνται για όλες τις επιφάνειες που βρέχονται μέσα στον ψύκτη και στα εξαρτήματα του δικτύου σωληνώσεων. Δεν χρησιμοποιούνται ανθρακούχος χάλυβας, ή γαλβανισμένοι σωλήνες εξαιτίας του υψηλού ενδεχομένου σκουριάς και διάβρωσης η οποία θα επιφέρει τυχόν ζημιές στα εξαρτήματα του laser. Ελέγχονται οι απαιτήσεις των σωληνώσεων μεταξύ του laser και του ψύκτη με τον κατασκευαστή του ψύκτη ώστε να βεβαιώνεται η ελάχιστη πτώση πίεσης και ο κατάλληλος ρυθμός ροής. Λαμβάνεται υπόψη ότι καθώς η απόσταση μεταξύ του laser και του ψύκτη αυξάνει, και καθώς ο ρυθμός παροχής αυξάνει, η εσωτερική διάμετρος των σωληνώσεων που ενώνουν το laser με τον ψύκτη πρέπει επίσης να αυξάνουν.

Σημείωση: Για laser CO₂ εάν χρησιμοποιούνται σταθερές σωληνώσεις (π.χ. PVC ή χαλκός) απαιτείται μια ευέλικτη σύνδεση ώστε το laser να μπορεί να κινηθεί για να γίνει η ευθυγράμμιση της ακτίνας.

3.5.12 Εξαρτήματα ψύξεως

Γενικά, τα υδρόψυκτα εξαρτήματα του συστήματος παροχής της ακτίνας ψύχονται διαμέσου του βιομηχανικού ψυγείου που χρησιμοποιείται για την ψύξη του laser. Τα εξαρτήματα θα πρέπει να συνδέονται παράλληλα με το κύριο κύκλωμα ψύξης σε μονού κυκλώματος συστήματα ψύξης και να συνδέονται παράλληλα με το ανοικτό κύκλωμα ψύξης όταν έχουμε διπλά κυκλώματα ψύξης. Για συστήματα που απαιτούν ψύξη για πολλά εξαρτήματα και για εξαρτήματα που απαντούν διαφορετικούς ρυθμούς παροχής ίσως είναι απαραίτητες αρκετές διακλαδώσεις για να επιτευχθούν οι απαιτούμενοι ρυθμοί παροχής. Ένας μετρητής παροχής και ένας διακόπτης θα πρέπει να εγκαθίστανται σε κάθε παράλληλο κύκλωμα έτσι ώστε ο ρυθμός ροής να μπορεί να ελέγχεται τόσο οπτικά, όσα και μέσω του ελεγκτή του συστήματος. Ακόμα, το υλικό για τον εύκαμπτο σωλήνα που βρίσκεται κοντά στην κεφαλή κοπής θα πρέπει να εκλέγεται ώστε να αντέχει την αντανακλώμενη ισχύ, ειδικά όταν κόβουμε υλικά με υψηλή αντανακλασιμότητα όπως το αλουμίνιο (π.χ. σωλήνα με πλεκτή επένδυση ανοξειδωτού χάλυβα).

3.6 ΕΛΕΓΧΟΣ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ

Όλο το σύστημα κοπής πρέπει να βρίσκεται από την καθοδήγηση ενός κεντρικού ελεγκτή ικανού να κινεί το laser σε συντονισμό με το σύστημα κίνησης. Είναι ουσιώδες ο ελεγκτής να έχει επαρκώς υψηλό ρυθμό δειγματοληψίας, αποτελεσματικά μοιρασμένο με τα κωδικοποιημένα σήματα, έτσι ώστε να διατηρεί ακρίβεια και ομαλότητα στην κίνηση. Για την επεξεργασία πληροφοριών σε υψηλές ταχύτητες για ομαλή συνεχή κίνηση, ο ελεγκτής θα πρέπει να μπορεί να προ-διαβάσει εμπόδια ή πληροφορίες του προγράμματος ώστε να προσδιορίσει την απαιτούμενη επιτάχυνση ώστε να διατηρηθεί σταθερή ταχύτητα κατά την διάρκεια αλλαγής της κατεύθυνσης.

3.6.1 Δυναμικός έλεγχος ισχύος

Όταν συμβεί να μην μπορεί να διατηρηθεί σταθερή η ταχύτητα σ' όλη τη διάρκεια της κοπής (π.χ. κατά το περίγραμμα της κοφτερής ακτίνας), μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα σύστημα που εμπλέκει ένα κλιμακωτό σύστημα αλληλεπίδρασης. Η τεχνική αυτή αφήνει το προγραμματιστή ελεύθερο να θέσει το ρυθμό παραγωγής απόλυτα βάση της μηχανής και της ζητούμενης ακρίβειας για το προς κοπή τεμάχιο.

Για πολυποικίλες διαδικασίες τα συστήματα κοπής τείνουν να χρησιμοποιούν CNC. Αυτές οι συσκευές παρέχουν ευελιξία για έλεγχο σε πολλούς άξονες. Τα χαρακτηριστικά στοιχεία του υπολογιστή που βοηθούν γενικά τον προγραμματισμό περιλαμβάνουν οθόνη CRT, πληκτρολόγιο, χειροκίνητο έλεγχο των αξόνων και ένα πλήθος από συσκευές εισόδου / εξόδου όπως δισκέτες, συνδέσεις DNC και άλλα συστήματα ενδοσύνδεσης. Ενώ τα χαρακτηριστικά του προγραμματισμού τείνουν να διαχωρίζουν τον έναν ελεγκτή από τον άλλον, τα περισσότερα παρεχόμενα χαρακτηριστικά περιλαμβάνουν: γραμμική και κυκλική παρεμβολή, προγραμματισμό σε ίντσες ή μετρά, απόλυτη και προσαυξημένη διαστασιολόγηση, αξονική περιστροφή, υπορουτίνες, συστήματα υπολογισμού και δυνατότητες εισαγωγής επεξεργασίας και διαγραφής αποθηκευμένων τμημάτων προγραμμάτων.

Αυτή είναι μια ισχυρή τάση ελέγχου σε πραγματικό χρόνο όλων των χαρακτηριστικών παραμέτρων της κοπής από τμήματα προγραμμάτων ενός CNC. Αυτά περιλαμβάνουν αλλά δεν είναι περιορισμός τα :

1. ισχύ του laser,
2. σχέση ισχύος, ρυθμού παραγωγής (π.χ. δυναμικός έλεγχος ισχύος),
3. τύπος αερίου κοπής,
4. πίεση αερίου κοπής. Αυτό αφήνει μόνο την εστιακή απόσταση, την θέση εστίασης, την απόσταση και την διάμετρο του ακροφυσίου να οριστούν χειροκίνητα.

3.6.2 Πόλωση

Όπως προείπαμε, το φως του laser περιλαμβάνεται από ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Αυτό σημαίνει ότι η ακτίνα του laser κατέχει ηλεκτρικά και μαγνητικά συστατικά (π.χ. διανύσματα) που είναι σε ορθές γωνίες το ένα με το άλλο και είναι κάθετα στην κατεύθυνση της ακτίνας του laser.

Όσο η κατεύθυνση της ακτίνας σχηματίζει γωνία με αυτήν της πόλωσης, εμφανίζεται μια μείωση της απορρόφησης ενέργειας. Επιπρόσθετα, η ταχύτητα κοπής μειώνεται, οι εγκοπές γίνονται πιο πλατιές, και οι ακμές τείνουν να γίνουν τραχύτερες και όχι ευθείες με την επιφάνεια του υλικού.

Όταν η κατεύθυνση της ακτίνας γίνει κάθετη μ' αυτήν της πόλωσης οι ακμές δεν είναι πλέον κεκλιμένες αλλά η ταχύτητα μειώνεται ακόμα πιο πολύ, οι εγκοπές γίνονται πιο πλατιές και οι ποιότητα κοπής χειροτερεύει.

Ενώ στη θεωρία είναι επιθυμητό, δεν έχει βρεθεί ακόμα εφικτός τρόπος να διατηρήσουμε τον προσανατολισμό της πόλωσης παράλληλα με την κατεύθυνση της ακτίνας για πολύπλοκες γεωμετρίες. Προτιμότερη η κυκλική πόλωση της ακτίνας η οποία έχει επιτυχώς καταφέρει να αναιρέσει τα μη ευνοϊκά χαρακτηριστικά της γραμμικά πολωμένης ακτίνας, και γι αυτό επιτρέπουν στον χρήστη να εξασφαλίσει σταθερά υψηλή ποιότητα αδιαφορώντας για την κατεύθυνση της κοπής. Χαρακτηριστικά, τα laser CO₂ εκπέμπουν γραμμικά πολωμένο φως, το οποίο πρέπει να μετατραπεί σε κυκλικά πολωμένο φως

Τα laser Nd:YAG παράγουν υψηλότερους τρόπους λειτουργίας με τυχαίες πολώσεις, όπου στις περισσότερες περιπτώσεις δεν απαιτείται κυκλική πόλωση, ειδικά λόγω του υψηλού κόστους που απαιτείται για να παραχθεί η κυκλική πόλωση.

3.7 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΠΑΡΟΧΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΓΙΑ ΑΝΑΚΛΩΜΕΝΗ Η ΜΕΤΑΔΙΔΟΜΕΝΗ ΑΚΤΙΝΑ

3.7.1 Ευθυγράμμιση ακτίνας

Η αλλαγή κατεύθυνσης της ακτίνας γίνεται μέσω καθρεφτών σε 45° γωνία οι οποίοι επαναευθυγραμμίζουν την μη εστιασμένη ακτίνα σε ορθή γωνία με τον προσπίπτων άξονα. Χαρακτηριστικά χρησιμοποιούνται από 1 έως 4 τέτοιοι καθρέφτες, ο καθένας προσθέτοντας περισσότερη ελευθερία ρύθμισης με κάποια απώλεια ισχύος και με αύξηση του χρόνου ευθυγράμμισης. Ο τελευταίος καθρέφτης χαρακτηριστικά προβάλλει την ακτίνα κατακόρυφα προς τα κάτω μέσω των εξαρτημάτων εστίασης. Ο κάθετος προσανατολισμός απλοποιεί ακόμα την ανάλυση του λιωμένου υλικού που εκβάλλει μέσα από την κοπή.

Λανθασμένη ευθυγράμμιση της ακτίνας επιφέρει μείωση της ποιότητας κοπής.

Υπάρχουν δύο βασικά αποτελέσματα της λανθασμένης ευθυγράμμισης που μειώνουν την ποιότητα κοπής. Το πρώτο είναι ότι, εάν η ευθυγράμμιση της ακτίνας είναι τέτοια ώστε η ακτίνα να εμποδίζεται ή ανακόπτεται, η ισχύς στο σημείο κοπής θα μειώνεται και γι' αυτό υπάρχει η πιθανότητα τα εξαρτήματα παροχής της ακτίνας να πάθουν ζημιά από την μη ευθυγραμμισμένη ισχύ του laser.

Η ακτίνα μπορεί να εμποδιστεί από τους καθρέφτες αλλαγής και τα στοιχεία εστίασης ή από το ακροφύσιο του βοηθητικού αερίου. Απώλεια ισχύος λόγω ανακοπής γενικά επιδρά στην μείωση της ταχύτητας κοπής. Λανθασμένη ευθυγράμμιση και ανακοπή στο στόμιο εκροής του ακροφυσίου μπορεί να παράγει επιπρόσθετα συνεχή σκουριά ή κοπή με γωνία. Δεύτερον, με σκοπό την ελαχιστοποίηση του μεγέθους του σημείου η ευθυγράμμιση της ακτίνας μέσω των φακών εστίασης απαιτεί ότι η ακτίνα θα είναι παράλληλη με τον οπτικό άξονα. Εάν αυτές οι συνθήκες δεν συντρέχουν το αποτέλεσμα είναι ένα παραμορφωμένο ή ένα επιμηκείμενο σημείο εστίασης το οποίο μειώνει την πυκνότητα ισχύος στο τεμάχιο. Ένα αυξημένο μέγεθος σημείου, αυξάνει το

πλάτος της εγκοπής και την σκουριά, και μειώνει την ταχύτητα κοπής. Ακόμα μπορεί να εμφανιστεί κοπή με κλίση.

Για μετακινούμενα συστήματα ακτίνας όπου η ακτίνα δεν είναι παράλληλη με τον οπτικό άξονα του συστήματος παροχής της ακτίνας (ειδικά στον φακό εστίασης), είναι δύσκολο, εάν όχι ακατόρθωτο, να έχουμε την εστιασμένη ακτίνα κεντραρισμένη διαμέσου του στομίου εκροής του ακροφυσίου σε όλες τις θέσεις της κεφαλής κοπής μέσα στον φάκελο εργασίας του συστήματος παροχής της ακτίνας.

3.7.2 Σταθερότητα παροχής της ακτίνας

Άλλος ένας παράγοντας που επηρεάζει την ευθυγράμμιση της ακτίνας είναι η σταθερότητα των δομών υποστήριξης του laser και του συστήματος παροχής της ακτίνας. Εάν το laser και το σύστημα παροχής της ακτίνας δεν βρίσκονται πάνω σε ένα στέρεο, σταθερό δάπεδο ή σε μια μόνιμη στερεή υπερδομή, μπορεί να εμφανιστεί μη ευθυγράμμιση της ακτίνας. Πρέπει να αποφεύγονται οι διακλαδώσεις κατά μήκος των ενώσεων επέκτασης (μεταξύ της γεννήτριας του laser και του συστήματος) καθώς επίσης και τοποθέτηση των συστημάτων σε περιοχές με σημαντικές δονήσεις. Χαρακτηριστικά εάν τοποθετούμε συστήματα σε άμεση εγγύτητα με πηγές δόνησης (π.χ. κοντά σε περιοχή πίεσης), η δόνηση επάγεται μη ευθυγράμμιση η οποία επηρεάζει δυσμενώς την διαδικασία και την ποιότητα. Αδυναμία να ακολουθήσουμε αυτές τις απαιτήσεις μπορεί να επιφέρει είτε «φτωχή» ευθυγράμμιση στον φακό εστίασης είτε διακοπή.

3.7.3 Καθαρισμός του συστήματος παροχής

Τα συστήματα παροχής της ακτίνας θα πρέπει να είναι καλά σφραγισμένα. Σωλήνες αλουμινίου και άλλα μεταλλικά καλύμματα ασφαλείας χρησιμοποιούνται γενικά γι' αυτόν τον σκοπό. Αυτό ελαχιστοποιεί το ποσό της μόλυνσης που μπορεί να εισέλθει στα οπτικά εξαρτήματα, ενώ ταυτόχρονα παρέχει κάλυμμα ασφαλείας για την αόρατη ακτίνα του. Επιπρόσθετα σ' αυτό, το σύστημα παροχής της ακτίνας πρέπει να καθαρίζεται με ένα εσωτερικό αέριο (όπως το άζωτο) ή καθαρός ξηραμένος αέρας. Αυτό διατηρεί μια θετική πίεση μέσα στο σφραγισμένο σύστημα η οποία μειώνει την είσοδο της μόλυνσης του περιβάλλοντος χώρου (σταγονιδίου λαδιού, εξατμισθέντος νερού, καπνού, σκόνης, αναθυμιάσεων μέσα στο σύστημα παροχής της ακτίνας).

Ο καθαρισμός βοηθάει στο να κρατιούνται τα εξαρτήματα του συστήματος καθαρά και στεγνά πριν και κατά τη λειτουργία. Η μόλυνση από ξένα σώματα και σωματίδια των οπτικών εξαρτημάτων, έχει δύο βασικά επιζήμια αποτελέσματα. **Πρώτον**, κάθε σωματίδιο (σκόνη ή λάδι για παράδειγμα) που μολύνει κάποια από τις επιφάνειες των οπτικών, απορροφά ισχύ από την ακτίνα του laser. **Δεύτερον**, καθώς η επιφάνεια θα απορροφά ισχύ θα παραμορφώνεται εξαιτίας αυτού του θερμικού φορτίου. Οι φακοί εστίασης επίσης είναι ιδιαίτερα ευαίσθητοι στην θερμική φόρτιση επειδή είναι γενικά μικρότεροι (λιγότερη θερμική μάζα) από τους φακούς εξόδου και τους καθρέφτες παροχής της ακτίνας και έχουν μεγάλη ευαισθησία στην μόλυνση (ιδιαίτερα από την διαδικασία κοπής).

3.7.4 Σημείο δρόσου

Εάν η υγρασία είναι παρούσα πάνω στις οπτικές επιφάνειες, η βίαιη ατμοποίηση του νερού καθώς η ακτίνα προσκρούει πάνω μπορεί να προκαλέσει επιφανειακές ζημιές. Αυτή η κατάσταση είναι χαρακτηριστικά συνδεδεμένη με τα υδρόψυκτα εξαρτήματα που ψύχονται σε θερμοκρασίες κάτω του σημείου δρόσου. Όταν λειτουργεί κάτω από αυτές τις συνθήκες, το νερό να συμπυκνώνεται πάνω στην επιφάνεια που είναι εκτεθειμένη σε τέτοιο περιβάλλον. Για να αποφύγουμε αυτήν την κατάσταση θα πρέπει:

- 1) ο καθαρισμός του συστήματος να είναι καλός και μικρός και να εμποδίζεται η είσοδος υγρασίας στο σύστημα παροχής και
- 2) τα υδρόψυκτα εξαρτήματα του συστήματος που είναι εκτεθειμένα στην ατμόσφαιρα (όπως η πλευρά προς τα ακροφύσια του φακού εστίασης), θα πρέπει να ψύχονται σε θερμοκρασίες πάνω από το σημείο δρόσου.

3.8 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΤΟΥ ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΜΕ ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ

3.8.1 Τύπος ίνας και διαμέτρου σημείου

Προς το παρόν υπάρχουν δύο βασικοί τύποι ινών που χρησιμοποιούνται για υψηλής ισχύος μετάδοση στα laser Nd:YAG. Η πρώτη (step-index ίνα) περιλαμβάνει ένα υλικό του πυρήνα (χαρακτηριστικά χαλαζία) και ένα εξωτερικό υλικό.

Η πραγματική ποιότητα της εξερχόμενης ακτίνας εξαρτάται από αρκετούς παράγοντες όπως:

1. Το μήκος της οπτικής ίνας.
2. Τον αριθμό των κόμβων της ίνας.
3. Την διάμετρο του πυρήνα της οπτικής ίνας (μικρότερες διαμέτροι πυρήνα διατηρούν την ποιότητα της εισερχόμενης ακτίνας καλύτερα από μεγάλες διαμέτρους.

Η δεύτερη οπτική ίνα (granded index ίνα) περιλαμβάνει έναν πυρήνα και αρκετά στρώματα επένδυσης. Οι εσωτερικές αντανάκλασεις συμβαίνουν με τέτοιο τρόπο ώστε η ποιότητα της εισερχόμενης ακτίνας που ευθυγραμμίζεται σωστά μέσα στην ίνα διατηρείται δύσκολα. Αυτές οι ίνες χρησιμοποιούνται σπάνια σε laser υψηλών ισχύων γιατί:

- 1) Είναι ακριβές στην κατασκευή.
- 2) Είναι πολύ ευαίσθητες στην ευθυγράμμιση της εισερχόμενης ακτίνας στην ίνα.
- 3) Εξαιτίας του ότι τα laser Nd:YAG έχουν χαρακτηριστικά πολύ μικρή ποιότητα ακτίνας, αυτές οι ίνες επιφέρουν μονάχα οριακές βελτιώσεις της διαμέτρου και του βάθους εστίασης σε σύγκριση με τις προηγούμενες.

3.8.2 Ευθυγράμμιση

Λανθασμένη ευθυγράμμιση εισερχόμενης εστιασμένης ακτίνας μέσα στην οπτική ίνα μειώνει την ισχύ που μεταδίδεται διαμέσου της ίνας και γι' αυτό το λόγο μειώνει την ισχύ στον ρυθμιστή εστίασης. Ακόμα, η μη ευθυγράμμιση στην είσοδο της ίνας μπορεί να προκαλέσει ζημιά και σε πολλές περιπτώσεις ζημιές στην οπτική ίνα μη επισκευάσιμες. Σχετιζόμενη με την ευθυγράμμιση, σημειώνουμε ακόμα ότι η εστιαζόμενη ακτίνα στο τεμάχιο μπορεί να εμποδιστεί στο ρυθμιστή εστίασης και στο ακροφύσιο του βοηθητικού αερίου ή στο στόμιο εκροής του ακροφυσίου.

3.8.3 Σταθερότητα συστήματος

Όπως και στα συστήματα παροχής με μετάδοση ή με αντανάκλαση, η σταθερότητα της δομής υποστήριξης για το laser Nd:YAG και τους σταθμούς της εργασίας επηρεάζει την ποιότητα κοπής. Εάν το laser βρίσκεται σε μια περιοχή με έντονες δονήσεις (π.χ. κοντά σε μια περιοχή πίεσης) μπορεί να συμβαίνουν τυχαίες μη ευθυγραμμίσεις στην εισερχόμενη ακτίνα στην οπτική ίνα. Παρομοίως, η δόνηση επιφέρει κίνηση του ρυθμιστή εστίασης και των εξαρτημάτων της κοπής και μπορεί να προκαλέσει μια κυκλική εκτός εστίασης κατάσταση, η οποία αλλάζει το μέγεθος του σημείου εστίασης στο τεμάχιο και επίσης επηρεάζει την ποιότητα κοπής. Αυτό είναι ιδιαίτερα κρίσιμο όταν αξιοποιούμε ένα ρομπότ για τον χειρισμό είτε τον ρυθμιστή εστίασης είτε του κομματιού που θα κόψουμε. Η σταθερότητα του (σε όλες τις κατευθύνσεις και με όλες τις αναμενόμενες ταχύτητες, επιταχύνσεις και επιβραδύνσεις) πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη.

3.8.4 Διαμορφώσεις οπτικής ίνας

Ένα από τα πολλά πλεονεκτήματα που προσφέρει η παροχή ακτίνας με οπτική ίνα είναι η δυνατότητα να μοιράζει την ακτίνα μεταξύ πολλών στοιχείων (θέσεων). Με τα συστήματα παροχής με μετάδοση ή με αντανάκλαση μόνο η λειτουργία αλλαγής τροχιάς είναι πρακτική, και μόνο μεταξύ δυο σταθμών. Ο χειρισμός της ευθυγράμμισης της ακτίνας καθώς και της απόκλισης είναι δυο βασικοί περιορισμοί. Ωστόσο, μ' ένα σύστημα παροχής με οπτική ίνα, το μήκος αυτής δεν έχει ουσιαστικά καμία επίδραση στην μεταδιδόμενη ισχύ ή στην ποιότητα της εξερχόμενης ακτίνας.

3.9 ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΕΠΙΔΡΑΣΕΩΝ ΤΗΣ ΠΑΡΟΧΗΣ ΤΗΣ ΑΚΤΙΝΑΣ ΣΤΗΝ ΕΝΕΡΓΕΙΑ ΚΟΠΗΣ

3.9.1 Ενέργεια κοπής

1. Η ενέργεια κοπής (μαζί με την αποδοτικότητα) προσδιορίζει το μέγιστο πάχος κοπής και είναι ευθέως ανάλογη στην πυκνότητα ισχύος και αντιστρόφως ανάλογη στην ταχύτητα κοπής.
2. Υπάρχει πάντα μια συναλλαγή μεταξύ της διαμέτρου του σημείου και του βάθους εστίασης με την εστιακή απόσταση.
3. Η πυκνότητα ισχύος μειώνεται όταν:
 - α) Η ισχύς μειώνεται μέσω των:
 1. Αποκοπή της ακτίνας εξαιτίας της «φτωχής» ευθυγράμμισης ή λόγω εγκατάστασης σε μ σταθερή θέση.
 2. Αποκοπή της ακτίνας εξαιτίας θερμικού σφάλματος (για συστήματα παροχής με μετάδοση ή αντανάκλαση).
 3. Μόλυνση των φακών παροχής της ακτίνας ή χαλασμένων φακών.
 4. «Πιτσιλίσματα» πάνω στον φακό εστίασης.
 5. Όταν η θερμική παραμόρφωση των ράβδων του Nd:YAG ή των φακών οδηγεί σε υπερπλήρωση του πυρήνα της οπτικής ίνας (για συστήματα οπτικών ινών).
 - β) Η διάμετρος του σημείου αυξάνει μέσω των:
 1. Λανθασμένης εστίασης.
 2. Ευθυγράμμισης που δεν είναι ομοαξονική στον φακό εστίασης (για τα συστήματα παροχής με μετάδοση ή αντανάκλαση).
 3. Μειωμένου μεγέθους πρωτογενούς ακτίνας, λόγω θερμικής εστίασης των φακών εξόδου ή της μετακινούμενης ακτίνας εξαιτίας των χαρακτηριστικών μετάδοσης της ακτίνας (συστήματα μετάδοσης ή αντανάκλασης).

4. Εκτροπής της θέσης του τεμαχίου έξω από την εστίαση λόγω της ανοχής του ή της επαναληψιμότητας ή σταθερότητας.
5. Θερμικής μετακίνησης του σημείου εστίασης εξαιτίας της ανεπαρκούς ψύξης ή της μόλυνσης πάνω στον φακό εστίασης.

3.9.2 Αποδοτικότητα

1. Η αποδοτικότητα προσδιορίζει πόση από την διαθέσιμη ενέργεια κοπής μεταφέρεται και απορροφάται στο σημείο κοπής (και γι' αυτό τον λόγο γίνεται ενέργεια κοπής).
2. Επηρεάζεται από τα παρακάτω:
 - a) Τύπος του laser (π.χ. μήκος κύματος).
 - b) Πυκνότητα ισχύος.
 - c) Αγωγιμότητα και ανακλασιμότητα του υλικού.

3.9.3 Ασφάλεια των laser

Ότι αφορά την ασφάλεια μπορεί να κατηγοριοποιηθεί σε πολλές κατηγορίες, μερικές από τις οποίες είναι:

1. Υψηλές εντάσεις ρεύματος και σχετιζόμενοι κίνδυνοι λόγω ηλεκτρισμού.
2. Κίνδυνοι από το laser για τα μάτια και το δέρμα.
3. Κίνδυνοι από την παραγωγή αναθυμιάσεων του laser.
4. Χειρισμός επικίνδυνων υλικών (π.χ. φίλτρα από σύστημα εξαγωγής, φακοί και αντλίες κενού του λαδιού).
5. Κίνδυνοι φωτιάς και εκρήξεων.
6. Κίνδυνοι από τα επίπεδα θορύβου.
7. Κίνδυνοι που συνδέονται με τα συμπιεσμένα αέρια.

Τα βιομηχανικά laser είναι πολύ ισχυρά εργαλεία και είναι φανερό πως ενέχουν κινδύνους για την υγεία. Ένας από τους κινδύνους προέρχεται από την ίδια την ακτίνα, που κάνει απαραίτητη την προστασία πριν απ' όλα των ματιών (γυαλιά προστασίας), έστω και από έμμεση ακτινοβολία που μπορεί να προκύψει από ανάκλαση της ακτίνας. Κίνδυνος υπάρχει όμως και για τα υπόλοιπα μέρη του σώματος, προερχόμενος τόσο από τη θερμική ισχύ, όσο και την ακτινοβολία laser. Τέλος κίνδυνος προκύπτει από την επίδραση της ακτίνας πάνω στο υλικό, διότι συχνά δημιουργούνται αέρια επιβλαβή για την υγεία. Για όλους αυτούς τους λόγους στο χώρο όπου λειτουργεί εργαλειομηχανή laser, είναι απαραίτητα να υπάρχουν όλα τα μέσα άποτροπής ατυχημάτων και να τηρούνται αυστηρά όλοι οι κανόνες ασφαλείας.

Ο κανονισμός για την ασφαλή χρήση των laser είναι το ANSI Z1361 και είναι εγκεκριμένος από το Αμερικάνικο Ινστιτούτο Κανονισμών. Γενικά όλοι οι χρήστες laser θα πρέπει να καθορίζουν έναν υπεύθυνο ασφαλείας για τα laser ο οποίος θα αναλαμβάνει υπεύθυνα την εφαρμογή αυτού του κανονισμού (το οποίο απαιτεί όχι μόνο την αναγνώριση και εκτίμηση των κινδύνων αλλά και κριτήρια για τις μετρήσεις ελέγχου, την εκπαίδευση και την ιατρική επιτήρηση).

3.10 ΜΕΛΕΤΗ ΓΙΑ ΤΗΝ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΟΠΗΣ

3.10.1 Κατάλληλα υλικά για κοπή με laser

Πολλά υλικά που περιέχουν σίδηρο και άλλα που δεν περιέχουν μπορούν να κοπούν με laser. Κάθε υλικό αντιδρά διαφορετικά στις επιδράσεις CO₂ και Nd :YAG laser, με αποτέλεσμα ορισμένα από αυτά να μην είναι κατάλληλα για κοπή με laser. Αυτή η αλληλεπίδραση υλικού-laser εξαρτάται από τέσσερις παράγοντες -κλειδιά:

1. Ποιότητα επιφάνειας: πόσο καλά το υλικό απορροφά αρχικά την ενέργεια.
2. Ιδιότητες της ροής θερμότητας: Οι δυνατότητες του υλικού για θερμική διάχυση και αγωγιμότητα.
3. Αναγκαίες μετατροπές της θερμότητας : Πολύ μεγάλα ποσά ενέργειας επιφέρουν αλλαγές, όπως τροποποίηση υλικού, συγκεκριμένη παροχή θερμότητας και επιπλέον θερμότητα τήξης και εξαέρωσης.
4. Αντανακλαστικότητα της ζώνης κοπής: αυτή εξαρτάται από πολλά πράγματα, περιλαμβάνοντας
 - a) αντανακλαστικότητα υλικού στις εκάστοτε θερμοκρασίες,
 - b) λιωμένη γεωμετρική ζώνη κοπής (μακροσκοπικά) ,
 - c) λιωμένη γεωμετρική επιφάνεια (μικροσκοπικά),
 - d) φυσική κατάσταση του λιωμένου υλικού στη ζώνη κοπής (στερεά, υγρά, αέρια, πλάσμα),
 - e) χημική κατάσταση του υλικού στη ζώνη κοπής (π.χ. οξειδωμένο υλικό)
 - f) θερμοκρασία και ομοιομορφία θερμοκρασίας της ζώνης κοπής.

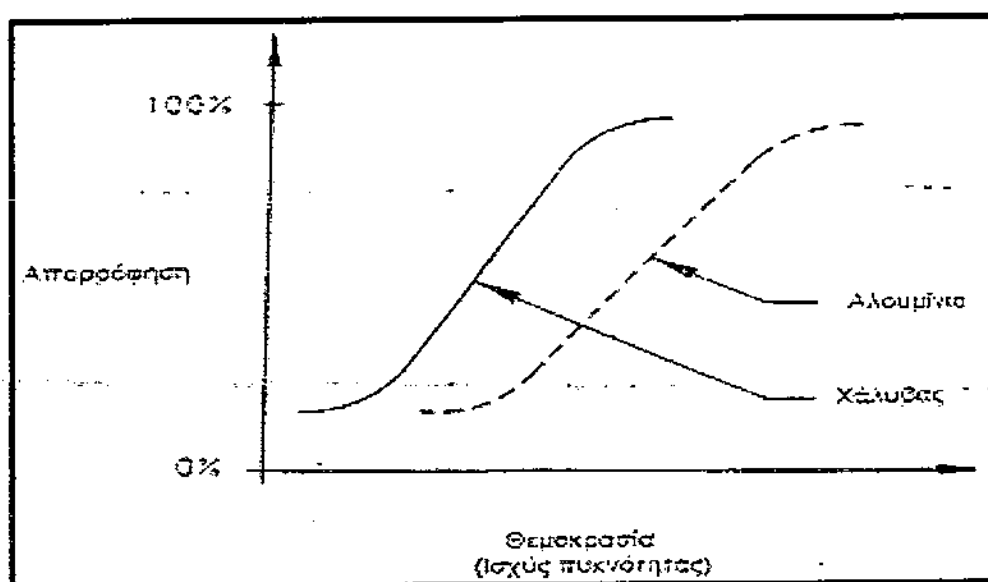
Όμως εντάσεις υψηλών ισχύων (π.χ. υψηλή ισχύς, τέλεια ποιότητα ακτίνας, μικρή εστιακή απόσταση ή υψηλής τιμής παλμός) μπορούν να

ξεπεράσουν τις ενεργειακές απαιτήσεις της 1^{ης} και 3^{ης} περίπτωσης που αναφέραμε παραπάνω, ακόμα και αν το υλικό μπορεί γενικά να μην προσαρμόζεται καλά με το μήκος κύματος του laser.

Οι πληροφορίες που ακολουθούν αποσκοπούν στην παροχή οδηγιών για δυνατότητα κοπής στις πιο σημαντικές κατηγορίες υλικών, λαμβάνοντας υπόψη τους παραπάνω παράγοντες.

3.10.2 Μέταλλα

Παρ' όλο που σε θερμοκρασία δωματίου σχεδόν όλα τα μέταλλα έχουν υψηλή ανακλαστικότητα στις υπέρυθρες ακτίνες ενέργειας, το CO₂ laser με 10,6 εκατομμυριοστά του μέτρου μήκος κύματος χρησιμοποιείται με επιτυχία σε πολλές εφαρμογές κοπής μετάλλων. Η αρχική απορροφητικότητα μπορεί να κυμανθεί από 10% έως το λιγότερο 0,5% της παρακείμενης ενέργειας. Όμως η συγκεντρωμένη ακτίνα του laser, που παρέχει εντάσεις ισχύος πάνω από 1 εκατομμύριο ανά τετραγωνικό εκατοστόμετρο (6 εκατομμύρια ανά τετραγωνική ίντσα) μπορεί να λιώσει αμέσως την επιφάνεια ενός μετάλλου (σε κλάσματα δευτερολέπτου). Η απορροφητικότητα των περισσότερων λιωμένων μετάλλων αυξάνεται ραγδαία με την θερμοκρασία, μεγαλώνοντας την απορροφητικότητα της ενέργειας από 80 - 100% (σχήμα 3.11).



Σχήμα 3.11 Απορρόφηση σε σχέση με τη θερμοκρασία

Μαλακός και ανθρακούχος χάλυβας

(CO₂=ιδανικό, Nd:YAG= ιδανικό)

Τα κοινά ατσάλια μέχρι 20 mm (0,79") ανταποκρίνονται ικανοποιητικά στην οξυγονούχο κοπή με laser. Οι εγκοπές είναι μικρές [τόσο μικρές όσο 0,1 mm (0,004") για λεπτό υλικό]. Από την άλλη μεριά οι ακμές κοπής είναι απαλές, καθαρές και τετράγωνες. Σε ορισμένες σπάνιες περιπτώσεις, έχει διαπιστωθεί ότι η παρουσία ακαθαρσιών (όπως κομμάτια από άνθρακα, φώσφορο ή και θειάφι) μέσα σε μαλακό χάλυβα μπορεί να προκαλέσει μικροεκρήξεις, και γι αυτό ακριβώς το λόγο σκληρότητα γύρω από την ακμή κοπής. Έτσι λοιπόν η χρήση όσο το δυνατόν λιγότερου ακάθαρτου ατσαλιού (π.χ. ψυχρής έλασης) θα έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή βελτιωμένης ποιοτικά ακμής.

Όταν μέσα στο ατσάλι υπάρχει αρκετός άνθρακας, τότε η ποιότητα των ακμών κοπής είναι αρκετά καλή, αλλά σταδιακά θα καταλήξει σε σκλήρυνση αυτών των ακμών. Αυτή η κατάσταση μπορεί να δημιουργήσει πρόβλημα, εάν το παραγόμενο κομμάτι από την κοπή με laser απαιτεί διαφορετική διαδικασία μηχανικής κοπής και εξειδικευμένους τρόπους σχηματισμού. Επιπλέον, η αυξανόμενη σκλήρυνση των ακμών κοπής αυξάνει και την πιθανότητα ραγίσματός τους, με αποτέλεσμα την αχρήστευση του παραγόμενου κομματιού. Η θέρμανση των μετάλλων και η κοπή τους μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ελαχιστοποίηση αυτών των προβλημάτων. Ακόμα και η συμβολή του άνθρακα μπορεί επίσης να μειώσει την ταχύτητα κοπής, καθώς και την υψηλή πυκνότητα υλικού, πράγμα που μπορεί να επιτευχθεί και με την βοήθεια του οξυγόνου. Ο λόγος που γίνεται αυτό είναι ότι η καύση του άνθρακα πραγματοποιείται στο ακροφύσιο οξυγόνου σχηματίζοντας διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) το οποίο με τη σειρά του διαλύει το οξυγόνο στο σημείο κοπής.

Ανοξειδωτο Ατσάλι

(CO₂ = Ιδανικό, Nd :YAG = Ιδανικό)

Τα laser έχουν αποδειχτεί χρήσιμα εργαλεία κοπής για την κατασκευή μεταλλικών κομματιών φτιαγμένων από ανοξειδωτο ατσάλι. Δεδομένου ότι το ανοξειδωτο ατσάλι δεν αντιδρά τόσο καλά με το οξυγόνο όσο ο μαλακός χάλυβας, οι ταχύτητες κοπής για το ανοξειδωτο ατσάλι με την συμβολή οξυγόνου είναι ελαφρώς μειωμένες σε σχέση με τις συγκρινόμενες πυκνότητες κοινού ατσαλιού.

Όσον αφορά την επακόλουθη ποιότητα κοπής, τα ανοξειδωτα ατσάλια παρέχουν καθαρές και ομαλές ακμές κατά την κοπή τους. Καθώς με τη χρησιμοποίηση αερίων υψηλών ταχυτήτων μπορούν να απομακρύνουν αποτελεσματικά την σκουριά σε υλικά μέχρι 1 mm (0,04") πάχος τα οξειδωμένα αποθέματα μέχρι 0,5 mm (0,02") βρίσκονται συχνά σε παχύτερα διασταυρωμένα τμήματα, όταν η διαδικασία κοπής γίνεται με οξυγόνο. Επιπρόσθετα, ένα τμήμα χρωμίου και οξειδωμένου σιδήρου (δηλ. Cr₂O₃ και Fe₂O₂) συναντάται στην ακμή κοπής του νέου παραγόμενου κομματιού. Επειδή το χρώμιο έχει την ικανότητα να οξειδώνεται, στη συνέχεια και αφού έχει τελειώσει η διαδικασία λιώσιματος, μεταφέρεται στην επιφάνεια για να αντιδράσει με το οξυγόνο. Όλη αυτή η πορεία καταλήγει σε μια επαναστερεοποιημένη λιωμένη περιοχή, η οποία βρίσκεται ακριβώς κάτω από το οξειδωμένο τμήμα που έχει λιγότερο χρώμιο από το συνολικό υλικό. Τα μικρά σπασίματα στην σκληρή και εύθραυστη οξειδωμένη επιφάνεια μεταλλάσσουν αυτή την περιοχή που καταλήγει σε μια ακμή κοπής υλικού με λιγότερη διαβρωτική αντίσταση σε ένα διαβρωτικό περιβάλλον.

Εάν τις ακμές κοπής τις συγκολλούσαμε, τότε τα οξείδια που δημιουργούνταν σε αυτό ακριβώς το σημείο του υλικού θα εγκλωβίζονταν στο συγκολλημένο μέταλλο και θα μπορούσαν να προκαλέσουν την μείωση της στατικής αντοχής καθώς και της αντοχής σε κόπωση του τεμαχίου. Εάν τώρα τις ακμές που προκύπτουν από την κοπή υλικών τις συγκολλούσαμε με διαμόρφωση επικάλυψης, τότε η σκουριά θα ερχόταν σε επαφή με διάφορα συνδεδεμένα μεταξύ τους κομμάτια. Εκτός από την αύξηση έως και 50% της

ταχύτητας που χρειάζεται το οξυγόνο για να συμβάλλει στη διαδικασία κοπής, ένα επιπλέον εσωτερικό βοηθητικά αέριο (όχι εξωθερμική ενέργεια) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να παράγει μία ολοκληρωμένη συγκόλληση, με οξειδωμένη και χωρίς σκουριά άκρη κοπής υλικού, που έχει την ίδια διαβρωτική αντίσταση, όπως το συγκεντρωμένο όλο μαζί υλικό.

Η διαδικασία κοπής με άζωτο σε υψηλή πίεση είναι πάρα πολύ γνωστή και παρόλο που δεν είναι εντελώς εσωτερική, μπορεί να παράγει ακμές κοπής υλικού υψηλής ποιότητας, οξειδωμένες και χωρίς σκουριά με πάχος μέχρι 10 mm (0,39"). Γενικά η διαδικασία κοπής αζώτου είναι πιο φτηνή από την κοπή ενός πραγματικού εσωτερικού αερίου, όπως είναι το αργόν. Η αυξημένη κατανάλωση αερίου και κόστους συνδέεται με την διαδικασία κοπής εσωτερικού αερίου υψηλής πίεσεως. Επιπρόσθετα, το ακροφύσιο αερίου, οι φακοί και τα εξαρτήματα παροχής του αερίου πρέπει να είναι κατάλληλα για υψηλές πιέσεις.

Κράμα ατσαλιού

(CO₂ = Ιδανικό, Nd:YAG = Ιδανικό)

Αν και διεξάγεται έλεγχος στην ποσότητα και διανομή των υλικών που περιέχουν κυρίως σίδηρο και γενικότερα επίσης στα κατώτερα αναμεμειγμένα επίπεδα υλικών, τα περισσότερα κράματα ατσαλιού θεωρούνται κατάλληλα για την διαδικασία κοπής με laser και παράγουν νέα κομμάτια καλύτερης ποιότητας, σε σχέση με τον ψυχρήσ ελάσεως ανθρακούχο χάλυβα. Το συμπέρασμα λοιπόν που βγαίνει από όλα αυτά είναι ότι τα κράματα ατσαλιού κόβονται με μικρότερο ρυθμό από ότι ο μαλακός χάλυβας. Η σκουριά είναι μερικές φορές εμφανής, αλλά σε γενική βάση λιγότερη από αυτήν που υπάρχει στα ανοξείδωτα ατσάλια.

Αρκετά συχνά προστίθεται πυρίτιο (μέχρι 4% περίπου) για να υπάρχει καλύτερη ηλεκτρική απόδοση. Όμως, το πυρίτιο αποκλείει την οξείδωση σιδήρου και αυξάνει επίσης το ιξώδες του λιωμένου υλικού, επιφέροντας πιο αργές ταχύτητες κοπής και αυξημένη σκουριά. Στην περίπτωση παρασκευής μετάλλων, τα οποία συγκεντρώνονται κατά ομάδες, η ανάπτυξη σκουριάς έχει αρνητικές επιπτώσεις. Η παλμική διαδικασία κοπής και τα βοηθητικά αέρια βοηθούν στην μείωση της εμφάνισης σκουριάς πάνω στα μέταλλα. Οι ομοαξονικοί εκτοξευτήρες αερίου είναι τοποθετημένοι κάτω από τη ζώνη κοπής και έχουν τοποθετηθεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε η σκουριά να μεταφέρεται στην αχρηστεμένη πλευρά του νέου παραγόμενου κομματιού, διατηρώντας με αυτό τον τρόπο το ένα μέρος κοπής του προερχόμενου υλικού χωρίς σκουριά.

Τα υλικά που είναι πάρα πολύ ανθεκτικά, όπως το AISI - SAE 4130 (χρωμιομολυβδαινιούχος χάλυβας) και 4340 (χρωμιονικελιομολυβδαινιούχος χάλυβας) έχοντας υποβληθεί στην διαδικασία κοπής με laser, παράγουν εξαιρετικές ακμές κοπής, οι οποίες είναι τετράγωνες και καθαρές. Αντίθετα, τα κράματα ατσαλιού παράγουν ακμές, οι οποίες είναι εύθραυστες, αλλά γενικά δεν σπάνε.

Εργαλεία από ατσάλι

(CO₂ = Ιδανικό, Nd:YAG= Ιδανικό)

Δεδομένου ότι τα εργαλεία από ατσάλι μοιάζουν πάρα πολύ με τα κράματα του ατσαλιού, τα περισσότερα από αυτά αντιδρούν ικανοποιητικά στην διαδικασία κοπής με laser. Εξαιρούνται τα εργαλεία κοπής με υψηλά επίπεδα βολφραμίου [π.χ. βολφράμιο υψηλών ταχυτήτων (Γκρουπ T) και βολφράμιο θερμών εργασιών (αποτελούν μέρος του Γκρουπ H)] τα οποία κρατούν την θερμότητα σε υψηλά επίπεδα, προκαλώντας μειωμένες ταχύτητες κοπής και παραγόμενα κομμάτια υλικών που έχουν καμένες ακμές και λίγη σκουριά.

Αλουμίνιο και Κράματα Αλουμινίου

(CO₂ = Μέτριο, Nd:YAG = Καλό)

Το αλουμίνιο απαιτεί υψηλότερη πυκνότητα ενέργειας laser για να μπορέσει να πραγματοποιήσει διαδικασίες κοπής συγκριτικά με τις ανάγκες του ατσαλιού. Αυτό σημαίνει την ανάγκη παροχής ποιοτικής ακτινοβολίας laser και ικανής για να προσφέρει τουλάχιστον 500W. Παρόλο που οι πολύ υψηλές εντάσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την κοπή του αλουμινίου και των κραμάτων αλουμινίου, τα laser Nd:YAG υψηλών εντάσεων είναι περισσότερο κατάλληλα για το αλουμίνιο.

Κατά τη διάρκεια κοπής το βοηθητικό αέριο επιτυγχάνει πρωταρχικά να απομακρύνει το λιωμένο υλικό από τη ζώνη κοπής.

Όμως, χάρη στην υψηλή επιφανειακή ένταση του λιωμένου υγρού [της ταχύτατης ψύξης που προκαλείται από την υψηλή θερμική αγωγιμότητα του αλουμινίου και την υψηλή θερμοκρασία στερεοποίησης περίπου 2017°C (3663°F)], έχουμε τον σχηματισμό σκουριάς στις κατώτερες ακμές κοπής. Ένας τρόπος μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να απομακρύνει την σκουριά προς την άχρηστη πλευρά κοπής. Ο αέρας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αυτό τον σκοπό, αφού το αλουμίνιο δεν απαιτεί χημική διαδικασία. Η υψηλή πίεση αερίου κοπής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελαχιστοποιήσει την σκουριά επειδή απουσία του μειώνει την θερμοκρασία στερεοποίησης του λιωμένου

αλουμινίου [το οποίο στερεοποιείται περίπου στους 659°C (1218°F)]. Ακόμα και χωρίς αυτές τις τεχνικές, η σκουριά μπορεί να απομακρυνθεί εύκολα (όπως τρίβοντας την), αλλά είναι πολύ πιθανόν να παρουσιαστούν στην επιφάνεια κοπής διάφορα ραγίσματα. Η εμφάνιση αυτών των μικρών ραγισμάτων εμποδίζει την χρήση laser για την κατασκευή δομικών συνθετικών κομματιών, όπως εκείνων που παράγονται στην αεροδιαστημική βιομηχανία.

Χαλκός και κράματα χαλκού

(CO₂ = Δύσκολο, Nd:YAG=Μέτριο)

Ο χαλκός έχει μικρότερη δυνατότητα απορρόφησης ενέργειας από το CO₂ laser. Με εξαίρεση το χρυσό και το ασήμι, ο χαλκός έχει μεγαλύτερη αγωγιμότητα και αντανακλαστικότητα. Όμως ο χαλκός μπορεί να κοπεί με τα KW ισχύος των laser τα οποία έχουν πολύ καλή ποιότητα ακτίνας. Τα συνηθισμένα κράματα χαλκού εμπεριέχουν μπρούτζο και ορείχαλκο. Ο μπρούτζος συναντάται σπάνια με τη μορφή λεπτού κομματιού και γι' αυτό ακριβώς το λόγο δεν κόβεται γενικά με laser. Ο ορείχαλκος από την άλλη μερικά, μπορεί να βρεθεί με τη μορφή λεπτού κομματιού. Η παρουσία του ψευδαργύρου κάνει τον ορείχαλκο περισσότερο κατάλληλο για κοπή με laser (εξαιρείται ο καθαρός χαλκός) και αυτό γίνεται γιατί:

1. Ο ψευδάργυρος μειώνει την θερμική αγωγιμότητα,
2. Ο ψευδάργυρος μειώνει την αντανακλαστικότητα
3. Τα οξείδια του ψευδαργύρου (ZnO) αυξάνουν την ενέργεια κοπής με οξυγόνο.

Τα κοινά laser κοπής κραμάτων χαλκού έχουν ως αποτέλεσμα η σκουριά να προσκολλάται στο πίσω μέρος της κοπής, με τη δημιουργία σκληρών ακμών κοπής (ακόμα και με τη χρησιμοποίηση ενός βοηθητικού αερίου). Τα laser Nd:YAG υψηλής ισχύος είναι γενικά περισσότερο κατάλληλα για την κοπή χαλκού και κραμάτων χαλκού.

Τιτάνιο

(CO₂ = Καλό, Nd :YAgΚαλό)

Το καθαρό τιτάνιο ανταποκρίνεται καλά στη συγκεκριμένη θερμική ενέργεια μιας εστιασμένης ακτίνας laser. Η χρησιμοποίηση του οξυγόνου ως βοηθητικού αερίου αποφεύγεται, επειδή υπάρχει μεγάλη πιθανότητα επικίνδυνης καύσης. Η χρήση του αργού και του αζώτου είναι τα πιο επικρατέστερα στοιχεία. Το άζωτο αντιδρά με το τιτάνιο για να σχηματίσει ψαθυρά κομμάτια πάνω στις ακμές κοπής. Το ήλιο ή το αργόν, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να αποτρέψει αυτή την κατάσταση. Το ήλιο χρησιμοποιείται στην αεροδιαστημική βιομηχανία για να κόβει υλικά με πάχος μικρότερο από 6 mm (0,24'') αλλά γενικά αποφεύγεται η χρήση του.

Παρόλο που το αέριο κοπής εμποδίζει το τιτάνιο από την οξειδωση με το βοηθητικό αέριο, οι θερμαινόμενες ακμές μπορούν ακόμα να οξειδωθούν, όταν εκτίθενται στον αέρα του περιβάλλοντος. Τα βοηθητικά αέρια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να ψύχουν τις θερμαινόμενες ακμές και να τις προστατεύουν από τυχόν μόλυνση οξυγόνου και αζώτου. Τα βοηθητικά αέρια έχουν επίσης τη δυνατότητα να σπρώχνουν τη σκουριά προς την άχρηστη πλευρά της κοπής.

3.10.3 Μη μέταλλα

Γενικά, τα μη μεταλλικά υλικά απορροφάνε πολύ καλά την υπέρυθη ενέργεια, που παράγεται από τα CO₂ laser, αλλά δεν συμβαίνει και το ίδιο με την παραγόμενη ενέργεια από τα Nd :YAG laser. Το συμπέρασμα λοιπόν που βγαίνει είναι ότι τα αμέταλλα είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας και έχουν σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες εξαέρωσης. Έτσι λοιπόν, η αυξημένη ενέργεια μιας εστιαμένης ακτίνας απορροφάται σχεδόν ολοκληρωτικά από αυτά τα υλικά σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτή η απορρόφηση καταλήγει ουσιαστικά σε έναν από τους τρεις επόμενους μηχανισμούς κοπής για τα αμέταλλα που είναι οι εξής:

1. Κοπή λιωμένου υλικού.
2. Εξαέρωση.
3. Χημική κατάλυση.

Ο επικρατέστερος μηχανισμός κοπής, σ' ένα μεγάλο ποσοστό καθορίζει την πιθανή ποιότητα των ακμών κοπής σ' ένα δεδομένο υλικό. Η κοπή λιωμένου υλικού περιγράφει την διαδικασία κοπής όπου το λιωμένο υλικό ελευθερώνεται διαρκώς από την εγκοπή με τη βοήθεια των βοηθητικών αερίων (τυπικά πρόκειται για αέρα). Αυτή η διαδικασία καταλήγει σε μια πολύ καλή ποιότητα ακμών κοπής με ορισμένες μικροσκοπικές πτυχώσεις που οφείλονται στα ρευστά, δυναμικά της πορείας του λιωσίματος ενός υλικού. Η εξαέρωση αποβλέπει στην παραγωγή πολύ υψηλών ποιοτικών ακμών κοπής (ανώτερες από τις αναφλεγόμενες εκλεπτυσμένες άκρες). Το ακρυλικό και το πολυακετυλένιο είναι τα κυριότερα υλικά που χρησιμοποιούνται συχνά κομμένα με εξαέρωση.

Στην χημική κατάλυση, η ενέργεια από την ακτινοβολία ξεπερνά τα χημικά όρια, καταλήγοντας στον πιο αργό και υψηλής θερμοκρασίας μηχανισμό κοπής που αναφέρθηκε παραπάνω. Οι ακμές κοπής που προκύπτουν είναι επίπεδες και απαλές, αλλά γενικά καλύπτονται με ένα εκλεπτυσμένο ανθρακικό κατάλοιπο.

3.10.4 Οργανικά υλικά

Πλαστικά πολυμερή

(CO₂ = Καλό-ιδανικό, Nd:YAG = Ανεπαρκές)

Τα πιο πολλά καθαρά πλαστικά δεν κόβονται με Nd:YAG laser εξαιτίας της υψηλής τους διαπεραστικότητας στο μήκος κύματος του Nd:YAG. Τα CO₂ laser όμως, χρησιμοποιούνται αποτελεσματικά σε πολλούς πλαστικούς μηχανικούς χειρισμούς επειδή έχουν την ικανότητα να κόβουν περίπλοκα σχήματα σε υψηλούς ρυθμούς χωρίς να έρχονται σε επαφή.

Τα θερμοπλαστικά υλικά με σχετικά χαμηλές θερμοκρασίες λιώσιματος χαρακτηριστικά παρουσιάζουν καθαρά κομμάτια με γυαλισμένες ακμές ως αποτέλεσμα του επαναστερεοποιητικού λιώσιματος. Οι γυαλισμένες άκρες εμφανίζονται συνήθως σε άμορφα θερμοπλαστικά πολυμερή που προορίζονται για κοπή με εξαέρωση (π.χ. ακρυλικό) απ' ό,τι σε κρυσταλλικά θερμοπλαστικά πολυμερή (πολυπροπυλένιο, πολυαιθυλένιο, πολυστυρόλιο), τα οποία κόβονται με τη διαδικασία κοπής λιωμένου υλικού. Ο έλεγχος της διαδικασίας κοπής μπορεί να μειώσει ή να εξαφανίσει το φούσκωμα και την παρουσία μικρών γρεζιών στο πίσω μέρος του παραγόμενου κομματιού. Η υψηλή πίεση κοπής μειώνει την τάση για το σπάσιμο των ακμών. Η θέρμανση μετάλλων μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για να μειώσει την ευαισθησία σπασίματος.

Τα θερμοσταθερά πλαστικά είναι ανθεκτικά στη θερμοκρασία και γενικά αποσυνθέτονται (χημικά καταλύονται) παρά λιώνουν καταλήγοντας σε ανθρακικά κατάλοιπα πάνω στις ακμές κοπής (π.χ. κάρβουνο). Τα ανθρακικά κατάλοιπα μπορούν να απομακρυνθούν εάν θεωρηθεί αναγκαίο.

Τα προϊόντα αποσύνθεσης των πολυμερών που έχουν κοπεί με laser είναι επικίνδυνα [π.χ. το PVC εκπέμπει υψηλό ποσοστό τοξικού και διαβρωτικού υδροχλωρίου (HCl) το οποίο συνδυάζεται τέλεια με την υγρασία και μετατρέπεται σε υδροχλωρικό οξύ]. Ιδιαίτερη προσοχή πρέπει να δίνεται στην απομάκρυνση και δύλιση των επικίνδυνων διαβρωτικών ή εκρηκτικών αναθυμιάσεων που παράγονται ως αποτέλεσμα της καύσης ή της αποσύνθεσης.

Συνθετικά υλικά

(CO₂ = Ανεπαρκές - Ιδανικό, Nd:YAG = Ανεπαρκές-Μέτριο)

Τα καινούρια ενισχυμένα συνθετικά πολυμερή δεν μπορούν να κατεργαστούν εύκολα με τα κοινά εργαλεία κοπής. Αυτό έχει οδηγήσει πολλούς χρήστες να θεωρούν εξειδικευμένες τις ικανότητες κοπής ενός laser. Τα οργανικά συνθετικά υλικά μπορούν να κοπούν μέχρι 6mm (0,25"). Τα ανόργανα συνθετικά υλικά (όπως το συνθετικό γυαλί ή ο γραφίτης) μέσα σ' ένα οργανικό περιβάλλον είναι πιο δύσκολο να κοπούν με laser. Οι διαδικασίες ταχύτητας και τα πάχη εξαρτώνται από το συνθετικό υλικό. Η συγκεκριμένη πορεία κοπής μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να ελαχιστοποιήσει την οποιαδήποτε δυσκολία σχηματισμού. Τα ανόργανα συνθετικά υλικά, όπως τα μεταλλικά - σχηματισμένα συνθετικά υλικά, μπορούν να κοπούν πολύ εύκολα με CO₂ και Nd:YAG laser.

Δίνοντας προτεραιότητα στην κοπή λεπτών μετάλλων, παρατηρούμε ότι υπάρχουν λωρίδες με πάχος μέχρι 0,5 mm (0,020") οι οποίες μπορούν να κοιτούν ή να σχηματιστούν σε ταχύτητες μέχρι 40m/min (1,600in/min) χωρίς το πρόβλημα της χρησιμοποίησης ενός εργαλείου κοπής. Η παραγόμενη θερμότητα από την διαδικασία κοπής του laser λιώνει τις άκρες, εμποδίζοντας την εμφάνιση τριβής των συνθετικών υλικών.

Όσον αφορά υλικά με μεγαλύτερο πάχος και παραγόμενα συνθετικά υλικά, συγκεκριμένα βόριο και ανθρακικές ίνες, υπάρχει πιθανότητα καύσης, αποσύνθεσης και θερμικής καταστροφής στις ακμές κοπής, μειώνοντας με αυτό τον τρόπο την ικανότητα κοπής του laser σε δομικά υλικά. Σχετικά με την κοπή των πολυμερών, θα πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην απομάκρυνση των αναθυμιάσεων.

Λάστιχο

(CO₂ = Καλό, Nd:YAG=Ανεπαρκές)

Η φυσική γόμα και τα συνθετικά ελαστικά υλικά με πάχος μέχρι 20mm (0,79") αποσυντίθενται ή εξαερώνονται από την θερμότητα μιας εστιασμένης ακτίνας laser Αυτό επιτρέπει τον σχηματισμό διαφόρων ειδικών αντικειμένων όπως είναι οι φλάντζες. Τα υλικά με συνθετική ή ατσάλινη ενίσχυση μπορούν να κοπούν με ένα laser με σχετικά μειωμένες ταχύτητες εξαιτίας της αυξημένης αναγκαίας ενέργειας που χρειάζεται το laser για να κόψει τα ατσάλινα μέρη ενός υλικού. Όμως, δεδομένου ότι παρατηρούνται μικρές ταχύτητες, υπάρχει μια μεγάλη πιθανότητα να μην τελειώσει αποτελεσματικά η διαδικασία κοπής εξαιτίας των θερμικών επιδράσεων. Το πλεονέκτημα του laser κοπής είναι η απλότητα χειρισμού χωρίς να χρειάζεται να υπάρχει κάποια ανησυχία σχετικά με την επιμήκυνση ή την αλλαγή του υλικού εξαιτίας της επαφής ή της τριβής ενός εργαλείου κοπής. Τα καινούργια κομμάτια που παράγονται τείνουν να παρουσιάζουν ελαφρά ικανότητα συγκόλλησης γύρω από τις ακμές κοπής και γι' αυτό ακριβώς το λόγο απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην όλη διαδικασία χειρισμού.

Επιπρόσθετα, ορισμένα ελαστικά υλικά, συγκεκριμένα εκείνα που περιέχουν άνθρακα, απαιτούν μια διαδικασία καθαρισμού για να ξεπλύνουν κάθε ακμή κοπής που έχει υποστεί καύση. Δεδομένου ότι ο άνθρακας δεν λιώνει (αλλά αποσυντίθεται σε υψηλή θερμοκρασία) και επειδή ο άνθρακας αυξάνει την θερμική αγωγιμότητα του λάστιχου, οι ταχύτητες κοπής μειώνονται και οι ακμές κοπής καλύπτονται με ανθρακικά κατάλοιπα. Το λάστιχο σκληραίνει (προστίθεται και θειάφι) όταν το laser κοπής παράγει έναν έντονο, μαυρισμένο καπνό, ο οποίος έχει μια πολύ δυσάρεστη οσμή.

Ξύλο (CO₂ = Ιδανικό, Nd:YAG = Ανεπαρκές)

Το laser προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα για την κοπή κυτταρικών ιστών βασικών υλικών (π.χ. ξύλο, κόντρα πλακέ και σανιδοκατασκευές). Συγκεκριμένα παρέχει μικρές εγκοπές των 0,3 - 1,0mm (0,01-0,04"), δεν δημιουργεί σκόνη, μπορεί να κόβει προς όλες τις κατευθύνσεις, είναι ανθεκτικό και προκαλεί ελάχιστο θόρυβο. Καθώς η χρήση ενός laser απομακρύνει τις σκληρές, φαγωμένες και παλιωμένες ακμές που συνδέονται με τις γνωστές τεχνικές διαχωρισμού, τα κομμάτια που προκύπτουν από την χρησιμοποίηση του laser πάνω στο ξύλο χαρακτηρίζονται ως «καμένες» άκρες (π.χ. ανθρακικά κατάλοιπα) οι οποίες είναι παράλληλες, επίπεδες, ομαλές και δεν σπάνε. Το ανθρακικό κατάλοιπο είναι συνάρτηση του πάχους και της πυκνότητας των κυτταρικών ιστών, τα οποία με τη σειρά τους μειώνουν την ταχύτητα κοπής, καθώς αυτά αυξάνονται.

Η αυξανόμενη πίεση βοηθητικού αερίου μειώνει την ποσότητα του άνθρακα που συγκεντρώνεται στις ακμές κοπής. Η ταχύτητα κοπής για ένα δεδομένο πάχος, είναι συνάρτηση της σύνθεσης. Το ξύλο αποτελείται κυρίως από κυτταρικούς ιστούς, νερό, λιγνίτη και εγκλωβισμένο αέρα. Εάν η πυκνότητα των κυτταρικών ιστών του λιγνίτη (π.χ. ενός συγκεκριμένου τύπου ξύλου ή κάτι διαφορετικού) ή του νερού αυξάνεται (π.χ. όταν υπάρχει υγρασία στο περιβάλλον), τότε οι ταχύτητες κοπής μειώνονται.

Καθώς τα laser χρησιμοποιούνται ως συσκευές κοπής σε ξύλινα καλούπια, σε πολλά ατσάλινα καλούπια χάραξης, καθώς και σε ορισμένες περιμετρικές εφαρμογές κοπής (όπως είναι πολύπλοκα και διακοσμητικά υλικά), δεν είναι κατάλληλα και για άλλες βιομηχανικές εφαρμογές εξαιτίας των περιορισμών τους και του σχετικά υψηλού αρχικού κόστους. Δεδομένου ότι η ενέργεια που παρέχεται από τα laser είναι λίγων KW, η ικανότητα των laser να κόβουν φτάνει μέχρι 75 mm (3") χονδρικά για ξύλο και 25 mm (1") για σανιδοκατασκευές και κόντρα πλακέ. Χρησιμοποιώντας μερικά από τα πιο υψηλής ενέργειας laser που διατίθενται για αυτά τα πάχη, οι ρυθμοί κοπής μειώνονται στα 2,4 m/min και ακόμα περισσότερο.

Χαρτί, Δέρμα, Συνθετικά υφάσματα

(CO₂ = Ιδανικό, Nd:YAG = Ανεπαρκές, Καλό)

Τα προϊόντα χαρτιού και δέρματος, καθώς και τα φυσικά και συνθετικά υφάσματα, μπορούν εύκολα να κοπούν με ένα CO₂ laser. Η έλλειψη πάχους μαζί με την αρκετά υψηλή ικανότητα καύσης τους, μειώνει την εξερχόμενη ισχύ από ένα laser σε μερικές εκατοντάδες W. Σε πολλές περιπτώσεις, αρκετά από αυτά τα υλικά μπορούν να κοπούν ταυτόχρονα. Οι άκρες κοπής που προκύπτουν είναι καθαρές και χωρίς να έχουν φθαρεί από τις τριβές. Όμως, ένα μικρό ποσοστό καύσης μπορεί να κάνει την εμφάνιση του προκαλούμενο από την αποσύνθεση του υδρογονάνθρακα. Κατά τη διαδικασία κοπής χαρτιού ή χαρτονιού δεν υπάρχει ο κίνδυνος να προκληθεί πυρκαγιά επειδή το υλικό εξαερώνεται από το laser, απομακρύνεται από την εγκοπή και διατηρείται κρύο με το βοηθητικό αέριο (το οποίο είναι συνήθως αέρας).

3.10.5 Ανόργανα υλικά

Χαλαζίας

(CO₂ = Καλό - Ιδανικό, Nd:YAG = Αδύνατο)

Δεδομένου ότι ο χαλαζίας έχει ένα σχετικά χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, ανταποκρίνεται θετικά στην διαδικασία κοπής που γίνεται με ένα CO₂ laser. Οι ακμές κοπής που προκύπτουν, σπάνια είναι σπασμένες και έχουν μια ομαλή εμφάνιση από την εφαρμογή χειρισμών καθαρισμού, όπως ακριβώς απαιτούν οι διαδικασίες κοπής με τα πάχη μέχρι 10 mm (0,37") μπορούν να κοπούν με ταχύτητες εξαιρετικά αυξημένες και μάλιστα καλύτερες από αυτές που υπάρχουν στην απλή διαδικασία κοπής και χωρίς να χρησιμοποιείται επιπρόσθετη δύναμη για το νέο παραγόμενο κομμάτι. Μερικές φορές η σκλήρυνση αυτού του υλικού είναι αναγκαία (εάν προκληθεί κάποιο σπάσιμο το οποίο δεν αντιμετωπίζεται εύκολα) για να αποφεύγεται η πιθανότητα ρηγματώσεως μετά την κοπή. Γενικά, η ρηγματώση είναι μια συνάρτηση της παρεχόμενης θερμότητας και γι' αυτό ακριβώς το λόγο συνδέεται και εξαρτάται άμεσα από το πάχος του κάθε υλικού.

Γυαλί

(CO₂ = Δύσκολο, Nd :YAG = Αδύνατο)

Αντίθετα με τον χαλαζία, οι περισσότεροι τύποι γυαλιού είναι επιρρεπείς στην επίδραση της θερμότητας και στις ρηγματώσεις κατά την στερεοποίηση και γι' αυτό ακριβώς το λόγο το γυαλί δεν θεωρείται γενικά κατάλληλο για κοπή με laser. Η διαδικασία κοπής με διαπεραστικότητα και η τεχνική χαρακτηριστικής πάνω στο γυαλί χρησιμοποιούνται ισομερώς. Σε πολλές περιπτώσεις, τα κομμάτια που προκύπτουν με την τεχνική της διαπεραστικότητας έχουν προκληθεί από πολλαπλές πραγματοποιήσιμες εν μέρει διαδικασίες για να ελαχιστοποιηθούν οι αρνητικές επιπτώσεις της θερμότητας.

Το γυαλί που είναι ανθεκτικό στη θερμότητα, όπως το πυρέξ, έχει πολύ λίγες πιθανότητες να σπάσει κατά τη διάρκεια της κοπής του με laser. Όμως, οι πιο πολλοί τύποι γυαλιού (περιλαμβανομένου και του μίγματος νατρίου και

υδροξειδίου του ασβεστίου) επηρεάζονται από τις επιπτώσεις της θερμότητας, οι οποίες προκαλούν ρωγμές στις ακμές κοπής του υλικού. Επίσης, επειδή το λιωμένο γυαλί έχει υψηλό ιξώδες, να υπάρχει σημαντικό επαναστερεοποιημένο υλικό, το οποίο προσκολλάται στις ακμές κοπής και στη βάση του νέου παραγόμενου κομματιού.

Κεραμικά (CO₂=Μέτριο-Καλό, Nd:YAG = Μέτριο)

Για τα περισσότερα κεραμικά υλικά η διαδικασία κοπής και χαρακτηριστικής όσον αφορά την ηλεκτρονική βιομηχανία γίνεται με CO₂ laser. Τα πιο γνωστά κεραμικά υλικά είναι η αλουμίνα (Al₂O₃), το ανθρακούχο βολφράμιο (WC), το νιτρίδιο του τιτανίου (TiN) και το ανθρακούχο τιτάνιο (TiC). Τα κεραμικά είναι σκληρά και εύθραυστα και γι' αυτό ακριβώς το λόγο είναι δύσκολο να κοπούν μηχανικά (ειδικά όσον αφορά τα περίπλοκα σχήματα). Η διαδικασία κοπής με διαπεραστικότητα δεν είναι υποχρεωτική σε πολλές περιπτώσεις και μάλιστα ιδιαίτερα όταν έχει σχέση με την παραγωγή ευθυγραμμισμένων κομματιών. Από την άλλη μεριά, στις περιπτώσεις που θεωρείται αναγκαία αποκλειστικά και μόνο η τεχνική της χαρακτηριστικής, οι ταχύτητες μπορεί να είναι αρκετά υψηλές [15m/min (600in/min) ή ακόμα περισσότερο].

Η διαδικασία κοπής με διαπεραστικότητα χρησιμοποιείται γενικά για περίπλοκες ή κυρτές περιοχές υλικών. Σε τέτοιες περιπτώσεις ρυθμίζεται ο κατάλληλος τρόπος κοπής για να επιτύχουμε την μείωση της θερμότητας στην περιοχή που περικλείεται το νέο παραγόμενο κομμάτι. Η τεχνική κοπής όσον αφορά τα περιγράμματα κεραμικών που χρησιμοποιούνται σε διάφορες διακοσμητικές εφαρμογές, γίνεται με CO₂ laser. Η δημιουργία αυξημένης ισχύος είναι αναγκαία, διότι μόνο αυτή μπορεί να λιώνει και να εξαερώνει το υλικό και να ελαχιστοποιεί την οποιαδήποτε ζημιά που μπορεί ενδεχομένως να προκαλείται στην γυαλιστερή επιφάνεια. Η υψηλή θερμοκρασία λιώσιματος των κεραμικών έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία μειωμένων ταχυτήτων για την πραγματοποίηση της διαδικασίας κοπής με διαπεραστικότητα [λιγότερο από 0,5m/min (20in/min)]. Το Nd:YAG laser χρησιμοποιείται συχνά στα περισσότερα κεραμικά υλικά εκτός κι αν οι πυκνότητες ισχύος είναι εξαιρετικά υψηλές.

Πέτρα και βράχος

(CO₂=Ανεπαρκές, Nd:YAG=Ανεπαρκές)

Ενώ η πέτρα και ο βράχος έχουν την τάση να απορροφούν την θερμική ενέργεια προερχόμενη από ένα laser, ο γρανίτης, ο τσιμεντόλιθος, ο βράχος, η πέτρα και διάφορα άλλα ορυκτά δεν είναι κατάλληλα για την διαδικασία κοπής με laser. Η εκρηκτικότητα που προκαλείται από την θερμαινόμενη εσωτερική κατάσταση αυτών των υλικών μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα την πιθανότητα σπασίματος. Εκτός από την έλλειψη ομοιομορφίας στις δομές τους, η πέτρα και ο βράχος έχουν συνήθως πάχος μεγαλύτερο από 25 mm, το οποίο είναι υπερβολικό σε σύγκριση με το περιορισμένο όριο κοπής των laser.

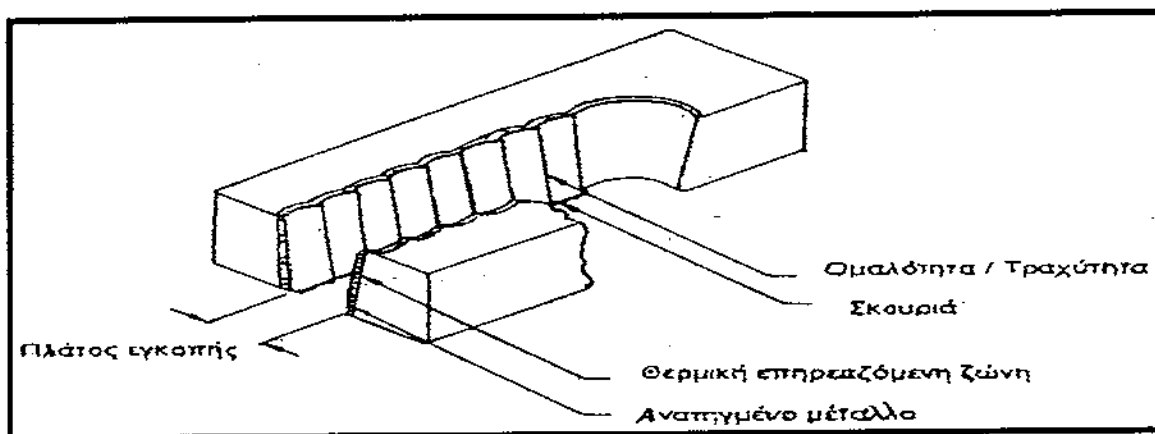
Στον παρακάτω πίνακα 3.VI παρουσιάζονται συνοπτικά οι δυνατότητες κοπής με laser διαφόρων υλικών.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.VI

ΠΕΡΙΛΗΨΗ ΤΩΝ ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΩΝ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ		
ΥΛΙΚΟ	LASER CO ₂	LASER Nd : YAG
ΜΕΤΑΛΛΑ		
Μαλακός χάλυβας	Ιδανικό	Ιδανικό
Ανοξειδωτος χάλυβας	Ιδανικό	Ιδανικό
Κραμματούχος χάλυβας	Ιδανικό	Ιδανικό
Χάλυβας εργαλείων	Ιδανικό	Ιδανικό
Αλουμίνιο και κράμματα αλουμινίου [πάνω από 6 mm (0,24”)]	Μέτριο	Καλό
Χαλκός ή κράμματα χαλκού	Δύσκολο	Μέτριο
Τιτάνιο	Καλό	Καλό
Χρυσός και Ασήμι	Ανεπαρκές	Δύσκολο
ΑΜΕΤΑΛΛΑ ΟΡΓΑΝΙΚΑ		
Πλαστικά, (πολυμερή)	Καλό	Ανεπαρκές
Συνθετικά	Ανεπαρκές - Ιδανικό	Ανεπαρκές - Μέτριο
Λάστιχο	Καλό	Ανεπαρκές
Ξύλο	Ιδανικό	Ανεπαρκές
Χαρτί και χαρτόνι	Ιδανικό	Ανεπαρκές - Καλό
Δέρμα	Ιδανικό	Ανεπαρκές - Καλό
Συνθετικές ίνες	Ιδανικό	Ανεπαρκές - Καλό
ΑΜΕΤΑΛΛΑ ΑΝΟΡΓΑΝΑ		
Χαλαζίας	Καλό - Ιδανικό	Αδύνατη
Γυαλί	Δύσκολο	Αδύνατη
Κεραμικά	Μέτριο - Καλό	Μέτριο
Πέτρα και βράχος	Ανεπαρκές	Ανεπαρκές

3.11 ΠΟΙΟΤΗΤΑ ΚΟΠΗΣ ΓΙΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Είναι συχνή απορία για το τι ακμές θα δημιουργηθούν μετά την κοπή. Η εκτίμηση συνήθως συνεπάγεται έναν υπολογισμό τόσο της τραχύτητας όσο και της οπτικής εμφάνισης των ακμών. Κάθε κομμάτι που έχει προέλθει από κοπή με συμβατικό εξοπλισμό παρέχει έναν σταθερό βαθμό ποιότητας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για αναφορά, για συγκρίσεις με αποτελέσματα άλλων μεθόδων. Όταν αναφερόμαστε σε κοπή μετάλλων, η κοπή τους με laser έχει τα χαρακτηριστικά που ακολουθούν (σχήμα 3.12)



Σχήμα 3.12 Παράμετροι κοπής μετάλλων με laser

3.11.1 Εγκοπή

Στα λεπτότερα υλικά, το πλάτος της εγκοπής μπορεί να είναι και 0,1mm (0,004"). Όσο το πάχος του υλικού αυξάνει, τόσο πιο πολύ υλικό αφαιρείται στη ζώνη κοπής. Έτσι τελικά, μπορούμε να πούμε ότι το πλάτος της εγκοπής είναι περίπου ευθέως ανάλογο του πάχους του υλικού. Το πλάτος της εγκοπής αυξάνεται σκόπιμα για παχύτερα υλικά ώστε να επιτυγχάνει εκροή του λιωμένου υλικού. Αυτό χρησιμοποιείται ειδικά για κοπή με CO₂ ανθρακούχων χαλύβων, όπου η υψηλή πίεση και η ταχύτητα ροής που συνυπάρχουν επιφέρουν και υπερβολική θερμότητα. Γενικά, το πλάτος των εγκοπών για κοπή μετάλλων με laser Nd:YAG θα είναι μεγαλύτερο από το πλάτος που παράγει είναι laser τύπου CO₂. Το πλάτος της εγκοπής θα πρέπει να ρυθμίζεται όταν σχεδιάζουμε και υπολογίζουμε ένα πρότυπο κοπής. Οι παράγοντες που επηρεάζουν το πλάτος εγκοπής παρουσιάζονται στον πίνακα 3.VII που ακολουθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.VII

ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΠΟΥ ΕΠΗΡΕΑΖΟΥΝ ΤΟ ΠΛΑΤΟΣ ΤΗΣ ΕΓΚΟΠΗΣ (ΓΙΑ ΔΕΔΟΜΕΝΟ ΠΑΧΟΣ ΥΛΙΚΟΥ)	
ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	ΣΧΟΛΙΑ / ΒΑΣΙΚΑ ΖΗΤΗΜΑΤΑ
Μέγεθος του σημείου	Να είναι ελάχιστο σε σχέση με την εκροή του λιωμένου υλικού και του βάθους της εστίασης
Ικανότητα εστίασης	$d = M^2 (4 \lambda f \pi D)$ $d = (f / f_0) \Phi_0$ για οπτική ίνα
Ποιότητα ακτίνας (M^2)	Μικρές τιμές του M^2 είναι καλύτερες
Μήκος κύματος (λ)	Αναλόγως του υλικού που θα κόψουμε και της οπτικής ίνας
Εστιακή απόσταση (f)	Ελάχιστο: ισορροπία μεταξύ μεγέθους του σημείου και βάθους εστίασης
Διάμετρος πρωτογενούς ακτίνας (D)	Μεγάλη: ελαχιστοποιεί το μέγεθος του σημείου και την ποιότητα ισχύος στην οπτική ίνα
Διάμετρος οπτικής ίνας (Φ_0)	Ελάχιστη: αναλόγως του τρόπου λειτουργίας
Θέση εστίασης	Απαιτείται τελειότητα
Ευθυγράμμιση ακτίνας	Θα πρέπει να είναι παράλληλη (και χαρακτηριστικά ομοαξονική) στον οπτικό άξονα και τους μηχανικούς άξονες και κάθετη στο τεμάχιο που επεξεργαζόμαστε
Θερμική εστίαση	Επηρεάζει τη διάμετρο της πρωτογενούς ακτίνας
Πόλωση	Κυκλική για να αποφεύγεται απόκλιση του πλάτους της εγκοπής με την κατεύθυνση
Ταχύτητα μετακίνησης	Σταθερή και επαναλαμβανόμενη
Ισχύς	Η τελειότερη δυνατή σε σχέση με την δημιουργία λιωμένου υλικού
Πίεση / ροή αερίου	Η τελειότερη δυνατή σε σχέση με την εκροή λιωμένου υλικού
Γεωμετρία του ακροφυσίου	Η τελειότερη δυνατή σε σχέση με την εκροή λιωμένου υλικού

3.11.2 Κωνικότητα

Το αποτέλεσμα μιας εστιασμένης ακτίνας που χρησιμοποιείται για κοπή ενός υλικού, ελαχιστοποιεί την κωνικότητα της κοπής σε λιγότερο από 2 βαθμούς (συμπεριλαμβανομένης της στρογγύλευσης στην κορυφή της ακμής) η οποία εξαρτάται από τον τύπο του υλικού και την εστιακή απόσταση. Αυτό ισούται με τραχύτητα 0,2 mm (0,008") για πάχος υλικού ίσου με 1/4". Γενικά μεγαλύτερη εστιακή απόσταση επιφέρει ακμές περισσότερο παράλληλες από μικρότερη εστιακή απόσταση.

3.11.3 Τραχύτητα και ομαλότητα

Μετρούμενη ως μέσος όρος της διαφοράς μεταξύ του υψηλότερου και του χαμηλότερου σημείου κατά μήκος μιας ακμής, η τάξη μεγέθους για κοπή με laser κυμαίνεται μεταξύ 0,8 έως 6,3 μm (30 έως 250 μin), με τους ανθρακούχους χάλυβες να έχουν καλύτερη ποιότητα απ' ότι ίδιου πάχους ανοξείδωτους χάλυβες ή αλουμίνιο. Η κοπή ανοξείδωτου χάλυβα με βοηθητικό αέριο το άζωτο παρέχει την μισή τραχύτητα απ' ότι η κοπή με οξυγόνο. Ο έλεγχος των παραμέτρων της διαδικασίας όπως η ταχύτητα, ο τύπος και η πίεση του βοηθητικού αερίου, η συχνότητα των παλμών και η θέση εστίασης βοηθούν στο να βελτιστοποιηθεί η επιθυμητή ποιότητα. Για ένα δεδομένο υλικό, η ομαλότητα είναι χαρακτηριστική συνάρτηση του πάχους του υλικού, του βάθους, της σύνθεσης και ποιότητας του υλικού (π.χ. κατηγορία του χάλυβα) και της ποιότητας της επιφάνειας.

3.11.4 Σκουριά

Στις περισσότερες περιπτώσεις, η κοπή με laser επιτυγχάνει την πλήρη απομάκρυνση του υλικού από την εγκοπή. Σε μερικά υλικά ωστόσο, μια εναπόθεση σκουριάς μπορεί να εμφανιστεί κατά μήκος της πίσω όψης της κοπής. Ο σχηματισμός αυτής της σκουριάς είναι βασικά μια συνάρτηση του ιξώδους και της αντίστασης στην οξείδωση του λιωμένου υλικού, το οποίο δεν είναι δυνατόν να απομακρυνθεί από το βοηθητικό αέριο. Επιπρόσθετα, από την στιγμή που γενικά η κοπή με laser είναι εκτεθειμένη στον αέρα, ένα λεπτό [συνήθως μικρότερο από 0,1 mm (0,004'')] στρώμα οξείδωσης μπορεί να εμφανιστεί κατά μήκος των ακμών του υλικού το οποίο αντιδρά με το οξυγόνο.

3.11.5 Θερμικός επηρεασμός

Τα υλικά τα οποία καίγονται, όπως το ξύλο και το χαρτί, η θερμική ενέργεια του laser μπορεί να απανθρακώσει τις ακμές κοπής. Σαν γενικό κανόνα μπορούμε να πούμε ότι όσο λεπτότερο είναι το υλικό ή όσο ταχύτερη η κοπή, τόσο λιγότερο και το ποσό της θερμικής επίδρασης. Η χρήση ενός μέσου ψύξης κατά τη διάρκεια της κοπής μπορεί να μειώσει την θερμικά επηρεαζόμενη ζώνη (Θ.Ε.Ζ.).

3.11.6 Επιφανειακή κατάσταση του υλικού

Επιφανειακή επεξεργασία

Για υλικά υψηλής ανάκλασης (όπως: αλουμίνιο, χαλκός και χρυσός) με μια τέλεια επιφανειακή επεξεργασία η αρχική επίδραση της ενέργειας του laser μειώνεται.

Σ' αυτά τα υλικά, εάν η επιφάνεια είναι εξαιρετικά ομαλή μπορεί να εμφανιστεί ασυνεχής ποιότητα κοπής. Για τέτοιες επιφάνειες θα πρέπει να σημειωθεί ότι το ανακλώμενο φως μπορεί να προκαλέσει ζημιά:

1. Μέσα στην κοιλότητα του laser.
2. Στην πρωτογενή ακτίνα συστήματος παροχής της ακτίνας με οπτική ίνα.
3. Στην κεφαλή κοπής.
4. Στις γραμμές νερού και αερίου κοντά στην κεφαλή κοπής.
5. Στο προσωπικό.

Ειδικές επικαλύψεις των φακών, αισθητήρες ανάκλασης και συστήματα παροχής της ακτίνας χρησιμοποιούνται για να μειώσουμε το ενδεχόμενο ζημιάς μέσα στην κοιλότητα του συστήματος παροχής της ακτίνας. Μια επιφάνεια ελαφρώς ματ βοηθάει στη μείωση της ανακλαστικότητας. Μερικές φορές χρησιμοποιούνται ειδικές επικαλύψεις ώστε να αυξηθεί η απορροφητικότητα της επιφάνειας όπως π.χ. στοιχεία κεραμικής σκόνης (Al_2O_3).

Χημικές και χρωματικές επικαλύψεις

Γενικά, το χρώμα αυξάνει την απορρόφηση του laser από το υλικό (ειδικά για υλικά με υψηλή ανακλαστικότητα όπως το αλουμίνιο), αλλά συχνά αφήνει άσχημα υπολείμματα στην τελειωμένη περιοχή κοπής. Επιπρόσθετα, το χρώμα κοντά στην ζώνη κοπής μπορεί να υποστεί φθορά. Η χρήση ενός μέσου ψύξης μπορεί να μειώσει αυτή τη συνέπεια. Μερικά χρώματα που αντέχουν στη θερμότητα (π.χ. χρώματα βασισμένα σε κεραμικά) εμποδίζουν την κοπή. Μερικά χρώματα αναφλέγονται όταν χρησιμοποιείται καθαρό οξυγόνο ως

βοηθητικό αέριο και γι' αυτό το λόγο σ' αυτές τις περιπτώσεις χρησιμοποιείται αέρας.

Το αλουμίνιο είναι συχνά χρώματος μαύρου ή λευκού - ασημί για λόγους αντοχής, σκληρότητας, αντίστασης στη διάβρωση ή αισθητικούς. Μπορεί να διαπεραστεί και να κοπεί εύκολα και γρήγορα επειδή η επιφάνειά του απορροφά την ενέργεια του laser καλύτερα. Επιπρόσθετα, η αύξηση της επιφανειακής απορροφητικότητας του αλουμινίου έχει ως αποτέλεσμα μια διαδικασία λιγότερο ευαίσθητη στην απόκλιση των παραμέτρων της διαδικασίας.

Η επικάλυψη ψευδαργύρου του μαλακού χάλυβα γίνεται για ανοχή στη διάβρωση. Ο ψευδάργυρος απλώνεται στην επιφάνεια μέσω της διαδικασίας της γαλβανοποίησης ή μέσω εμβαπτισμού σ' αυτή. Ενώ ο γαλβανισμένος χάλυβας έχει ένα σταθερό στρώμα ψευδαργύρου ελάχιστου πάχους, ο εμβαπτισμένος έχει συχνά ένα σημαντικό πάχος το οποίο απλοποιεί την επιφάνεια του χάλυβα με ασυνέχειες. Ακόμα πρέπει να σημειωθεί ότι οι αναθυμιάσεις του ψευδαργύρου είναι βλαβερές. Η επιμετάλλευση του χάλυβα με κάδμιο έχει ως αποτέλεσμα την καλή κοπή, αλλά όπως και ο ψευδάργυρος, οι αναθυμιάσεις του είναι βλαβερές.

Προστατευτικές στρώσεις

Τα ελάσματα ανοξειδώτου χάλυβα, αλουμινίου και ακρυλικών που χρησιμοποιούνται για διακοσμητικούς σκοπούς, έχουν συχνά στρώσεις από πλαστικό χαρτί για να προστατεύουν τις υψηλά φινιρισμένες επιφάνειές τους. Η παρουσία του προστατευτικού στρώματος έχει μικρή επίδραση στη διαδικασία ή στην ποιότητα κοπής. Ωστόσο, το βοηθητικό αέριο μπορεί να σηκώσει το προστατευτικό στρώμα από την επιφάνεια και να μπερδευτεί με το ακροφύσιο κοπής ή την κεφαλή κοπής. Με το ακρυλικό, ο καυτός ατμός από την διαδικασία κοπής μπορεί να εισέλθει μεταξύ του προστατευτικού στρώματος και της επιφάνειας και να επιφέρει ζημιά ή παραμόρφωση στο τεμάχιο.

Σκουριά και μόλυνση

Ο ανθρακούχος χάλυβας μπορεί συχνά να έχει σκουριά στην επιφάνειά του, ειδικότερα για τον χάλυβα που έχει προέλθει από την έλαση εν Θέρμο και περιέχει οξειδία στην επιφάνειά του ως συνέπεια της διαδικασίας αυτής. Τα επιφανειακά οξειδία συγκρατούν την υγρασία η οποία έχει ως αποτέλεσμα την ασταθή κοπή με την χαμηλή ποιότητα των ακμών (σποραδικά καψίματα και προσκόλληση σκουριάς). Η σκουριά θα πρέπει να απομακρύνεται πριν την κοπή.

Ο καθαρισμένος χάλυβας που έχει προέλθει από την εν θερμώ έλαση, έχει βελτιωμένη ικανότητα κοπής σε σχέση με τον χάλυβα που δεν έχει υποστεί κάποια διεργασία. Ο καθαρισμός του οξέος είναι μια χημική διαδικασία που απομακρύνει το στρώμα των οξειδίων. Το λάδι χρησιμοποιείται για να αποτρέψει την οξείδωση κατά τη διάρκεια της αποθήκευσης. Γενικά, η παρουσία του λαδιού και του γράσου έχουν μικρή επίδραση στην διαδικασία κοπής, ωστόσο, το υπερβολικό λάδι και γράσο θα πρέπει να απομακρύνονται πριν την κοπή.

3.11.7 Τοποθέτηση του εξαρτήματος

Η σχετική θέση του εξαρτήματος σε σχέση με το ακροφύσιο κοπής είναι μια συνάρτηση τριών βασικών συντελεστών:

1. Την κατασκευή και την ανοχή του εξαρτήματος (αυτό μπορεί να περιλαμβάνει και την επιπεδότητα των μεταλλικών ελασμάτων).
2. Την ακρίβεια του περιγράμματος, την επαναληψιμότητα και την σταθερότητα είτε της ακτίνας είτε του χειρισμού των εξαρτημάτων.
3. Την επαναληψιμότητα και την ακρίβεια των αναπόσπαστων τεμαχίων.

Η θέση του σημείου κοπής πρέπει να κρατιέται ανάμεσα σε κάποια ανοχή η οποία εξαρτάται από πολλούς παράγοντες, μερικοί από τους οποίους είναι:

1. Η ευαισθησία της διαδικασίας κοπής στο απομακρυνόμενο ύψος του μηχανήματος.
2. Η διάμετρος του ακροφυσίου.
3. Η πίεση και ο τύπος του βοηθητικού αερίου.
4. Το βάθος εστίασης της εστιασμένης ακτίνας.
5. Η ισχύς και η ταχύτητα κοπής.

Εάν η θέση του εξαρτήματος δεν είναι σωστά διατηρημένη το αποτέλεσμα θα είναι:

1. Σημαντικές αυλακώσεις ή κοιλώματα (η υψηλή πίεση κοπής έχει ως αποτέλεσμα την βίαιη εκροή από την μικρή απομάκρυνση).
2. Σκουριά και απώλεια κοπής (απώλεια της πίεσης κοπής και απώλεια της εκροής από την μεγάλη απομάκρυνση).

3.11.8 Ακόλουθο ύψος

Το ακόλουθο ύψος χρησιμοποιείται για να διατηρηθεί μια σταθερή απόσταση απομάκρυνσης κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Χρησιμοποιούνται είτε μηχανικές είτε ηλεκτρικές χωρητικές μέθοδοι. Ενώ η κοπή ελασμάτων δεν απαιτεί μια κεφαλή ακόλουθου ύψους, τα περισσότερα συστήματα παρέχονται με μέσα για το ακόλουθο ύψος ως στάνταρ εξοπλισμό. Ωστόσο, όλες οι άλλες γεωμετρίες δεν μπορούν να κοπούν σταθερά δίχως την ύπαρξη κεφαλής ακόλουθου ύψους. Τα κριτήρια επιλογής πρέπει να περιλαμβάνουν την απόδοση ανάλογα του τύπου του υλικού, την ταχύτητα κοπής, την πίεση του ακροφυσίου, την γεωμετρία του υλικού και τους κραδασμούς του τεμαχίου. Στον πίνακα 3.VIII που ακολουθεί παρουσιάζεται η σύγκριση των μεθόδων.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.VIII

ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕΘΟΔΩΝ		
ΣΥΓΚΡΙΣΗ	ΗΛΕΚΤΡΙΚΕΣ	ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ
Θετικά	Κοπή στις τρεις διαστάσεις δίχως επαφή (δίχως χάραξη)	Για απλές και λιγότερο ακριβές μπορούν να χρησιμοποιήσουν ψύξη όλα τα υλικά
Αρνητικά	Πιο ακριβή, δίχως ψύξη, υλικά με καλή αγωγιμότητα μόνο	Επίπεδα ελάσματα μόνο ίσως χρειάζεται χάραξη των υλικών

3.11.9 Προετοιμασία εξαρτημάτων

Εξαιτίας του σχετικά μικρού μεγέθους του εστιαζόμενου σημείου και του βάθους της εστίασης της ακτίνας του laser η ακρίβεια και η επαναληψιμότητα της επεξεργασίας πρέπει να εξετάζεται προσεκτικά πριν την εφαρμογή. Αν και η κοπή με laser παράγει λιγότερη θερμότητα σε σύγκριση με τις συμβατικές θερμικές διαδικασίες, μπορεί να επιφέρει θερμική παραμόρφωση των τεμαχίων που κόβουμε η οποία επιδρά στην εφαρμογή της κοπής των εξαρτημάτων απαιτώντας αρκετές επαναλήψεις εάν δεν χρησιμοποιείται σύστημα ακολούθου ύψους. Όταν μελετούμε την σύσφιξη των εξαρτημάτων θα πρέπει να έχουμε υπόψη τους παρακάτω παράγοντες:

1. Να αποφεύγονται τα αντισταθμίσματα ή στιγμές φόρτισης όταν σχεδιάζουμε και επεξεργαζόμαστε εξαρτήματα. Αυτό θα ελαχιστοποιήσει την ανόμοια φόρτιση η οποία μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση του τεμαχίου στο σημείο κοπής.
2. Κάμψη του υλικού από τις θερμικές ή τις παραμένουσες τάσεις.
3. Τις ασκούμενες δυνάμεις στο υλικό και τα αναπόσπαστα τεμάχια από το βοηθητικό αέριο (ειδικά στην κοπή με υψηλή πίεση).
4. Παραμόρφωση του υλικού και των εξαρτημάτων εξαιτίας της αδράνειας του συστήματος κίνησης (μόνο για σταθερά και υβριδικά συστήματα κίνησης).
5. Επιτρέπουν την πρόσβαση του ακροφυσίου του βοηθητικού αερίου όταν σχεδιάζεται η γεωμετρία της σύνδεσης.
6. Σχεδιάζεται η ανάσχεση της μεταδιδόμενης ακτίνας και παρέχεται η πρόσβαση και η διατήρηση των συσκευών ανάσχεσης.
7. Ευκολία ανάφλεξης των κατασκευασμένων υλικών.
8. Υλικά με επικάλυψη ή υψηλή θερμική αντίσταση (π.χ. υλικά με υψηλό σημείο τήξης) μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά την διαδικασία.

3.12 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΚΟΠΗΣ

Ένα σημαντικό πλεονέκτημα της κοπής με laser είναι ο έλεγχος σε υψηλό βαθμό των διαφόρων συντελεστών που επηρεάζουν την διαδικασία. Οι βασικές παράμετροι είναι οι εξής:

Ισχύς και πυκνότητα ισχύος

Τα laser προσδιορίζουν την ισχύ εξόδου τους σε από τη στιγμή που η κοπή με laser είναι μια θερμική διαδικασία το ποσό της παραγόμενης ενέργειας συνδέεται με τις δυνατότητές του.

Ένα laser 300W με μια υψηλή ποιότητα εξόδου είναι παραπάνω από κατάλληλο για την κοπή προϊόντων χαρτιού, αλλά ελλιπές σε ισχύ και πυκνότητα ισχύος για αποτελεσματική χρήση σε αλουμίνιο. Εάν όλοι οι άλλοι παράγοντες είναι ίσοι (π.χ. διανομή ισχύος, μέγεθος σημείου κ.λ.π.), η αύξηση της ισχύος επιτρέπει την ανάπτυξη υψηλότερων ταχυτήτων κοπής καθώς και τη δυνατότητα της κοπής παχύτερων τεμαχίων.

Όπως προείπαμε, η πυκνότητα ισχύος συνδυαζόμενη με την ικανότητα του υλικού να συσχετιστεί με το μήκος κύματος του laser, είναι οι παράμετροι κλειδιά του προσδιορισμού της ταχύτητας και του πάχους κοπής.

Ταχύτητα

Ο ρυθμός παραγωγής της κοπής με laser είναι συνδεδεμένος με την ποιότητα ισχύος και τις ιδιότητες του υλικού. Ο ρυθμός κοπής είναι αντιστρόφως ανάλογος της πυκνότητας και του πάχους του υλικού. Έτσι, για δεδομένες τιμές των παραμέτρων (μέσα στα περιοριστικά όρια της διαδικασίας), ο ρυθμός παραγωγής θα κυμαίνεται με:

1. Επιπρόσθετη ισχύ (π.χ. 1500W σε σύγκριση με 600W).
2. Βελτιωμένη ποιότητα ακτίνας.
3. Μικρότερο μέγεθος εστιαζόμενου σημείου [63,5 mm (2,5") σε σχέση με 127 mm (5")].
4. Μικρότερη απαιτούμενη ενέργεια για να ξεκινήσει η ατμοποίηση (π.χ. πλαστικό σε σχέση με χάλυβα).
5. Μικρότερη πυκνότητα υλικού (π.χ. πεύκο σε σχέση με λευκή καρυδιά).
6. Μειωμένο πάχος [3 mm (0,12") σε σχέση με 6 mm (0,24")].

Ο ρυθμός τροφοδοσίας μπορεί να είναι διαφορετικός για συγκεκριμένες ομάδες παραμέτρων με σκοπό να εξασφαλίσουν διαφορετικά αποτελέσματα της ποιότητας των ακμών.

Γενικά, εάν η ταχύτητα είναι πολύ μικρή, το πλάτος της εγκοπής, η σκουριά, η επανάτηξη και η Θ.Ε.Ζ. αυξάνονται. Εάν η ταχύτητα είναι πολύ μεγάλη έχει ως αποτέλεσμα την ατελή κοπή.

Τύπος φακών και εστιακή απόσταση

Οι φακοί εστίασης υπάρχουν σε ποικιλία τύπων και υλικών. Μόνο μερικά υλικά χρησιμοποιούνται για φακούς επαφής στα laser CO₂ βασιζόμενα στην ικανότητά τους να μεταδίδουν το μήκος κύματος των 10,6 μm. Ο σεληνικός ψευδάργυρος χρησιμοποιείται σχεδόν πάντα με τα υψηλής ισχύος laser CO₂. Όταν μελετούμε τους τύπους των φακών (π.χ. επιπεδόκυρτος, διαθλαστικός) το ισοζύγιο μεταξύ του κόστους και της ικανότητας για εστίαση είναι το κύριο ζήτημα. Ωστόσο, οι επιπεδόκυρτοι φακοί είναι γενικά αποδεκτοί για τις πιο πολλές εφαρμογές κοπής των laser CO₂.

Από τη στιγμή που η ταχύτητα είναι συνάρτηση της διαθέσιμης πυκνότητας ισχύος, η εκλογή των φακών εστίασης έχει μεγάλη επίδραση στην επακόλουθη ποιότητα κοπής. Φακοί με μικρές εστιακές αποστάσεις δίνουν πολύ υψηλές πυκνότητες ενέργειας, αλλά είναι περιορισμένοι ως προς την εφαρμογή τους εξ' αιτίας του ρηχού βάθους κοπής και των λεπτών υλικών (γιατί το πλάτος της εγκοπής πρέπει να είναι μεγαλύτερο στα χοντρά υλικά για να επιτρέπει την αποτελεσματική εκροή του λιωμένου υλικού). Είναι κατάλληλοι για χρήση σε λεπτά υλικά και με υψηλές ταχύτητες λειτουργίας όπου το υλικό μπορεί να κρατιέται μέσα στο βάθος κοπής της ακτίνας.

Φακοί με μεγάλες εστιακές αποστάσεις έχουν χαμηλότερες πυκνότητες ισχύος, αλλά είναι σε θέση να διατηρήσουν αυτές τις πυκνότητες πάνω από ένα μεγάλο εύρος και γι' αυτό το λόγο παράγουν ευθύτερες ακμές σε παχύτερα υλικά, απ' ό,τι παράγουν φακοί με μικρότερες εστιακές αποστάσεις. Επομένως, η εστιακή απόσταση (για ένα δεδομένο laser) θα πρέπει να είναι η τελειότερη δυνατή σε σχέση με το πάχος του υλικού που θα κοπεί.

Η επιλογή του κατάλληλου φακού περιέχει έναν συμβιβασμό μεταξύ της πυκνότητας ισχύος και του βάθους εστίασης. Ενώ μικρότερες εστιακές αποστάσεις παρέχουν μικρότερα μεγέθη σημείων με μια υψηλότερη πυκνότητα ισχύος, έχουν και πολύ μικρότερο βάθος εστίασης.

Θέση εστίασης

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας κοπής, το σημείο εστίασης των φακών θα πρέπει να παραμένει σταθερό ώστε να παρέχει τα καλύτερα αποτελέσματα. Στον πίνακα 3.V.III που ακολουθεί παρουσιάζονται τρεις κοινές περιπτώσεις. Πάνω ή κάτω από αυτό το σημείο, η ποιότητα κοπής χειροτερεύει. Τα συστήματα κοπής που έχουν φακούς με μικρές εστιακές αποστάσεις πρέπει να εξασφαλίζουν την σταθερή απόσταση μεταξύ φακών-τεμαχίου.

Η καλύτερη θέση εστίασης εξαρτάται από το πάχος του υλικού και τον τύπο του. Η ευαισθησία της ποιότητα κοπής στην θέση εστίασης επίσης εξαρτάται από τον τύπο και το πάχος του υλικού, καθώς επίσης και της ισχύος του laser. Μια τεχνική η οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να προσδιοριστεί η βελτίωση θέσης εστίασης είναι να ρυθμίσουμε την θέση εστίασης (ενώ κρατούμε την απόσταση απομάκρυνσης σταθερή) ώσπου το πλάτος της εγκοπής να ελαχιστοποιηθεί.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.V.III

ΘΕΣΗ ΕΣΤΙΑΣΗΣ		
ΥΛΙΚΟ	ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΑΕΡΙΟ	ΘΕΣΗ ΕΣΤΙΑΣΗΣ
Ανθρακούχος χάλυβας	Οξυγόνο	Πάνω από την επιφάνεια του υλικού
Μέταλλα	Άζωτο	Κοντά στην επιφάνεια του υλικού
Αμέταλλα	Κανένα	Κάτω από την επιφάνεια του υλικού

3.13 ΒΟΗΘΗΤΙΚΟ ΑΕΡΙΟ

Αντιδραστικό ή αδρανές

Όπως αναφερθήκαμε, το βοηθητικό αέριο παρέχεται ομοαξονικά με την εστιασμένη ακτίνα για να προστατεύσει τους φακούς και να βοηθήσει στη διαδικασία απομάκρυνσης του υλικού. Γενικά, ο συμπιεσμένος αέρας χρησιμοποιείται για να εξάγει το λιωμένο και το ατμοποιημένο υλικό από τη ζώνη κοπής, καθώς και να ελαχιστοποιήσει τα υπερβολικά καψίματα. Για τις περισσότερες εφαρμογές κοπής μετάλλων, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα αντιδραστικό αέριο (π.χ. οξυγόνο) για να δημιουργηθεί μια εξωθερμική αντίδραση. Το οξυγόνο δημιουργεί ένα ακτινωτό μέτωπο καύσης (εξωθερμική αντίδραση) μπροστά από την ακτίνα, το οποίο μπορεί να βελτιώσει τις ταχύτητες κοπής κατά 25-40% πάνω από τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται με χρήση αέρα. Η οξειδωτική αντίδραση σε μαλακούς χάλυβες μπορεί να καλύπτει το 40% σχεδόν της συνολικής ενέργειας κοπής. Ωστόσο, όταν η εισερχόμενη ενέργεια από την εξωθερμική αντίδραση είναι πολύ μεγαλύτερη από την εκροή του λιωμένου υλικού, υπάρχει η πιθανότητα να εμφανιστεί μη ελεγχόμενο κάψιμο [όταν η θερμοκρασία του κυρίως υλικού υπερβεί τους 95°C (200°F)].

Υπάρχουν αρκετές τεχνικές για την μείωση της θερμοκρασίας του κυρίως υλικού και επομένως και των πιθανών καψιμάτων:

- a) Ρυθμιστής της συχνότητας του παλμού.
- b) Κλιμακωτή ισχύς.
- c) Ψύξη.
- d) Λείανση της κοπής.
- e) Κοπή με βοηθητικό αέριο.

Το αργόν χρησιμοποιείται ως βοηθητικό αέριο για κοπή τιτανίου ενώ το αμμώνιο χρησιμοποιείται για μέταλλα που είναι ευαίσθητα στο οξυγόνο ώστε να αποφύγουμε τον σχηματισμό σκληρών οξειδίων δίπλα στην εγκοπή (π.χ. οξείδια του χρωμίου όταν κόβουμε χρωμονικελιούχο ανοξείδωτο χάλυβα).

Ωστόσο η κοπή με αντιδραστικό αέριο είναι κατά 10-50% μικρότερης ταχύτητας από την κοπή με οξυγόνο, και χρησιμοποιείται ειδικά όταν απαιτείται μια ακμή κοπής ελεύθερη από οξείδια.

Πίεση

Όπως και ο τύπος του αερίου έτσι και η πίεση είναι ένα σπουδαίο χαρακτηριστικό. Με βάση ότι η κοπή με laser παράγει στενές εγκοπές, η απαιτούμενη πίεση του βοηθητικού αερίου είναι συχνά υψηλή γιατί μόνο ένα ποσοστό του αερίου ρέει ανάμεσα από την στενή εγκοπή. Χαρακτηριστικά, πίεση της τάξης των 3-4 bar (45-60psi) αναπτύσσεται στο ακροφύσιο του αερίου που χρησιμοποιείται για κοπή με οξυγόνο λεπτών υλικών σε υψηλές ταχύτητες ώστε να αποτραπεί η εμφάνιση της σκουριάς στις πίσω ακμές.

Επιπρόσθετα με την υψηλή πίεση, η χρήση αντιδραστικών αερίων (όταν είναι αποδεκτά μεταλλουργικώς) σε μεταλλικά υλικά ελαχιστοποιεί την ποσότητα της σκουριάς. Γενικά, η πίεση μειώνεται όσο αυξάνει το πάχος του υλικού ή όσο μειώνεται η ταχύτητα. Ωστόσο, στις περιπτώσεις του ανοξείδωτου χάλυβα και του αλουμινίου, απαιτείται υψηλότερη πίεση όσο αυξάνει το πάχος των υλικών. Οι μετρητές πίεσης θα πρέπει να τοποθετούνται απ' ευθείας (ή όσο το δυνατόν πιο κοντά) στο ακροφύσιο του αερίου ώστε να βεβαιώνουν την ακριβή ένδειξη της πραγματικής πίεσης κοπής.

Σε κάποιες περιπτώσεις όπως στην κοπή δίχως οξείδια, η πίεση του αερίου (αζώτου) μπορεί να φτάνει τα 27bar (400 psi). Σε τέτοιες καταστάσεις, πρέπει να χρησιμοποιούνται χοντρότεροι εστιακοί φακοί ώστε να αντέχουν τις υψηλές πιέσεις. Για κοπή πλαστικών (π.χ. πολυπροπυλένιο, πολυστυρόλιο και πολυαιθυλένιο), η πολύ μικρή πίεση μπορεί να οδηγήσει σε ανάφλεξη του λιωμένου υλικού και μέσα από τις φλόγες που παράγονται, μπορεί να έχουμε παραμόρφωση, ανάφλεξη ή λιώσιμο του τεμαχίου.

Επιπρόσθετα το λιωμένο υλικό εκρέει λιγότερο αποτελεσματικά, και γι' αυτό το λόγο η ταχύτητα κοπής μειώνεται. Από την άλλη, πολύ υψηλή πίεση του αερίου αυξάνει την τραχύτητα των ακμών κοπής εξαιτίας του

στροβιλισμού του αερίου. Η κοπή πλαστικών μέσω ατμοποίησης (π.χ. ακρυλικά) αντιδρά διαφορετικά στις αλλαγές της πίεσης. Εάν η πίεση του αερίου είναι πολύ υψηλή, η κανονική ακμή αλλάζει σε μια ακμή με άσχημη καμένη εμφάνιση. Εάν η πίεση είναι πολύ μικρή, η ατμοποίηση στην ζώνη κοπής μπορεί να επιφέρει μια κίτρινη αιθαλώδη φλόγα η οποία μπορεί να βλάψει το τεμάχιο.

Ροή

Οι σωληνοειδείς αγωγοί του βοηθητικού αερίου καθώς και το μέγεθος των γραμμών παροχής πρέπει να επιλέγονται για την μέγιστη πίεση και ρυθμό παροχής που απαιτούνται. Εδώ πρέπει να σημειωθεί ότι σε κοπή υψηλής πίεσης, ο τύπος του αερίου (αντιδραστικό αέριο) και η κατανάλωση αυτού επιφέρουν ένα κόστος στην διαδικασία το οποίο είναι σημαντικά υψηλότερο από αυτό της κοπής με χαμηλή πίεση. Για υπερηχητική ροή [για πίεση στο ακροφύσιο μεγαλύτερη από 0,9 bar (13 psi) για οξυγόνο, άζωτο και αέρα και μεγαλύτερη από 1,1 bar (15 psi) για αργόν και ήλιο], η κατανάλωση (Q) του αερίου σε λίτρα ανά λεπτό μπορεί εύκολα να υπολογιστεί γνωρίζοντας τη διάμετρο (Φ) του στομίου εκροής σε χιλιοστά και την μετρούμενη πίεση στο ακροφύσιο (P_g) σε bar.

Στον πίνακα 3.Ι.Χ που ακολουθεί παρουσιάζονται τα κυριότερα αέρια και οι εφαρμογές τους.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.IX

ΤΥΠΟΙ ΒΟΗΘΗΤΙΚΩΝ ΑΕΡΙΩΝ ΚΑΙ ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΟΥΣ		
Τύπος αερίου	Κυριότερες εφαρμογές	Σχόλια
Οξυγόνο	Μαλακό χάλυβα, ανοξείδωτο χάλυβα, χαλκό	Αυξάνει την ταχύτητα κοπής. Υπάρχει κίνδυνος καψιμάτων. Σχηματίζονται στρώμα οξειδίου στην ακμή κοπής
Άζωτο	Ανοξείδωτος χάλυβας, αλουμίνιο, μαλακός χάλυβας, κράματα νικελίου	Μικρότερες ταχύτητες κοπής, καθαρές επιφάνειες (δίχως στρώματα οξειδίων κατάλληλες για συγκόλληση).
Αέρας	Λεπτό αλουμίνιο, πλαστικά, ξύλο, γυαλί, χαλαζίας	Πολύ φθηνή εφαρμογή για πάνω από 1,5mm
Αργόν / Ήλιον	Τιτάνιο	Το αργόν είναι σχετικά ακριβό. Το ήλιον ή το μίγμα ηλίου αργού μεγιστοποιεί την Θ.Ε.Ζ.

3.14 ΠΑΛΜΟΣ

Η ισχύς που παράγεται από ένα laser είναι είτε της μορφής πολύ μικρής, εντατικής έκρηξης ενέργειας ή μιας σταθερής ροής ισχύος. Αν και υπάρχουν κάποιες επικαλύψεις των εφαρμογών, υπάρχουν χαρακτηριστικές περιοχές όπου ένα laser παλμών ή ένα laser σταθερού κύματος (CW) είναι πιο κατάλληλα.

Δύο τύποι παλμών είναι διαθέσιμοι, ο κανονικός και ο υπερπαλμός. Στον κανονικό παλμό, το ρεύμα ανάβει και διακόπτεται έχοντας ως αποτέλεσμα έναν παλμό εξόδου στον οποίο το μέγιστο σημείο ισχύος του παλμού είναι περίπου ίσο με την ισχύ του CW. Στον υπερπαλμό, υψηλότερου ρεύματος παλμοί παράγονται για να διεγείρουν την ακτίνα laser μέτριας ενέργειας, έχοντας ως αποτέλεσμα μέγιστη ισχύ 2-8 φορές αυτές του συνεχούς κύματος (CW). Αυτό επιτρέπει στα μικρής έως μεσαίας ισχύος laser συνεχούς κύματος να επιτύχουν τέτοιες ενέργειες ώστε να φτάσουν την θερμοκρασία ατμοποίησης των περισσότερων υλικών. Σε κάποια laser τα προγράμματα υπερπαλμού μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με συνεχούς κύματος ισχύ. Σε άλλες περιπτώσεις η επακόλουθη μικρή διάρκεια παλμού εγγυάται την ελάχιστη παροχή θερμότητας, η οποία είναι ιδιαίτερα σημαντική για τεμάχια ευαίσθητα στην παραμόρφωση.

Τα laser συνεχούς κύματος διατηρούν την έξοδό τους πάνω από το υλικό στο άνοιγμα της διαδικασίας. Το κύριο πλεονέκτημα του συνεχούς κύματος είναι ότι παρέχει μεγαλύτερο ποσό ισχύος ανά μονάδα χρόνου. Αυτό οδηγεί σε ταχύτερους ρυθμούς τροφοδοσίας από αυτούς των παλμικών τρόπων. Ενώ παρέχει περισσότερη θερμότητα στο τεμάχιο, η επακόλουθη ποιότητα των ακμών είναι συγκρίσιμη με αυτήν της παλμικής κοπής για τα περισσότερα υλικά.

Πλάτος παλμού

Μεγάλα διαστήματα πλάτους επιφέρουν μικρές τιμές μεγίστης ισχύος και προκαλούν κοπή με υπερβολικά μεγάλο πλάτος εγκοπής. Επιπρόσθετα, οι μικρές, τιμές πυκνότητας ισχύος επιφέρουν μεγαλύτερη ολική παροχή θερμότητας στο εξάρτημα.

3.15 Η ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ ΨΥΚΤΙΚΟΥ ΜΕΣΟΥ

Το ψυκτικό μέσο (συνήθως νερό ή νερό με κάποια αντιδιαβρωτική ουσία) παρέχεται στην ζώνη κοπής συνήθως μέσω της κεφαλής κοπής (ομοαξονικά με το βοηθητικά αέριο) και απομακρύνεται από το κενό, ή ανακυκλοφορεί στο σύστημα και τα δύο μαζί. Μια ελαφρώς υψηλότερη πίεση του βοηθητικού αερίου [περίπου 2 bar (30psi)] είναι απαιτούμενη για να κρατάει το ψυκτικό μέσο έξω από την εγκοπή. Εξαιτίας της πίεσης του αερίου και της ροής που εκτοπίζει το ψυκτικό μέσο μακριά από την άμεση ζώνη εγκοπής, η παρουσία του νερού δεν επηρεάζει σημαντικά την ταχύτητα κοπής. Ωστόσο τα τεμάχια που θα κοπούν, θα πρέπει να στεγνώνουν μετά την κοπή για να αποφεύγουμε την διάβρωσή τους. Η χρήση του ψυκτικού μέσου στην κοπή με laser έχει αρκετά βασικά πλεονεκτήματα:

1. Η χρησιμοποίηση του ψυκτικού μέσου κατά τη διάρκεια της κοπής μπορεί να μειώσει την Θ.Ε.Ζ. στους ανθρακούχους χάλυβες, το αλουμίνιο και το τιτάνιο.
2. Το ψυκτικό μέσο μειώνει την θερμική παραμόρφωση των ελασμάτων όταν κόβουμε λεπτά υλικά.
3. Η χρήση του ψυκτικού μέσου μπορεί να μειώσει την φθορά του χρώματος και της επικάλυψης κοντά στην ζώνη κοπής σε τεμάχια που έχουν βαφεί ή έχουν κάποια επικάλυψη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ ΜΕ LASER

4.1 ΑΡΧΕΣ ΚΑΙ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ ΜΕ LASER

Το κεφάλαιο αυτό περιγράφει τον τύπο της συγκόλλησης με laser, τα χαρακτηριστικά που την ξεχωρίζουν από άλλες τεχνικές και τις απαραίτητες προϋποθέσεις για να επιλεγεί.

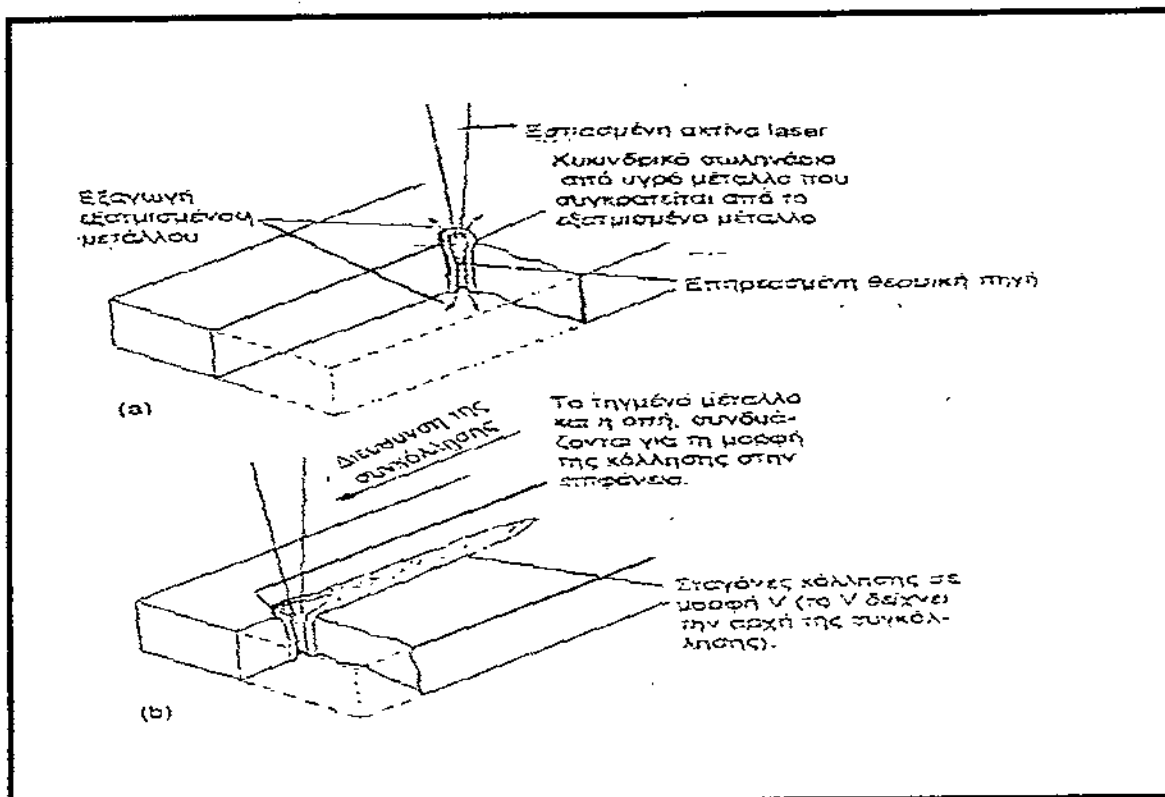
4.1.1 Συγκόλληση με laser

Η συγκόλληση με laser είναι μια τεχνική συγκόλλησης που επιτυγχάνεται με μια υψηλής ισχύος πυκνότητα, αποκτημένη από την εστίαση μιας ακτίνας laser, σε ένα συγκεκριμένο σημείο. Η ακτίνα laser εστιάζεται πολύ κοντά στην επιφάνεια των υλικών που θα ενωθούν. Έτσι, την πρώτη στιγμή, ένα μεγάλο ποσοστό της προσπίπτουσας ακτίνας ανακλάται από την επιφάνεια εργασίας, για μια μικρή περίοδο. Αυτό συμβαίνει διότι τα περισσότερα μέταλλα είναι καλοί ανακλαστήρες. Ένα μικρό ποσοστό της ακτίνας laser, που αρχικά προσροφάται από την εργασία, καίει γρήγορα την επιφάνεια του υλικού, προκαλώντας την προσρόφηση ενέργειας από το μέταλλο που εξατμίζεται, με αποτέλεσμα την γρήγορη επιτάχυνση της απορρόφησης τόσης ενέργειας, όσης από πριν είχε ανακλαστεί.

Σε μια πυκνότητα εστιασμένης δύναμης η ταχύτητα του μετακινούμενου υλικού που εξατμίζεται προκαλεί μια μικρή οπή (μια πολύ μικρή διαμετρική κυλινδρική δέσμη ακτίνων) μέσα στο υλικό. Καθώς η οπή διεισδύει βαθύτερα μέσα στο κομμάτι, η ακτίνα laser διασκορπίζεται επαναληπτικά μέσα σε αυτό, αυξάνοντας τη ζεύξη της ενέργειας του laser μέσα στην εργασία.

Καθώς μεταδίδεται η ακτίνα του laser η οπή παραμένει ανοικτή από την πίεση εξάτμισης, που εμποδίζει τα ρευστά τοιχώματα να καταρρεύσουν (σχήμα 4.1).

Αν το laser εφαρμοσθεί με ένα τρόπο παλμικής ενέργειας, το ρευστό μέταλλο θα κατακαθίσει στο κέντρο της οπής και θα στερεοποιηθεί με την ολοκλήρωση του παλμού, αφήνοντας μερικές φορές ένα ελαφρό εγκοπτόμενο κορδόνι, που οφείλεται στην έλλειψη μετάλλου μέσω της ατμοποίησης, όταν πρωτοδημιουργήθηκε η οπή.



Σχήμα 4.1 Α) Οπή συγκόλλησης με laser

Β) Η κίνηση κατά μήκος του κομματιού και η μορφή της συνεχούς συγκόλλησης

Όταν το laser εφαρμοσθεί με ένα τρόπο συνεχόμενου κύματος (όχι παλμικού), το ρευστό υλικό στην μπροστινή ακμή της οπής, παράγει ένα μικρό κύμα. Καθώς η ακτίνα προχωράει, το κύμα κατακάθεται στο πίσω μέρος της οπής, και τα ρευστά τοιχώματα στην οπίσθια ακμή ενώνονται και στερεοποιούνται στο βάθος της. Αυτή η ενέργεια αφήνει ένα ελαφρό

προεξέχον επιφανειακό κορδόνι (στην κορυφή) και ένα ίχνος που δείχνει την αρχή της συγκόλλησης. Το κορδόνι στην κορυφή είναι γενικά απλό και έχει καλύτερη αισθητική όψη σε σχέση με την συμβατική ηλεκτροσυγκόλληση.

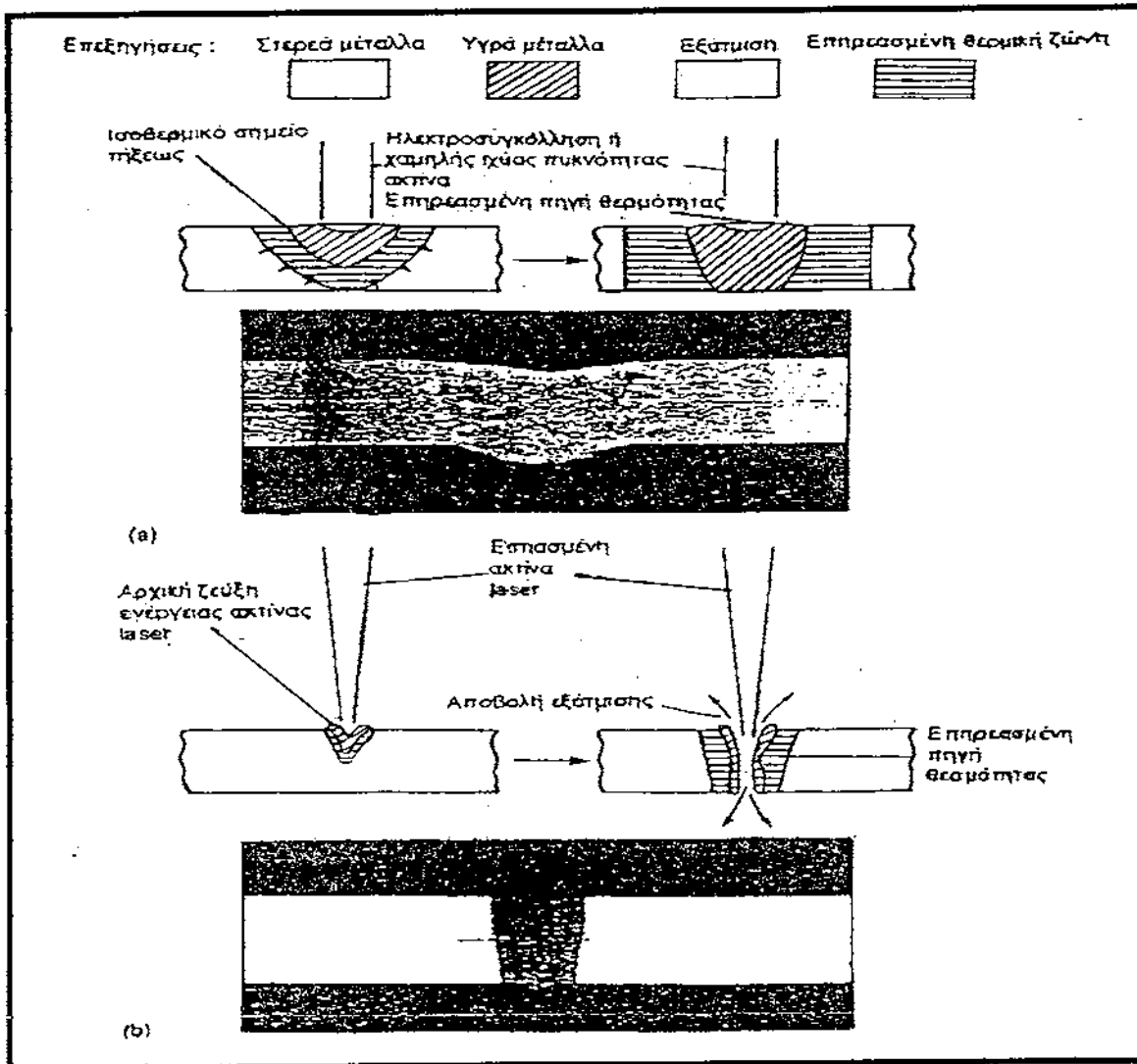
Παρ' όλα αυτά, η υπερβολική ισχύς σπάνια παράγει εξατμίσεις στην συγκόλληση, ειδικά όταν συγκολλούνται λεπτές επιφάνειες με μεγάλη ταχύτητα. Αυτό συμβαίνει διότι η περισσότερη από την ισχύ εξαφανίζεται από τον πυθμένα της οπής.

4.1.2 Χαρακτηριστικά μεθόδου

Καθώς η συγκόλληση με laser είναι μιας υψηλής ισχύος πυκνότητας διαδικασία, δεν εξαρτάται αποκλειστικά από την μετάδοση θερμότητας για να επιτυχανθεί η διείσδυση της κόλλησης, και είναι αρκετά διαφορετική από τις άλλες συμβατικές ηλεκτροσυγκολλήσεις και συγκολλήσεις αερίου. Με αυτές τις δύο τεχνικές, η τήξη της συγκόλλησης και η διείσδυση επιτυγχάνεται καθώς η θερμότητα μεταδίδεται στα υλικά (σχήμα 4.2). Το εύρος της κολλήσεως που παράγεται με αυτές τεχνικές, είναι συνήθως μεγαλύτερο από το βάθος της και η εσωτερική θερμότητα είναι περισσότερη από την αυστηρά απαραίτητη για να εξασφαλιστεί το απαιτούμενο συγκολλητικό βάθος. Λίγα χιλιοστά πιο δίπλα, το βάθος διείσδυσης των συγκολλήσεων αερίου και ηλεκτροσυγκολλήσεων περιορίζεται και η ένωση πρέπει να επιτευχθεί με V διεισδυτική εγκοπή. Αυτή πρέπει να συμπληρωθεί με ρευστό συρμάτινο παρέμβυσμα ή με ράβδο και από ένα αριθμό από ξεχωριστές συγκολλητικές επικαλύψεις.

Η τεχνική συγκόλλησης με laser με οπή μεταφέρει θερμότητα από την πηγή του laser μέσα στο υλικό και όχι μόνο σε ένα συγκεκριμένο σημείο της επιφάνειας, αλλά σε μια γραμμή που προεκτείνεται στο πάχος του υλικού. Το βάθος διείσδυσης της κόλλησης περιορίζεται μόνο από την ισχύ του laser που είναι διαθέσιμο. Έτσι 1 KW μιας σωστής εστιασμένης ακτίνας laser μπορεί να κολλήσει σε βάθος 1,5 mm, με ταχύτητα 1 m/min σε κόλληση χάλυβα. Ομοίως 10 KW κολλάει σε βάθος 15 mm.

Συνεπώς πιο παχιά υλικά μπορούν να συγκολληθούν με ένα απλό πέρασμα, σε αντίθεση με την ηλεκτροσυγκόλληση και τη συγκόλληση αερίου, όπου μειώνεται ο χρόνος παραγωγής και εξαλείφεται το κόστος του συρμάτινου παρεμβύσματος.



Σχήμα 4.2 Η διαφορά μεταξύ :

- A) της μορφής συγκόλλησης με μετάδοση και
- B) της μορφής συγκόλλησης με σπή.

Τα υλικά και των δύο μορφών συγκολλήσεων είναι μαλακοί χάλυβες πάχους 3 mm.

4.2 ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΜΕ ΑΛΛΕΣ ΜΕΘΟΔΟΥΣ

Καμινοσυγκόλληση

Η καμινοσυγκόλληση είναι η πιο παλιά μέθοδος συγκόλλησης μετάλλων. Η χρήση της σήμερα έχει περιοριστεί σε ειδικές μόνο περιπτώσεις, λόγω των πολλών μειονεκτημάτων που παρουσιάζει έναντι άλλων σύγχρονων μεθόδων συγκόλλησης.

Κατά την καμινοσυγκόλληση τα προς συγκόλληση μεταλλικά τεμάχια θερμαίνονται σε καμίνι, μέχρι να πυρακτωθούν. Κατόπιν τοποθετούνται πάνω στο αμόνι στη θέση που πρόκειται να συγκολληθούν (συνήθως με επικάλυψη των άκρων τους) και σφυρηλατούνται με τα ειδικά σφυριά του καμινευτή. Τα σφυριά αυτά μπορεί να είναι του ενός χεριού με βάρος 1Kg έως 2 Kg ή βαριές που χειρίζονται από το βοηθό του καμινευτή με τα δύο χέρια. Οι βαριές έχουν συνήθως βάρος 5 έως 10 Kg.

Με τη σφυρηλάτηση, τα μέρη του ενός άκρου εισχωρούν στα μέρη του άλλου και πραγματοποιείται η συγκόλλησή τους. Σε ειδικές περιπτώσεις τα άκρα των προς συγκόλληση τεμαχίων λοξοτομούνται σε αρσενική και θηλυκή διαμόρφωση, ώστε κατά τη σφυρηλάτησή τους να «δέσουν» ευκολότερα και καλύτερα.

Για να πραγματοποιηθεί μια καλής ποιότητας καμινοσυγκόλληση, θα πρέπει τα προς συγκόλληση άκρα να μην έχουν σκουριές. Για αυτό, όταν τα τεμάχια βρίσκονται στο καμίνι και αρχίζουν να πυρακτώνονται, ο καμινευτής τα ραντίζει με βόρακα, ώστε να απαλλαγούν από τις οξειδώσεις και να συγκολληθούν χωρίς προβλήματα.

Η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων (E.B.W.)

Οι συγκολλήσεις με δέσμη ηλεκτρονίων, βασίζονται στο βομβαρδισμό των προς συγκόλληση επιφανειών των μετάλλων με δέσμη ηλεκτρονίων μεγάλης ταχύτητας. Η διαδικασία της συγκόλλησης πραγματοποιείται με ειδικές μηχανές, οι οποίες έχουν την ικανότητα να εκπέμπουν και να συγκεντρώνουν μεγάλο αριθμό ηλεκτρονίων (από την κάθοδο), να τα επιταχύνουν μέσα από μια μικρή τρύπα της ανόδου, ώστε να αποκτούν μεγάλη ταχύτητα και να τα επικεντρώνουν (με ηλεκτρομαγνήτες) στα σημεία συγκόλλησης. Όλες οι πιο πάνω φάσεις συντελούνται σε ειδικό χώρο της μηχανής υπό κενό. Έτσι όλη η κινητική ενέργεια των ηλεκτρονίων μετατρέπεται σε θερμότητα, η οποία θερμαίνει τα προς συγκόλληση μέταλλα, μέχρι του σημείου σύντηξής τους, με συνέπεια τη συγκόλλησή τους,

Για την επιτάχυνση της δέσμης των ηλεκτρονίων χρησιμοποιείται ρυθμιζόμενη τάση, η τιμή της οποίας κυμαίνεται μεταξύ 30 και 100 kV, ανάλογα με την απαιτούμενη για κάθε συγκόλληση επιτάχυνση. Η ηλεκτρική τάση επηρεάζει το μέγεθος της επιτάχυνσης, η οποία με τη σειρά της καθορίζει την ανάπτυξη της θερμότητας, ενώ η ένταση του ρεύματος έχει σχέση με τη διείσδυση της συγκόλλησης. Το μεγάλο πλεονέκτημα των συγκολλήσεων με δέσμη ηλεκτρονίων είναι η εξαιρετικά μεγάλη διείσδυση της δέσμης ηλεκτρονίων στα προς συγκόλληση μέταλλα, αλλά σε πάρα πολύ μικρή έκταση (μικρή διάμετρος των σημείων συγκόλλησης). Έτσι η ζώνη που επηρεάζεται θερμικά (ZEΘ) περιορίζεται σημαντικά, με όλα τα θετικά αποτελέσματα που προκύπτουν στην κρυσταλλική δομή των γειτονικών περιοχών της συγκόλλησης. Με τη μέθοδο της δέσμης ηλεκτρονίων μπορούν να συγκολληθούν σχεδόν όλα τα μέταλλα, από τα πιο δύστηκτα όπως οι ανοξείδωτοι χάλυβες κτλ., μέχρι και ανόμοια μεταλλικά τεμάχια. Όμως η χρήση των συσκευών συγκόλλησης με δέσμη ηλεκτρονίων είναι πολύ περιορισμένη, γιατί το κόστος αγοράς τους είναι μεγάλο και η χρήση τους απαιτεί πολύ καλή εκπαίδευση.

Συγκόλληση με υπερήχους

Η μέθοδος συγκόλλησης με υπερήχους είναι γνωστή από τη δεκαετία του 50 και βασίζεται στη χρήση υπερήχων με συχνότητα παλμών πάνω από 4000 / s. Όμως χρησιμοποιείται και σήμερα σε ειδικές περιπτώσεις συγκολλήσεων χαλκού, νικελίου, αλουμινίου ή ακόμη και ανόμοιων μετάλλων, που η συγκόλλησή τους με άλλες μεθόδους θα απαιτούσε υψηλές θερμοκρασίες, με συνέπεια πιθανές παραμορφώσεις των μεταλλικών τεμαχίων. Στη συγκόλληση με υπερήχους, τα άκρα των προς συγκόλληση μεταλλικών τεμαχίων τοποθετούνται σε θέση επικάλυψης και στερεώνονται στη μηχανή συγκόλλησης. Σε αυτή τη θέση τα προς συγκόλληση άκρα συμπιέζονται και ταυτόχρονα τροφοδοτούνται με ρεύμα υψηλής συχνότητας (υπερήχους). Η θερμοκρασία που αναπτύσσεται στα σημεία επαφής των ηλεκτροδίων με τα προς συγκόλληση τεμάχια είναι επιφανειακή και σαφώς μικρότερη από τη θερμοκρασία τήξης των μετάλλων. Όμως σε συνδυασμό με την εφαρμοζόμενη πίεση επιτυγχάνεται η συγκόλληση των τεμαχίων, χωρίς παραμορφώσεις ή άλλες αρνητικές επιπτώσεις.

4.2.1. Πλεονεκτήματα

Η συγκόλληση με laser με ακτίνα ισχυρής πυκνότητας της τάξης 10^4 W/mm² έχει εξαιρετικά πλεονεκτήματα, που επιτρέπουν ταχύτητες συγκόλλησης μερικών μέτρων ανά λεπτό και εσωτερικές θερμότητες που είναι πολύ μικρότερες από αυτές που αναπτύσσουν οι ηλεκτροσυγκολλήσεις σε κάποιο συγκεκριμένο κομμάτι. Επιπροσθέτως, το παράλληλο σχήμα της κόλλησης με laser και η πολύ στενή ζώνη που επηρεάζεται από τη θερμότητα, προκαλεί ελάχιστη παραμόρφωση στο υλικό.

Επειδή η οπή της κόλλησης με laser μπορεί να επεκταθεί σε μια βαθιά στενή γραμμή μέσα στο υλικό, παρέχει και άλλα πλεονεκτήματα εκτός της συγκολλητικής ταχύτητας και της ελάχιστης παραμόρφωσης. Η ικανότητα βαθιάς διείσδυσης επιτρέπει να συγκολληθεί αρκετό στρώμα υλικού με ένα πέρασμα.

Ένα άλλο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι ότι η κόλληση μπορεί να τοποθετηθεί ακριβώς εκεί που απαιτείται π.χ. σε ένα ακριβό σημείο στηρίγματος. Αυτή η άποψη είναι ιδιαίτερος σημαντική, διότι η κόλληση που ενώνει 2 μέρη σε όλο το πάχος τους είναι πολύ ισχυρή στην κόπωση και στον εφελκυσμό, καθώς επιτρέπει στις γραμμές τάσεως να διαπεράσουν την ένωση ομαλά.

Σε μια ένωση με μερική διείσδυση, οι γραμμές της τάσεως κυρτώνουν στο πέρασμά τους από την ένωση, αυξάνοντας έτσι την συγκέντρωση των τάσεων που μειώνουν την αντοχή στην κόπωση.

Η στενή κωνική ακτίνα laser όταν εστιάζεται προσφέρει ελαστική σχεδίαση. Έτσι υπάρχει πρόσβαση σε διαμορφώσεις κολλήσεων που δεν είναι δυνατόν να επιτευχθούν με άλλες τεχνικές, όπως συναρμογή στα άκρα μεταξύ γρναζιών. Η ικανότητα που προσφέρεται από την ακτίνα laser επιτρέπει να κατασκευαστούν εξαρτήματα όπου η πρόσβαση είναι εφικτή μόνο από τη μια πλευρά, όπως πίνακες που περιέχουν αυλακωτές μήτρες. Ακόμα πιο ελαστική

κατεργασία πετυχαίνεται με μια όχι εστιασμένη ακτίνα laser όπου μπορεί να μεταδοθεί μερικά μέτρα, χωρίς σοβαρή απώλεια ενέργειας.

Ωστόσο, ορισμένα μηχανήματα μπορούν να διανείμουν το laser προσφέροντας μεγαλύτερη παραγωγή ενός τεμαχίου ή μια σειρά από διαφορετικά τεμάχια. Τέλος, η ακτίνα laser μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για ακανόνιστης μορφής κομμάτια, χρησιμοποιώντας robot.

Θέσεις συγκόλλησης

Για την ασφάλεια του χειριστή, και για κάθε άλλο πρόσωπο, η μηχανή του laser πρέπει να έχει μηχανικό χειρισμό, αν απαιτείται η εργασία σε ένα ακίνητο κομμάτι. Ωστόσο, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ανεξαρτήτως σε όλες τις κατευθύνσεις συγκόλλησης. Πάντως, αν χρησιμοποιηθεί ένα πλαίσιο άνευ κόστους στην έξοδο της μηχανής laser είναι φυσιολογικός ο χειρισμός της μηχανής του laser σε οριζόντια θέση, για αποφυγή του «πιτσιλίσματος» της συγκόλλησης και της καταστροφής του οπτικού εστιασμού. Η ικανότητα να μετακινείται σε υψηλές θέσεις, οφείλεται στην υψηλή επιφανειακή τάση σε μια στενή συγκολλητική οπή και στην ταχύτητα κόλλησης, εμποδίζοντας το ρευστό μέταλλο να υποχωρήσει κάτω από την επίρεια της βαρύτητας. Για τον ίδιο λόγο, οι πίσω ράβδοι της συγκόλλησης δεν είναι απαραίτητες, όταν η συγκόλληση είναι στην κατακόρυφη θέση.

Υλικά

Το laser μπορεί να κολλήσει σχεδόν τον ίδιο αριθμό υλικών, όπως κάθε άλλη τεχνική συγκόλλησης, ωστόσο ο χαλκός, το αλουμίνιο και τα παράγωγά τους παρουσιάζουν δυσκολίες. Αυτό κυρίως συμβαίνει διότι αυτά τα υλικά δεν προσροφούν εύκολα την ακτίνα laser, διότι είναι καλοί ανακλαστήρες. Σαν γενικός οδηγός, η λιγότερη θερμική αγωγιμότητα ή η περισσότερη ηλεκτρική ειδική αντίσταση ενός υλικού, κάνουν το υλικό κατάλληλο να απορροφήσει το φως του laser. Οι βαθμοί συγκολλησιμότητας του χάλυβα και του ανοξείδωτου χάλυβα είναι ιδανικοί για τη συγκόλληση τους με laser.

Διαμορφώσεις των ενώσεων

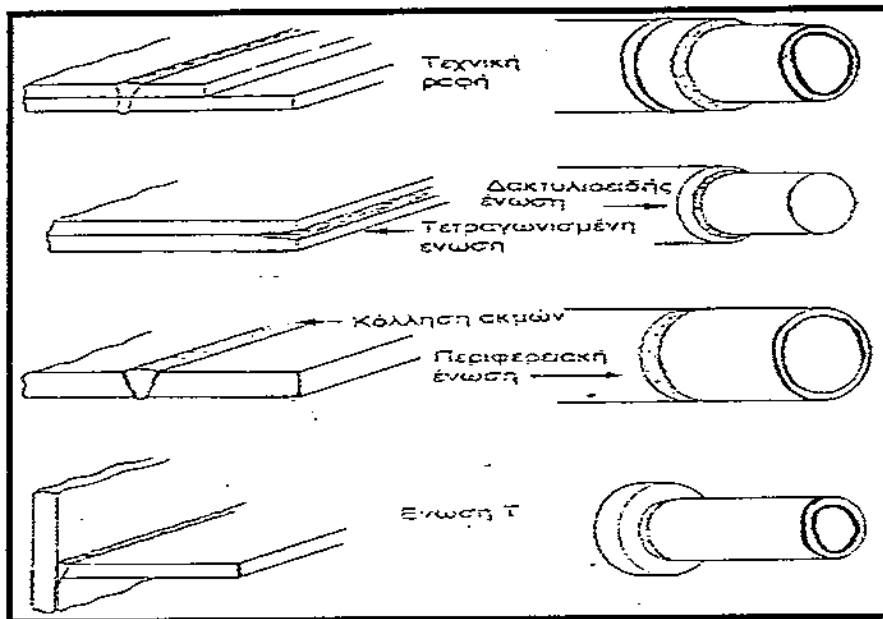
Η συγκόλληση με laser μπορεί να εφαρμοσθεί στις περισσότερες βασικές εφαρμογές (σχήμα 4.3). Από τις πιο συχνές διαμορφώσεις ενώσεων, σε δυο πιο δύσκολες για συγκόλληση με laser είναι μεταξύ δυο στερεών στρογγυλών ράβδων, και η ένωση T σε στρογγυλούς σωλήνες.

Στην ένωση μεταξύ στερεών ράβδων, η ταχύτητα συγκόλλησης μειώνεται καθώς η σπή πλησιάζει το κέντρο της ράβδου. Αυτό προκαλεί υπερβολική θερμότητα στο κέντρο της ένωσης και πιθανότητα καταστροφής του υλικού και του πορώδους της συγκόλλησης. Αυτού του είδους οι κολλήσεις είναι προτιμότερο να γίνονται με ηλεκτρικές συγκολλήσεις ή με τεχνικές συγκόλλησης με τριβή.

Η ένωση T σε στρογγυλούς σωλήνες, παρουσιάζει δυσκολίες στην εν μέρει εφαρμογή και παρακολούθηση της γραμμής ενώσεως. Στις μεγάλες κατασκευές το αποτέλεσμα είναι απίθανο να επιτευχθεί χωρίς τοβοτ. Πάντως και οι δυο δυσκολίες, μπορούν να ξεπεραστούν εύκολα, χρησιμοποιώντας βοήθεια από την τεχνική της ηλεκτροσυγκόλλησης και την προσθήκη υλικού σαν συμπλήρωση. Το παράδειγμα με τους σωλήνες, είναι χαρακτηριστικό για να καταλάβουμε την αξία:

- Του τύπου της ένωσης και
- Του μεγέθους του εξαρτήματος

Τα παραπάνω αποτελούν τις κυριότερες παραμέτρους για την επιλογή της τεχνικής της συγκόλλησης με laser. Επίσης είναι σημαντική η απόλυτη βεβαίωση, αν είναι δυνατόν, της πρακτικής, του κόστους και της δυνατότητας του χειρισμού του laser.



Σχήμα 4.3 Βασικές διαμορφώσεις ενώσεων που μπορούν να συγκολληθούν

4.2.2 Μειονεκτήματα

Μέχρι τώρα, έχουν περιγραφεί τα χαρακτηριστικά που, κυρίως, παρουσιάζουν θετικά αποτελέσματα. Ωστόσο, όπως όλες οι άλλες τεχνικές, η συγκόλληση με laser έχει και μειονεκτήματα. Το εστιασμένο σημειακό μέγεθος μιας ακτίνας laser, που είναι ένα κλάσμα ενός χιλιοστού στη διάμετρο, απαιτεί κοντινές εφαρμοσμένες ενώσεις (εκτός αν πρόκειται για παράλληλες ενώσεις ή αν χρησιμοποιείται συρμάτινο παρέμβυσμα, διαφορετικά μια μεγάλη ποσότητα της ενέργειας της ακτίνας laser χάνεται μέσα από κάθε κενό μεταξύ των ενώσεων. Επίσης, επειδή το μήκος της ζώνης τήξεως που παράγεται είναι πολύ στενό, μεγάλη προσοχή πρέπει να δοθεί στην ευθυγράμμιση της ακτίνας laser με τη γραμμή ενώσεως.

Η καλή ποιότητα των διαστάσεων του κομματιού και ο καλός χειρισμός του εξοπλισμού που απαιτεί η ακτίνα laser, είναι πολύ σημαντικά για την συγκόλληση με laser. Αυτό είναι απαραίτητο όχι μόνο για την επιτυχία καλής ευθυγράμμισης ακτίνας και γραμμής ενώσεως, αλλά επίσης και για τον έλεγχο της θέσεως εστίασης, της ταχύτητας συγκόλλησης και επιπλέον της ενέργειας που εισέρχεται στην εργασία.

Οι δακτυλιοειδής και οι περιφερειακές ενώσεις, που μπορούν να περιστραφούν ομοκεντρικά με έναν άξονα περιστροφής, μπορούν να κολληθούν συνήθως με ένα απλό και όχι ακριβό εξοπλισμό. Αντίθετα, μεγάλες ευθείς ενώσεις, σε μεγάλα λεπτά ελάσματα, απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στην ευθυγράμμιση και στα συστήματα σύσφιξης. Ομοίως, σε εξαρτήματα με ανώμαλες γραμμές ενώσεως, όπως οι ενώσεις T σε στρογγυλούς σωλήνες, απαιτούν μεγάλη ακρίβεια στην προπαρασκευή και έλεγχο με υπολογιστή στον εξοπλισμό με πολλαπλούς άξονες.

Οι συγκολλήσεις με laser, ιδιαίτερα τα CO₂ laser, δεν είναι φορητά, με την έννοια ότι μπορούν να τοποθετηθούν σε μια θέση. Μικρά laser έχουν τοποθετηθεί επί μονίμου βάσεως σε robot ή σε γερανοφόρα συστήματα, που τα μετατρέπουν σε ημιφορητά, αλλά αποτελούν ακόμα εργαστήρια ή μηχανές που βασίζονται στη γραμμή παραγωγής. Αυτό συμβαίνει κυρίως για 3 λόγους:

1. Τα laser πρέπει να στηρίζονται σε μια σταθερή βάση για να διατηρούν την οπτική ευθυγράμμιση των αντηχείων τους.
2. Για τον χειρισμό τους χρειάζονται υψηλή ηλεκτρική ισχύ και παροχή υψηλής ψύξεως με νερό.
3. Όλες οι περιπτώσεις εργασίας, προϋποθέτουν ειδική ασφάλεια προστασίας περικλείοντας με ασφαλή τρόπο την μηχανή του laser.

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους συγκόλλησης, το laser με όλο τον απαραίτητο εξοπλισμό του, είναι πολύ πιο ακριβό. Γενικά οι εκτιμήσεις είναι ότι το laser κοστίζει 50-200 φορές πιο ακριβά απ' ό τι μια συμβατική βιομηχανική ηλεκτροσυγκόλληση, και χρειάζεται 100-750 φορές περισσότερη ηλεκτρική ισχύ. Ο χειρισμός του laser κοστίζει επίσης ακριβά, λόγω της φτωχής απόδοσης μετατροπής της ενέργειας (τυπικά 5- 10%), σε σχέση με την ισχύ εισόδου που χρειάζεται για να το λειτουργήσει. Το απαιτούμενο μεγάλο κεφάλαιο και το κόστος χειρισμού είναι ορισμένες φορές αντιστάθμισμα στην πολύ υψηλή συγκολλητική παραγωγικότητα. Ωστόσο, για να κρατηθεί το κόστος παραγωγής χαμηλό, απαιτείται η πολύ συχνή χρήση του laser κατά περιόδους.

Διαλέγοντας τη συγκόλληση με laser

Όποια τεχνική και αν χρησιμοποιηθεί για να κατασκευαστεί ένα προϊόν, πρέπει να προτιμηθεί προσεκτικά στο σχεδιαστικό στάδιο, για να εξαχθεί το περισσότερο όφελος. Αυτό δυστυχώς, δεν είναι εύκολο να γίνει στην πράξη διότι πολλοί μηχανικοί δεν είναι εκπαιδευμένοι στην τεχνολογία της συγκόλλησης και δεν έχουν γνώση για τις πολλές και διαφορετικές μεθόδους συγκόλλησης. Ακόμα περισσότερο, κάθε τεχνική έχει ιδιότητες που την κάνουν ιδιαίτερα κατάλληλη για συγκεκριμένες συγκολλητικές εφαρμογές. Σε αυτό το κεφάλαιο, ελπίζουμε ότι ο αναγνώστης έχει κατανοήσει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματα της συγκόλλησης με laser και αναλόγως την περίπτωση θα επιλέξει την τεχνική που επιθυμεί.

Για μεγαλύτερη ευκολία στην επιλογή της συγκόλλησης με laser, παραθέτουμε παρακάτω, στον τα βασικά πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της μεθόδου, με τα κύρια χαρακτηριστικά τους

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Βαθιές στενές ενώσεις.

Με ένα πέρασμα το βάθος διείσδυσης της συγκόλλησης περιορίζεται μόνο από την ισχύ του laser (π.χ. 10 KW laser μπορεί να κολλήσει 15 mm πάχος χάλυβα, με ένα πέρασμα). Αυτό μπορεί να εξαλείψει την ανάγκη για ετοιμασία των V ενώσεων και την προσθήκη παρεμβύσματος.

2. Χαμηλή εσωτερική θερμότητα σε κάθε πλευρά του υλικού από το σημείο ενώσεως.

- Πολύ μικρή θερμική παραμόρφωση στο κομμάτι, δίνοντας τη δυνατότητα να κολληθούν μηχανικά μέρη, χωρίς την προσθήκη βοηθητικών συγκολλητικών μηχανημάτων.
- Οι κολλήσεις μπορούν να γίνουν πολύ κοντά σε ευαίσθητα θερμικώς εξαρτήματα, όπως ηλεκτρονικά κυκλώματα κ.α.
- Μεταλλουργικές καταστροφές (όπως ανεπιθύμητη ανάπτυξη κόκκων και παρατεινόμενη θερμική ανάπτυξη) μειώνονται σημαντικά.

3. Πολύ υψηλή παραγωγή.

- Οι ταχύτητες συγκόλλησης είναι υψηλές και μπορούν να φτάσουν μέχρι και μέτρα το λεπτό.
- Διάφοροι τύποι εργασίας μπορούν να μοιραστούν ένα laser.
- Οι μηχανές συγκόλλησης με laser μπορούν εύκολα να αυτοματοποιηθούν και μπορούν εύκολα να προσαρμοσθούν σε robot.

- Οι κολλήσεις μπορούν να εκτελεσθούν με την μηχανή του laser σε όλες τις θέσεις, σύμφωνα πάντα με τα μέτρα της προστασίας της οπτικής εστίασης, όταν η εργασία γίνεται μεταξύ της οριζόντιας και της κάθετης θέσης.

4. Κολλήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν όπου η πρόσβαση είναι αδύνατη με άλλες τεχνικές και από τη μια πλευρά μόνο.

- Οι κολλήσεις συνήθως μπορούν να τοποθετηθούν ακριβώς στις ενώσεις, αυξάνοντας την αντοχή σε κόπωση και εφελκυσμό σε σύγκριση με άλλες συμβατικές ενώσεις.
- Πολλαπλές στρώσεις υλικού μπορούν να κολληθούν από τη μια πλευρά και με ένα μόνο πέρασμα.
- Οι κολλήσεις μπορούν να γίνουν στη βάση στενών διακένων, όπου είναι απρόσβατες οι άλλες τεχνικές συγκόλλησης.

5. Αυξάνονται οι ευκαιρίες σχεδίασης των εξαρτημάτων.

- Ένα μεγάλο εύρος από διαφορετικές διαμορφώσεις ενώσεων και ανόμοιων παχών υλικών μπορούν να συγκολληθούν, αυξάνοντας τις σχεδιαστικές ευκαιρίες.
- Μειώνονται οι συγκολλητικές επιφάνειες, με αποτέλεσμα την οικονομία υλικού.

ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ

1. Προϋπόθεση κοντινών και καλής σύσφιξης ενώσεων.

- Το μικρό εστιακό σημείο της ακτίνας laser περνάει μέσα από στενά κενά, ιδίως μέσα από λεπτά ελάσματα.
- Φτωχές ενώσεις παράγουν εγκοπές, εκτός αν χρησιμοποιηθεί παρέμβυσμα.

2. Απαραίτητη ακριβής ευθυγράμμιση ακτίνας και ενώσεως.

- Η κόλληση μπορεί εύκολα να χάσει την γραμμή ενώσεως αν δεν τοποθετηθεί ακριβώς.
- Το βάθος της εστίασης είναι μικρό και η θέση της στην επιφάνεια εργασίας πρέπει να διατηρηθεί ακριβώς, για να επιτυχανθεί η επιθυμητή ισχύς πυκνότητας.

3. Απαιτείται η ακρίβεια στο χειρισμό της ακτίνας (και όλου του εξοπλισμού) για τον έλεγχο της εσωτερικής ενέργειας.

- Η εκτέλεση του χειρισμού του εξοπλισμού αφορά αποκλειστικά 2 άτομα.

4. Οι μηχανές βασίζονται σε εργοστάσια.

- Είναι απαραίτητο, η μηχανή του laser να περικλειθεί με ασφαλή τρόπο, για την ασφάλεια του χειριστή. Αυτή η ενέργεια είναι δύσκολο να επιτυχανθεί.
- Η οπτική σταθερότητα του αντηχείου και του συστήματος του laser (που μεταφέρει την ακτίνα laser στην εργασία) είναι υψίστης σημασίας για την εκτέλεση της συγκόλλησης. Επίσης, αυτά τα υλικά πρέπει να διατηρηθούν σε σταθερή βάση.
- Τα ηλεκτρονικά συστήματα και η ψύξη με νερό που απαιτούνται, ειδικά για ένα υψηλής ισχύος CO₂ laser, δεν είναι φορητά.

5. Ο συνολικός εξοπλισμός και ο χειρισμός κοστίζουν ακριβά.

- Σε σύγκριση με τις μηχανές ηλεκτροσυγκόλλησης, το laser με όλο τον απαραίτητο και βοηθητικό εξοπλισμό είναι εξαιρετικά δαπανηρό, για τον χειρισμό του και την αγορά του.

4.3 ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΥΛΙΚΑ ΓΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕ LASER

Αυτή η παράγραφος περιγράφει τα υλικά που μπορούν να συγκολληθούν με laser, τα αποτελέσματα των κραματομένων στοιχείων και τις επιστρώσεις των επιφανειών στη συγκόλληση, με κοινά μηχανικά υλικά. Τέλος γίνεται αναφορά στα βασικά στοιχεία των μεταλλουργικών ελαττωμάτων και πως αυτά μπορούν να αποφευχθούν.

Η συγκόλληση με laser είναι συνήθως μιας υγρής μορφής διαδικασία συγκόλλησης, π.χ. ενώνει μέταλλα ρευστοποιώντας το σημείο τομής τους και προκαλεί την μίξη του λιωμένου μετάλλου που στερεοποιείται με την κίνηση της πηγής θερμότητας του laser (τα μέταλλα μπορούν να συγκολληθούν χωρίς ρευστοποίηση με στερεάς μορφής συγκολλητικές τεχνικές, όπως συγκόλληση με θερμότητα από τριβή. Το laser μπορεί στη θεωρία να χρησιμοποιηθεί σαν πηγή θερμότητας για την κατασκευή στερεάς μορφής κολλήσεων, ωστόσο στη βιομηχανία δεν χρησιμοποιείται).

Τα πιο κατάλληλα μέταλλα για συγκόλληση με laser είναι αυτά που έχουν την ίδια ή μεγαλύτερη θερμοκρασία ρευστοποίησης και είναι διαλυτά το ένα στο άλλο, με την προϋπόθεση βέβαια ότι είναι καλοί απορροφητές του laser. Καθαρά μέταλλα που έχουν μια καθορισμένη θερμοκρασία ρευστοποίησης, μπορούν πολύ εύκολα να κολληθούν μεταξύ τους, αλλά όχι πάντα με άλλο καθαρό μέταλλο (πίνακας 4.II). Μπορούν όμως συχνά να κολληθούν με ένα κράμα που έχει σαν βάση το ίδιο στοιχείο μετάλλου. Στον πίνακα 4.III, δίνεται ένας γενικός οδηγός για τα υλικά που μπορούν να συγκολληθούν με laser.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.ΙΙΙ

Οδηγός για υλικά που μπορούν να συγκολληθούν με laser

Υλικά	Σχόλια
Κράματα αλουμινίου	Φτωχή συγκολλητική ποιότητα και προσοχή στις εφαρμογές όπου χρειάζονται μεγάλη αξιοπιστία
Χαλκός	Μόνο κατάλληλη για συγκόλληση με σημειακές εφαρμογές
Χυτοσίδηρος	Μπορεί να κολληθεί μόνο με παρέμβυσμα Νικελίου για να αποφύγουμε ραγίσματα
Νικέλιο και κράματα νικελίου	Μερικά από αυτά τα υλικά συγκολλούνται πολύ καλά, όμως μερικά από αυτά παράγουν διαφορετικές ποιότητες συγκόλλησης. Ωστόσο, πρέπει να συμβουλευτεί ο κατασκευαστής του υλικού, και να προσεχτούν οι ιδιότητες του υλικού. Σε κάποιες περιπτώσεις χρειάζεται παρέμβυσμα για να βελτιωθεί.

ΧΑΛΥΒΕΣ	
Χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα	Πολύ καλή ποιότητα κόλλησης με την προϋπόθεση χαμηλών επιπέδων θείου και φωσφόρου
Μέτρια και υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα	Καλή συγκολλησιμότητα, με την προϋπόθεση καλών προφυλάξεων για την διασφάλιση καλών συγκολλητικών ιδιοτήτων
Κράματα χαλύβων	Έχουν πραγματοποιηθεί ικανοποιητικές laser κολλήσεις σε σωλήνες, πλοία κ.α.. Η υψηλή συγκολλητική σκληρότητα μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα λόγω της γρήγορης ψύξεως

ΑΝΟΞΕΙΑΩΤΟΙ ΧΑΛΥΒΕΣ	
Ωστενιτικοί	Πολύ καλή ποιότητα συγκόλλησης
Φερίτικοί	Σε χαμηλά επίπεδα άνθρακα και χρωμίου έχουμε πολύ καλή κόλληση. Η κρυσταλλική τραχύτητα επηρεάζει την συγκολλητική σκληρότητα
Μαρτενσιτικοί	Οι κολλήσεις είναι σκληρές και εύθραυστες λόγω της υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα
Τιτάνιο και τα κράματα του	Καλή ποιότητα κόλλησης με θαυμάσια δομή των κόκκων, αλλά απαιτείται καθορισμός του υλικού πριν την συγκόλληση και υψηλής ποιότητας συγκολλητική ασπίδα (με «πισίνα» αερίων)

4.3.1 Συγκολλησιμότητα και στοιχεία κραμάτων

Η πρώτη σκέψη που γίνεται για ένα υλικό, είναι αν ανταποκρίνεται στις απαιτήσεις του κατασκευαστή π.χ. αντοχή, σκληρότητα κ.α.. Για να προσεγγιστούν οι απαιτήσεις του κατασκευαστή, Το επιλεγμένο υλικό πρέπει να περιέχει διάφορα κραματικά υλικά. που θα επηρεάζουν την ποιότητα συγκόλλησης.

Επειδή ένα υλικό μπορεί να συγκολληθεί (με οποιαδήποτε μέθοδο), δε σημαίνει απαραίτητα ότι οι κολλήσεις είναι πάντα μηχανικά και μεταλλουργικά υγιείς. Οι συγκολλητικές ιδιότητες, η συγκολλητική μεταλλική δομή, η αντοχή, η σκληρότητα κ.α. εξαρτώνται από την αρχική μεταλλική σύνθεση και την θερμική συμπεριφορά, που οφείλονται στους συγκολλητικούς χειρισμούς. Η θερμική συμπεριφορά προκαλεί αλλαγές στη δομή του συγκολλητικού υλικού και μη αποδεκτές μεταλλουργικές καταστροφές στη καθαρή σύσταση του υλικού. Τα πιο ευπαθή υλικά είναι ο καθαρός χάλυβας και τα κράματα αλουμινίου. Ευτυχώς οι κατασκευαστές παρέχουν τη συγκολλητικότητα των υλικών τους και γενικότερα την χημική ανάλυση των κραματούχων στοιχείων. Η συγκολλησιμότητα και κάποια στοιχεία που επηρεάζουν την ποιότητα της συγκόλλησης θα περιγραφούν σε αυτό το κεφάλαιο, με περισσότερη αναφορά στον χάλυβα, αφού είναι το πιο συνηθισμένο υλικό.

Χάλυβας

Ένας γενικός οδηγός της συγκολλησιμότητας των κοινών τύπων χαλύβων δίνεται στον πίνακα 4.III.

Ο χάλυβας είναι καλός ανακλαστήρας του μήκους κύματος φωτός που προέρχεται από τα CO₂ laser και Nd:YAG laser. Ωστόσο η μορφή της συγκόλλησης και η ποιότητα της επηρεάζονται από τα επόμενα στοιχεία, που παρουσιάζονται σε μη αποδεκτά επίπεδα.

Οξυγόνο

Το οξυγόνο, είναι ένα στοιχείο που χρησιμοποιείται στην κατασκευή του χάλυβα και αν επιτραπεί να παραμείνει στον χάλυβα σε υψηλά επίπεδα. κατά την διάρκεια της συγκόλλησης, προκαλεί σπασίματα στο συγκολλημένο μέταλλο. Αντίθετα, αν η περιεκτικότητα σε οξυγόνο μειωθεί σε εξαιρετικά χαμηλό επίπεδο. Τότε ο χάλυβας μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συγκόλληση με laser με πολύ καλή ποιότητα συγκόλλησης.

Άνθρακας

Ο άνθρακας συνήθως κραματώνεται με σίδηρο για να αυξηθεί η σκληρότητα και η αντοχή, και το επίπεδο του άνθρακα εξαρτάται από τη δυναμική εφαρμογή του χάλυβα. Όσο η περιεκτικότητα του άνθρακα σε διαφορετικούς χάλυβες αυξάνει, τόσο τα δυναμικά προβλήματα επηρεάζουν δυσμενώς την ποιότητα της συγκόλλησης και, γενικότερα, τις απαιτούμενες εφαρμογές. Οι χάλυβες που έχουν περιεκτικότητα σε άνθρακα κάτω του 0,1%, παράγουν καλής ποιότητας συγκόλληση και αξιόπιστη συγκολλητική εμφάνιση, εκτός βέβαια αν παρουσιαστούν άλλα μη επιθυμητά στοιχεία. Οι συγκολλήσεις σε αυτούς τους χάλυβες παρουσιάζονται αρκετά σκληρές. Αυτό συμβαίνει διότι η γρήγορη συγκολλητική ταχύτητα προκαλεί υψηλό βαθμό ψύξεως που δεν επιτρέπει την ελάχιστη μετατροπή της σκληρότητας (θερμική συμπεριφορά).

Σε χάλυβες που η περιεκτικότητα σε άνθρακα είναι πάνω από 0,1%, η γρήγορη και σε μεγάλο βαθμό ψύξη, παράγει μια μικρή δομή μαρτενσίτη, μια σκληρή και εύθραυστη φάση, που προκαλεί μείωση στην σκληρότητα και στην ελατότητα. Ο πολύ σκληρός μαρτενσίτης προκαλεί ρήγμα στο συγκολλημένο μέταλλο. Αυτό το ρήγμα μεταδίδεται στα επόμενα στάδια λειτουργίας.

Εκτός όμως από αυτό το μειονέκτημα, γενικά η συγκόλληση με laser πραγματοποιείται σε χάλυβες με C άνω του 0,3%. Ωστόσο, η προσεκτική σχεδίαση και η συγκολλητική διαδικασία είναι βασικοί παράγοντες για να μειωθούν οι θραύσεις και να διασφαλιστούν οι απαιτήσεις των εφαρμογών.

Παρόλα αυτά, η περιεκτικότητα σε C, αν και αποτελεί το κυριότερο συστατικό, δεν είναι ο μοναδικός παράγοντας που επηρεάζει την σκληρότητα της συγκόλλησης. Την επηρεάζουν και άλλα στοιχεία, όπως το μαγγάνιο, το χρώμιο, το μολυβδαίνιο, το βανάδιο και ο χαλκός. Για να προσεγγιστούν τα ποσοστά αυτών των στοιχείων που επηρεάζουν τα προβλήματα με την σκληρότητα (όπως στερεοποίηση, ρωγμές κ.α.) έχει αναπτυχθεί μια φόρμουλα για το ισοδύναμο C, που δίνεται από τον τύπο:

$$CE = C\% + Mn\% / 6 + (Cr\% + Mo\% + V\%) / 5 + (Ni\% + Cu\%)15$$

Αν το CE είναι λιγότερο του 0,40, τότε ο χάλυβας είναι έτοιμος για συγκόλληση, ενώ αν υπερβεί αυτό το όριο, είναι απαραίτητες κάποιες προφυλάξεις, όπως ο προσεκτικός έλεγχος της εσωτερικής συγκολλητικής ενέργειας, ή η προθέρμανση για την ελαχιστοποίηση πιθανών συγκολλητικών ελαττωμάτων.

Θείο και φώσφορος

Το θείο και ο φώσφορος παρουσιάζονται σαν υπολειπόμενα στοιχεία στην κατασκευή του χάλυβα και τα επίπεδά τους καθορίζονται από τις ανάγκες της διαδικασίας και τον ειδικό τύπο του χάλυβα. Δυστυχώς, πολύ μικρά ποσοστά αυτών των υλικών μπορούν να προκαλέσουν σοβαρές ρωγμές στη στερεοποίηση, και γι' αυτό τα ποσοστά τους πρέπει να κρατηθούν όσο χαμηλά γίνεται για την ομαλή συγκόλληση του χάλυβα. Όταν συγκολλούνται ενώσεις, με ισχυρή διείδυση των ενώσεων σε μικρά ελάσματα όπου οι συγκολλημένες επιφάνειες πιέζονται μεταξύ τους κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, συνδυάζοντας το επίπεδο της περιεκτικότητας του θείου και του φωσφόρου να κυμαίνεται στο 0,04%, μπορεί να αποφευχθεί η παρουσία ρωγμών.

Οι ρωγμές στερεοποίησης, προκαλούνται κάτω από την επήρεια υψηλής τάσης συγκολλητικής συστολής κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης και ψύξεως. Οι τάσεις συστολής σε μερική διείδυση της κόλλησης σε λεπτές διατομές μπορούν να μειωθούν σε ορισμένες περιπτώσεις, δίνοντας προσοχή στη σχεδίαση της ένωσης.

Ανοξειδωτος χάλυβας

Εκτός από τα ειδικά κράματα, οι ανοξειδωτοι χάλυβες διαιρούνται σε 3 βασικούς τύπους: τους ωστενιτικούς, τους φερριτικούς και τους μαρτενσιτικούς. Και οι τρεις μπορούν να συγκολληθούν με laser αλλά η ποιότητα της αυτογενούς συγκόλλησης (συγκολλήσεις που γίνονται χωρίς την προσθήκη παρεμβύσματος, που επιλέγεται για τη διαμόρφωση του συγκολλημένου μετάλλου) αυξάνει. Οι τρεις τύποι παρουσιάζονται και περιγράφονται παρακάτω.

Ωστενιτικός ανοξειδωτος χάλυβας

Ο ωστενιτικός ανοξειδωτος χάλυβας είναι ιδανικά κατάλληλος για συγκόλληση με laser, με εξαίρεση αυτόν που περιέχει πρόσθετα θείου και φωσφόρου. Ο ωστενιτικός χάλυβας έχει θερμική αγωγιμότητα της τάξεως του ενός τρίτου από τον κοινό ανθρακούχο χάλυβα, και είναι πολύ καλός απορροφητήρας του laser φωτός. Κατά συνέπεια μπορούν να επιτευχθούν μεγαλύτερα βάθη διείσδυσης της κόλλησης απ' ότι με τους κοινούς χάλυβες, για κάποιες συγκεκριμένες συνθήκες συγκόλλησης.

Εκτός όμως από την άνεση της συγκόλλησης, ένας από τους λόγους που οι ωστενιτικοί χάλυβες είναι οι πλέον κατάλληλοι για συγκόλληση με laser, είναι ότι η χαμηλή εσωτερική θερμότητα και οι υψηλές ταχύτητες συγκόλλησης δεν επιτρέπουν μεταλλουργικές καταστροφές που εξασθενούν την οξειδωτική αντίσταση του συγκολλημένου μετάλλου. Αυτό το φαινόμενο είναι πολύ συχνό, όταν χρησιμοποιείται υψηλή εσωτερική ενέργεια στις τεχνικές συγκόλλησης.

Άλλο πλεονέκτημα της συγκόλλησης με laser στους ωστενιτικούς χάλυβες είναι η πολύ μικρή στρέβλωση, παραγόμενη από την μικρή εσωτερική ενέργεια και τη μορφή συγκόλλησης με laser. Παρ' όλα αυτά, η μερική διείσδυση της κόλλησης με laser σε ενώσεις με λεπτές διατομές, πρέπει να αποφεύγεται, διότι είναι πιθανές οι ρωγμές από την στερεοποίηση. Αυτό συμβαίνει λόγω του ότι το μη συγκολλημένο τμήμα της ένωσης αντιστέκεται

στην υψηλή πίεση συστολής, καθώς η συγκόλληση ψύχεται. Τέλος η απουσία του οξυγόνου και της υγρασίας εισέρχονται στη μη συγκολλημένη περιοχή με την μερική διείδυση στις ενώσεις, προκαλώντας τριχοειδή διάβρωση που διειδύει το συγκολλημένο μέταλλο και προκαλεί μεταγενέστερη συγκολλητική αποτυχία.

Φεριτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες

Οι φεριτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες δεν έχουν την τόσο καλή συγκολλησιμότητα των ωστενιτικών χαλύβων, αλλά δεν υπάρχει κανένας απολύτως λόγος να μην συγκολληθούν με laser. Οι φεριτικοί χάλυβες βαθμού 430, 434 και 409 έχουν ίσως τις καλύτερες συγκολλητικές αποδόσεις λόγω της χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και χρώμιο.

Οι συγκολλήσεις φεριτικών χαλύβων σε μερικές περιπτώσεις εξασθενούν την σκληρότητα της ένωσης και την οξειδωτική αντίσταση. Η μείωση της σκληρότητας οφείλεται εν μέρει στη μορφή των κόκκων στη θερμική ζώνη επηρεασμού που είναι κακής ποιότητας και στην μορφή του μαρτενσίτη που προκαλεί την υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα. Η χαμηλή εσωτερική θερμότητα της συγκόλλησης με laser μειώνει την τραχύτητα των κόκκων στη ζώνη θερμικής επίδρασης, όταν συγκρίνεται με την υψηλή εσωτερική θερμότητα άλλων τεχνικών συγκόλλησης. Παρόλα αυτά, η ζώνη θερμικής επίδρασης μπορεί να έχει μεγαλύτερη σκληρότητα λόγω της γρήγορης ψύξεως.

Μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες

Οι μαρτενσιτικοί ανοξειδωτοι χάλυβες παράγουν χειρότερης ποιότητας συγκόλληση από τους αντίστοιχους φεριτικούς και ωστενιτικούς. Το υψηλό ποσοστό του άνθρακα παράγει πολύ σκληρή και εύθραυστη ζώνη θερμικής επίδρασης και συγκόλληση, λόγω της μορφής του μαρτενσίτη. Αν η περιεκτικότητα σε C ξεπεράσει το 0,1%, τότε για να πραγματοποιηθεί η συγκόλληση, χρειάζεται ένα ωστενιτικό παρέμβυσμα για να βελτιωθεί η σκληρότητα της κόλλησης και για να αποφευχθεί το συγκολλητικό ράγισμα. Πάντως αυτό δεν μειώνει την ευθραυστότητα στη ζώνη θερμικής επίδρασης.

Πρακτικά, τα ραγίσματα και η ευθραυστότητα μπορούν να μειωθούν με προθέρμανση στους 350°C (πάντα με περιεκτικότητα του C άνω του 0,1%) και εμβάπτιση του χάλυβα στους 650°C-750°C.

Αλουμίνιο

Το αλουμίνιο και τα κράματά του είναι εξαιρετικά δύσκολο να συγκολληθούν με laser και να επιτυχανθούν καλές συγκολλητικές ιδιότητες. Επειδή το στοιχείο αυτό αποτελεί το κυριότερο μηχανικό υλικό, εξηγήσεις παρουσιάζονται παρακάτω.

Το αλουμίνιο απορροφά πολύ δύσκολα το φως του laser, έχει επίσης υψηλή θερμική αγωγιμότητα και πολύ χαμηλό θερμοκρασιακό εύρος μεταξύ υγροποίησης και στερεοποίησης και όταν υγροποιείται, το ιξώδες του είναι πολύ χαμηλό. Όλοι αυτοί οι λόγοι συνεισφέρουν στην άσχημη εκτέλεση και μορφή της συγκόλλησης. Κατά συνέπεια, η συγκόλληση με laser στο αλουμίνιο και τα κράματά του, είναι δύσκολη και η ποιότητα της συγκόλλησης πολύ κακή. Οι φυσαλίδες, η πορώδης κατάσταση, οι ρωγμές κατά τη στερεοποίηση της κόλλησης και η απώλεια των στοιχείων των κραμάτων (λόγω εξατμίσσης), είναι τα κυριότερα προβλήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν.

Η υψηλής ισχύος πυκνότητα του laser είναι απαραίτητη για την κατασκευή της οπής κόλλησης στο αλουμίνιο (έχουν γίνει πειράματα με μαύρες επικαλύψεις για την αύξηση της απορρόφησης της ακτίνας, αλλά αυτό δεν είναι πρακτικό στην παραγωγή, διότι αυτές οι επικαλύψεις «μολύνουν» την συγκόλληση και δεν είναι απαραίτητες εφόσον η οπή έχει διαμορφωθεί). Συνήθως, καθώς η οπή έχει διαμορφωθεί και ένα μικρό μήκος της κόλλησης έχει πραγματοποιηθεί, η υψηλή θερμική αγωγιμότητα του υλικού, προκαλεί γρήγορη αύξηση της θερμοκρασίας μπροστά στην οπή. Το θερμό υλικό μπροστά από την ακτίνα, αυξάνει αρκετά την απορρόφηση του laser φωτός, με αποτέλεσμα την μεταβίβαση υψηλής ενέργειας στη συγκόλληση και

προκαλώντας «εκδίωξη» του ρευστού μετάλλου, αφήνοντας φυσαλίδες στην επιφάνεια της κόλλησης.

Ένα άλλο πρόβλημα που επηρεάζει δυσμενώς τη συγκόλληση σε αλουμίνιο και τα κράματά του, είναι τα οξειδία και η μόλυνση της επιφάνειας του υλικού. Η υγρασία των οξειδίων και της ατμόσφαιρας παράγει υδρογόνο που εισχωρεί στην κόλληση και προκαλεί την πορώδη κατάσταση. Το υδρογόνο είναι εξαιρετικά ευδιάλυτο στο αλουμίνιο και είναι υπεύθυνο για την πορώδη κατάσταση στις συγκολλήσεις με αλουμίνιο.

Εκτός από τα παραπάνω μειονεκτήματα, η ραφή στις ενώσεις με laser φτιάχνεται κατά την κατασκευή μιας κυλινδρικής διατομής, χρησιμοποιώντας διπλά γυάλινα διαχωριστικά τεμάχια.

Γενικά το αλουμίνιο και τα κράματά του είναι ακατάλληλα για συγκόλληση με laser και χρειάζεται περισσότερη έρευνα για να ανατραπεί αυτή η κατάσταση. Για την επιτυχία μεγαλύτερης ακρίβειας στην ποιότητα της κόλλησης σε αυτά τα υλικά, η κόλληση με ακτίνες ηλεκτρονίων είναι η πλέον κατάλληλη τεχνική.

Χαλκός

Γενικά, στα CO₂ laser η συγκόλληση του χαλκού δεν ενδείκνυται. Ο χαλκός είναι πολύ καλός ανακλαστήρας του laser φωτός. Υψηλοί γυαλισμένοι καθρέπτες από χαλκό χρησιμοποιούνται στα CO₂ για την μετάδοση του laser φωτός μέσα από το ίδιο το laser και μεταξύ του laser και της εργασίας του. Παρ' όλα αυτά πρέπει να σημειωθεί ότι σημειακές και ραφειακές κολλήσεις μπορούν να είναι επιτυχής μεταξύ λεπτών χάλκινων φύλλων μετάλλου (μικρότερου του 1mm πάχους) και κάποιων ορισμένων υλικών, χρησιμοποιώντας Nd:YAG laser. Για πολύ μικρές παραμορφώσεις της συγκόλλησης του χαλκού, ειδικά όπου απαιτούνται βαθιές κολλήσεις, συνίσταται η συγκόλληση με δέσμη ηλεκτρονίων.

4.3.2 Επιδράσεις των επιφανειακών επιστρώσεων στη συγκολλησιμότητα των μετάλλων.

Επιφανειακή επίστρωση

Οι επιφανειακές επικαλύψεις χρησιμοποιούνται ευρύτατα στους χάλυβες για να διασφαλιστεί η οξειδωτική αντίσταση και μερικές φορές η καλή επιφανειακή εμφάνιση. Όταν οι επικαλύψεις χρησιμοποιούνται σε συγκολλητικές κατασκευές, πρέπει να αποφασιστεί αν θα χρησιμοποιηθούν πριν ή μετά την κατασκευή. Μερικές φορές δεν είναι πρακτική η χρήση της επικάλυψης μετά την κατασκευή, διότι το προϊόν είναι πολύ μεγάλο ή επειδή το υλικό επικάλυψης δεν διαπερνάει τις ρωγμές, όπου η προστασία στην οξείδωση είναι ζωτικής σημασίας, όπως στις ενώσεις στα σώματα οχημάτων. Σε αυτές τις περιπτώσεις είναι απαραίτητο η συγκόλληση να γίνεται παρουσία των επικαλύψεων. Δυστυχώς, κάποιες επιφανειακές επικαλύψεις προκαλούν μη επιθυμητές αντιδράσεις στο συγκολλημένο μέταλλο, που μειώνουν την αντοχή του μετάλλου και την απορροφητικότητα της ακτίνας laser. Αυτές οι ενώσεις, όπου η επικάλυψη υπάρχει κατά μήκος των επιφανειών που θα ενωθούν, είναι πιο επιρρεπείς στα προβλήματα μορφής της συγκόλλησης απ' ό,τι στις ίδιες τις κολλήσεις.

Γαλβανισμένος και εμβαπτισμένος ψευδάργυρος

Η συγκόλληση με laser σε λεπτού πάχους χαλύβδινα μέταλλα (0,8-1,5 mm) επιστρωμένα με ψευδάργυρο, είναι αρκετά διαδεδομένη στις κατασκευές του αγροτικού εξοπλισμού, στα σώματα οχημάτων, στα αυτοκινητούμενα εξαρτήματα και στις οικιακές συσκευές. Ωστόσο η επιτυχής εφαρμογή, εξαρτάται από το πάχος της επικάλυψης, την ομοιομορφία της και κυρίως την διαμόρφωση της ένωσης.

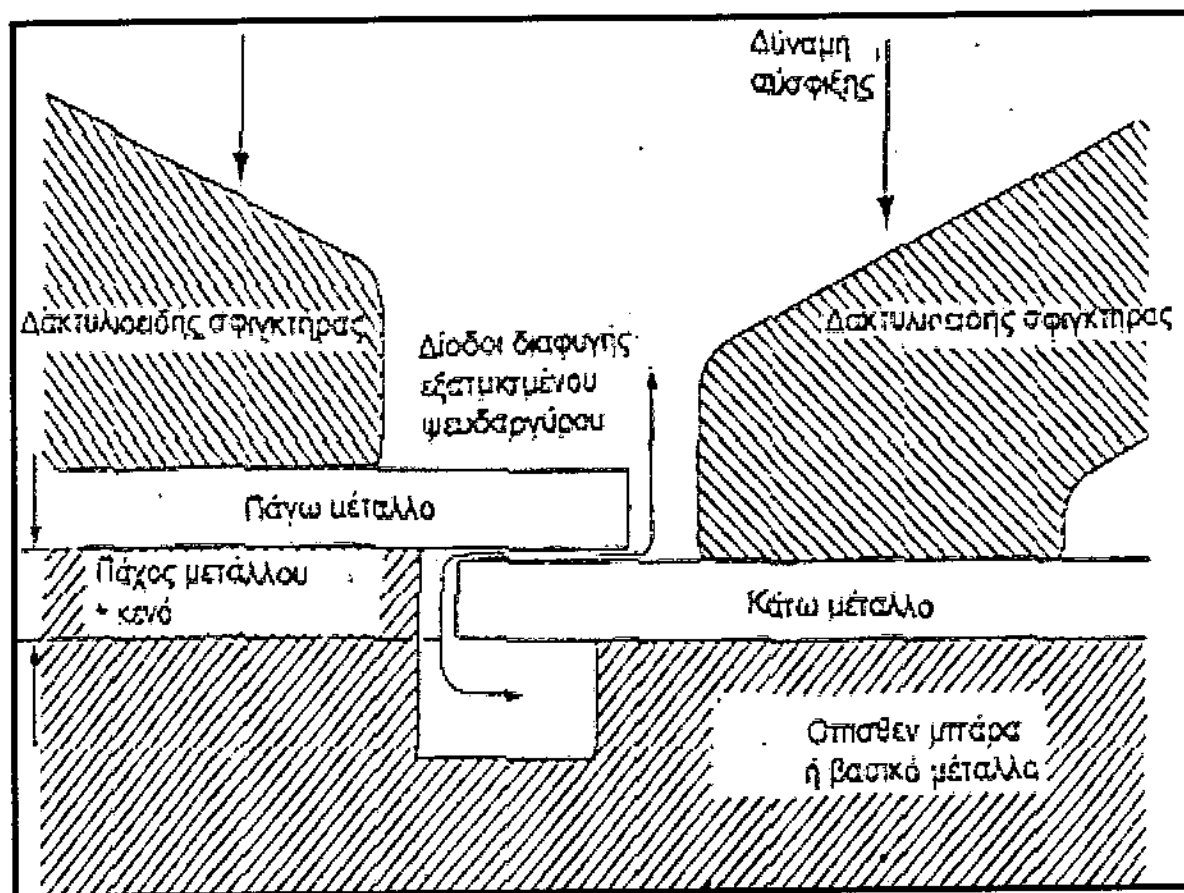
Οι ενώσεις, όπου η επικάλυψη με ψευδάργυρο δεν υπάρχει στην επιφάνεια κόλλησης, συνήθως δεν παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα στην συγκόλληση με laser.

Οι περισσότερες επικαλύψεις ψευδαργύρου στο εύρος των συγκολλήσεων, συνήθως μια ταινία 1-1,5 mm σε μήκος, εξατμίζεται και δεν φαίνεται να διαπερνά και να επηρεάζει αρνητικά το συγκολλημένο μέταλλο.

Σε ενώσεις μεταξύ μονόπλευρων χαλύβδινων ελασμάτων επικαλυμμένα με ψευδάργυρο, όπου οι επικαλύψεις είναι στην εξωτερική πλευρά, οι συγκολλήσεις είναι όμοιες με τις συναρμογές στα άκρα. Όμως, όταν οι επικαλύψεις είναι στην επιφάνεια ενώσεως, υπάρχουν σοβαρά προβλήματα που επηρεάζουν την μορφή της συγκόλλησης. Ο ψευδάργυρος βράζει στους 900°C και ο χάλυβας λιώνει κοντά στους 1500°C, κατά συνέπεια, κοντά σε σημειακές ενώσεις, ο ψευδάργυρος στην επιφάνεια ένωσης εξατμίζεται και αρχίζει να πιέζει, προτού σχηματιστεί η οπή συγκόλλησης. Καθώς η οπή σχηματίζεται, φυσαλίδες από τον εξατμισμένο ψευδάργυρο προσπαθούν να διαφύγουν μέσα από αυτή.

Αν τα πάχη των συνδυασμένων επικαλύψεων στην επιφάνεια κόλλησης είναι μικρότερα των 15 μm και το πάχος του ελάσματος μεγαλύτερο των 0,8 mm, οι αέριες φυσαλίδες συνήθως διαφεύγουν πριν κλείσει η οπή και πριν επιτευχθεί η στερεοποίηση. Οι εγκλωβισμένες φυσαλίδες είναι συνήθως πολύ μικρές και καλά διασκορπισμένες κατά το μήκος της συγκόλλησης.

Τα πάχη επικάλυψης άνω των 15 μm μεταξύ των σημειακών ενώσεων, προκαλούν μεγάλο όγκο εξατμισμένου ψευδαργύρου, που δεν μπορεί να διαφύγει όλος, πριν κλείσει η οπή. Στην πραγματικότητα, η πίεση που αναπτύσσεται από τις αέριες φυσαλίδες προκαλεί «έκρηξη» του ρευστού υλικού πριν στερεοποιηθεί.



Σχήμα 4.4 Μέθοδος για να πετύχουμε κενό μεταξύ των επιφανειών ενώσεως, όταν συγκολλούμε χάλυβες με επικάλυψη ψευδάργυρο

Μειώνοντας την ταχύτητα συγκόλλησης, δεν λύνεται το πρόβλημα της εξατμίσσης του ψευδαργύρου, διότι μεταδίδεται μεγαλύτερη θερμοκρασία στην εργασία και αυτό εξατμίζει περισσότερο ψευδάργυρο σε μεγαλύτερη περιοχή. Βελτιώσεις μπορούν να επιτευχθούν με την παλμική ακτίνα laser. Με αυτόν τον τρόπο, οι μικρής διάρκειας παλμοί ελαχιστοποιούν την επιφάνεια που εξατμίζεται ο ψευδάργυρος και μειώνουν τον όγκο για την εξαγωγή από την οπή. Η νέας γενιάς υψηλής ισχύος (μεγαλύτερη του 1 KW) Nd:YAG lasers είναι ικανά να ικανοποιήσουν αυτές τις ανάγκες, αφού μπορούν να διοχετεύσουν τους απαραίτητους παλμούς υψηλής ενέργειας.

Επιτυχία στη συγκόλληση με επικαλύψεις ψευδαργύρου πάχους μεγαλύτερου των 15 μm στην επιφάνεια κόλλησης, έχει κατορθωθεί διατηρώντας ένα μικρό διάκενο πάχους 0,1 mm μεταξύ των επιφανειών ενώσεων, επιτρέποντας στον εξατμισμένο ψευδάργυρο να διαφύγει μεταξύ των

ελασμάτων, όπως και από την συγκολλητική οπή. Κάτω από εργαστηριακές συνθήκες, το μέγεθος του διακένου μπορεί άνετα να ελεγχθεί (σχήμα 4.4), ωστόσο κάτω από συνθήκες παραγωγής, όπου υπάρχουν μεγάλα κομμάτια χάλυβα, ο έλεγχος του μεγέθους του διακένου είναι εξαιρετικά δύσκολος. Ωστόσο, η προσέγγιση αυτή έχει επιτευχθεί.

Ένας από τους πιο σημαντικούς παράγοντες στην συγκόλληση με laser μετάλλων με επικάλυψη ψευδαργύρου στην παραγωγή, είναι η ομοιομορφία του πάχους της επικάλυψης. Το πάχος της επικάλυψης πρέπει να είναι όσο πιο κοντά γίνεται στο απαιτούμενο πάχος, χωρίς να το υπερβεί. Έτσι η ποιότητα της συγκόλλησης θα είναι άριστη.

Είναι συχνό φαινόμενο στους προμηθευτές, όταν δεν υπάρχει στο stock τους κάποιο συγκεκριμένο πάχος, να προμηθεύουν το αμέσως επόμενο, χωρίς να χρεώνουν παραπάνω, πιστεύοντας ότι έτσι κάνουν και χάρη στον χρήστη. Οι γαλβανισμένες επικαλύψεις ψευδαργύρου πρέπει να εξετάζονται προσεκτικά, διότι μπορεί η επιφάνεια να φαίνεται κατάλληλη στο μάτι, αλλά το πάχος επιμετάλλωσης μπορεί να ποικίλλει υπερβολικά.

Τέλος, ο εξατμισμένος ψευδάργυρος μπορεί να εξαλειφθεί με την οπτική εστίαση του laser τοποθετώντας τον κοντά στην εστίαση, για να κρατηθεί η εξάτμιση μακριά. Επίσης η εξαγωγή του καπνού από την περιοχή συγκόλλησης είναι απαραίτητη για την προστασία του χρήστη.

Καλύψεις με ψευδάργυρο

Παρά το γεγονός ότι πολύ λεπτότερες επιφανειακές επικαλύψεις αποκτούνται με κάλυψη από ψευδάργυρο παρά από εμβάπτιση τετηγμένου μετάλλου, η συγκολλησιμότητα του μετάλλου παραμένει μη ικανοποιητική. Αυτό συμβαίνει διότι οι καλύψεις με ψευδάργυρο είναι μια διαδικασία επιχαλύβωσης, όμοια σε πολλές περιπτώσεις με την ενανθράκωση, όπου ο ψευδάργυρος συνδυάζεται με την επιφάνεια του μετάλλου, θερμαίνοντας την εργασία με σκόνη ψευδαργύρου. Αυτό δεν προκαλεί μόνο την επικάλυψη με ψευδάργυρο, αλλά και τη διασκόρπιση του στην επιφάνεια του μετάλλου. Όταν γίνεται η συγκόλληση, ο ψευδάργυρος βράζει, εξαερείται και

αποδιοργανώνει τη μορφή της συγκόλλησης. Από τη στιγμή που η κάλυψη με ψευδάργυρο χρησιμοποιείται συχνά σε μικρά εξαρτήματα, η πιθανότητα της συγκόλλησης πριν την κάλυψη, πρέπει πάντα να εκτιμάται.

Επινικέλωση

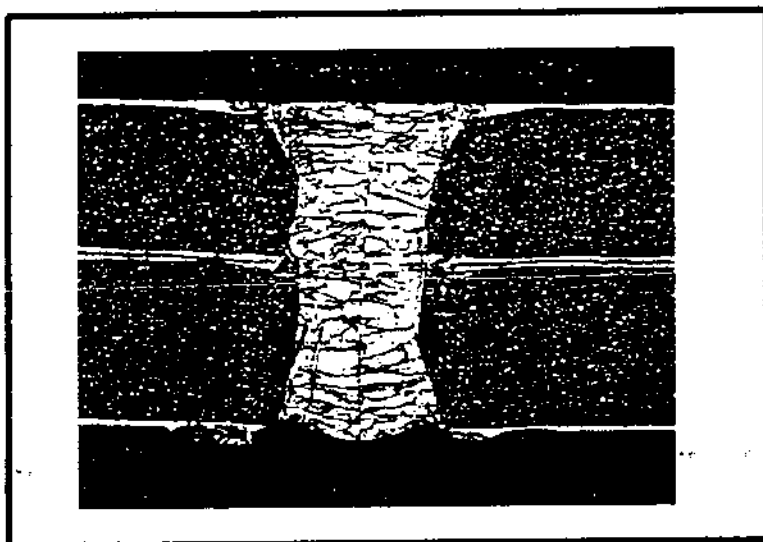
Οι επινικελωμένοι χάλυβες δεν χρησιμοποιούνται αρκετά στις συγκολλητικές εφαρμογές. Για την συγκόλληση με laser η πιο διαδεδομένη εφαρμογή είναι τα ηλεκτρονικά κυκλώματα. Σε αυτή την περίπτωση τα κυκλώματα είναι συνήθως επινικελωμένα (ή κράματα σιδήρου - νικελίου - κοβαλτίου). Οι συγκολλήσεις σε επινικελωμένο χάλυβα είναι επιρρεπής σε επιφανειακές ρωγμές, ακολουθώντας εγκάρσια την κατεύθυνση της συγκόλλησης, αλλά δεν θεωρούνται βλαβερές για τις ιδιότητες της συγκόλλησης.

Ωστόσο, οι ηλεκτρολυτικές επινικελώσεις προκαλούν σοβαρές ρωγμές στη στερεοποίηση, όταν συγκολλούμε με laser συνεχούς ρεύματος. Αυτές οι ρωγμές επεκτείνονται σε όλο το πάχος της συγκόλλησης και πολλαπλασιάζονται στη ζώνη θερμικής επίδρασης. Παρ' όλα αυτά, μπορούν να μειωθούν, πάλνοντας την ακτίνα laser και ικανοποιητικά αποτελέσματα μπορούν να επιτευχθούν χρησιμοποιώντας ένα Nd:YAG παλμικό laser στα 150 Hz και χρησιμοποιώντας 1 msec μήκος παλμού. Η διαφορά της συγκολλησιμότητας των 2 τύπων επικάλυψης με νικέλιο, αποδίδεται στην παρουσία φωσφόρου στο ηλεκτρολυτικό νικέλιο.

Αλουμινίαση

Το αλουμινένιο χαλύβδινο έλασμα (αλουμίνιο και μικρό ποσοστό % πυρίτιο) είναι διαδεδομένο στις κατασκευές του οικιακού εξοπλισμού. Μπορεί να συγκολληθεί με laser, η δε επιφανειακή εμφάνιση και οι συγκολλητικές ιδιότητες είναι ικανοποιητικές, για τις περισσότερες εφαρμογές.

Σε λεπτά χαλύβδινα ελάσματα οι διαμορφώσεις των συγκολλήσεων με laser (και η μορφή τους) δεν επηρεάζονται από αέρια του υλικού επικάλυψης. Αυτό συμβαίνει διότι το αλουμίνιο βράζει στους 2450°C, που είναι 1000°C μεγαλύτερη από τη θερμοκρασία τήξεως του χάλυβα. Το αποτέλεσμα της συγκόλλησης, σχήμα 4.5 έχει μεγάλους κόκκους και συχνά μια κεντρική και σχεδόν γραμμική συνέχεια των ορίων των κόκκων, ακολουθώντας το πάχος της συγκόλλησης. Αυτοί οι λόγοι, σε συνδυασμό με τους μεγάλους κόκκους, αδυνατίζει την κόλληση σε σχέση με την αντοχή του αρχικού μετάλλου. Σε δοκιμασίες διάτμησης και εφελκυσμού στο δείγμα του σχήματος 4.5, παρουσιάστηκαν βλάβες στην ακμή της συγκόλλησης, μεταξύ των δυο ελασμάτων και η αντοχή μειώθηκε 15% από το αρχικό μέταλλο. Παρ' όλα αυτά, η αντοχή επαρκεί για πολλές εφαρμογές.



Σχήμα 4.5 Κατά μήκος τομή μιας συγκόλλησης με CO₂ laser δύο χαλύβδινων ελασμάτων πάχους 0,8 mm με επικάλυψη αλουμινίου πάχους 15 μm

Κάδμιο

Η συγκόλληση με laser ή οι άλλοι μέθοδοι συγκόλλησης σε χάλυβα με επίστρωση από κάδμιο δεν ενδείκνυται. Αυτό συμβαίνει διότι το κάδμιο βράζει στους 760°C και παράγει δηλητηριώδεις αέρια. Επίσης οι ταινίες από κάδμιο που δεν έχουν καλή αντοχή, παράγουν γύρω από τη συγκόλληση όρια κόκκων και μεταγενέστερα ρωγμές.

Χρυσός

Οι χρυσές επικαλύψεις χρησιμοποιούνται πολύ σπάνια σε χάλυβα αλλά είναι διαδεδομένες σε σίδηρο - νικέλιο - κοβάλτιο κραματωμένα μικροκυκλώματα, που βρίσκουν εφαρμογές στις ηλεκτρονικές βιομηχανίες. Αυτά τα υλικά συγκολλούνται αρκετά καλά με laser αν χρησιμοποιηθεί ένας λεπτός, χρυσός σπινθήρας, αλλά οι λεπτές χρυσές επικαλύψεις προκαλούν ρωγμές κατά την στερεοποίηση.

Προστατευτική βαφή

Οι βαμμένες επιφάνειες δεν είναι εύκολες να περιγραφούν, αφού υπάρχουν πολλοί διαφορετικοί τύποι βαψίματος και εφαρμόζονται σε πάχη που αντιδρούν διαφορετικά όταν θερμαίνονται και πυρακτώνονται. Οι γκρι διασκορπισμένες βαφές, όταν τοποθετούνται μεταξύ επάλληλων συνδέσεων προκαλούν πορώδη κατάσταση και φυσαλίδες στη συγκόλληση.

Γενικά, παρουσία βαμμένων επικαλύψεων, η ποιότητα της συγκόλλησης εξαρτάται από τον ατμό που παράγεται, την αναλογία του πάχους της επικάλυψης προς το πάχος του ελάσματος και τη διαμόρφωση της ένωσης.

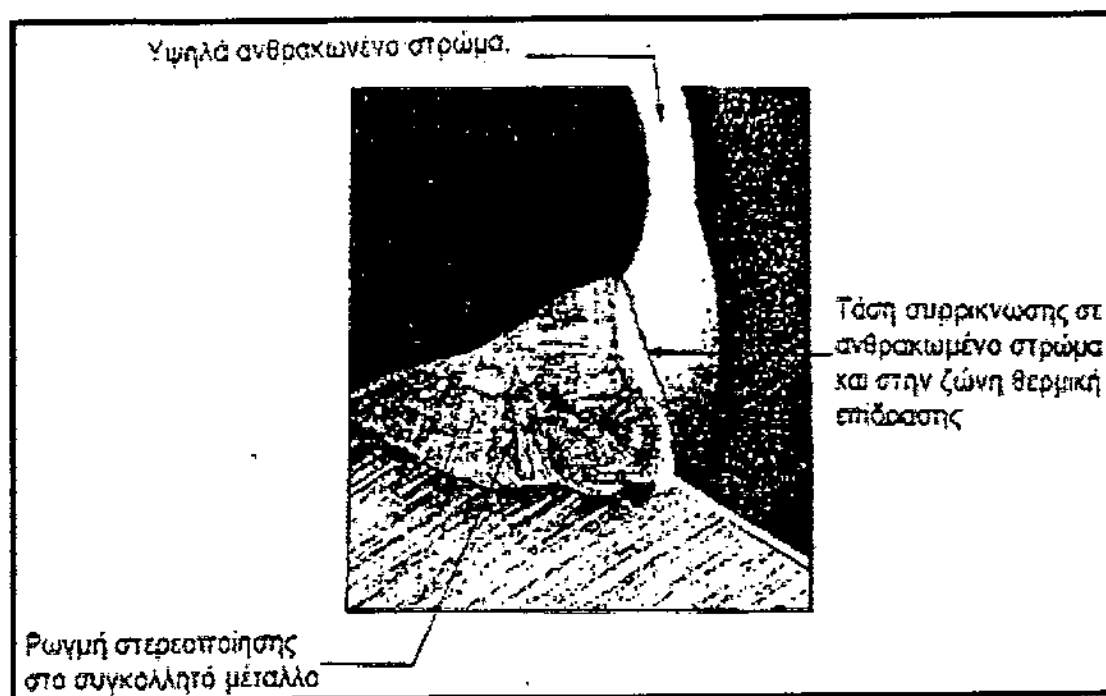
4.3.3 Επιφανειακή κατεργασία

Οι επιφανειακές κατεργασίες χρησιμοποιούνται ευρύτατα στους χάλυβες για την σκλήρυνση της επιφάνειάς τους, και παρέχουν καλή αντίσταση στη φθορά και υποστηρίζουν την σκληρότητα της καρδιάς του υλικού. Τα γρανάζια και οι επιφάνειες εδράσεως είναι οι πιο κοινοί αποδέκτες της επιφανειακής κατεργασίας.

Η συγκόλληση με laser χρησιμοποιείται ευρύτατα για κατασκευές γραναζιών, και για άλλα εξαρτήματα αυτοκινητικών οχημάτων. Κατά το σχεδιαστικό στάδιο η ερώτηση που δημιουργείται είναι για την συγκολλησιμότητα των εξαρτημάτων που έχουν υποστεί επιφανειακές κατεργασίες. Η ενανθράκωση και η εναζώτωση είναι οι πιο διαδεδομένες μέθοδοι σκληρύνσεως αυτών των εξαρτημάτων, και παρουσιάζουν σοβαρά προβλήματα στις τεχνικές συγκόλλησης. Η ουσία είναι να μελετηθεί η «συμπεριφορά» των επιφανειακών κατεργασιών μετά τη συγκόλληση, που δυστυχώς αυτό δεν είναι εφικτό. Τα προβλήματα που συνδυάζονται με τις συγκολλήσεις των κατεργασμένων επιφανειών και οι απαραίτητες ενέργειες για να ξεπεραστούν, παρουσιάζονται παρακάτω.

Ενανθράκωση

Η διαδικασία επιχαλύβδωσης, που παράγει επιφάνεια ενανθρακωμένη, διασκορπά καλά τον άνθρακα στην επιφάνεια του εξαρτήματος, ώστε η περιεκτικότητα σε άνθρακα σε αυτό το σημείο να είναι αρκετές φορές μεγαλύτερη, από το υπόλοιπο μη κατεργασμένο υλικό. Αυτά τα υψηλά επίπεδα προκαλούν ρωγμές στη στερεοποίηση της συγκόλλησης και ρωγμές κατά τη συστολή στη ζώνη θερμικής επίδρασης (σχήμα 4.6). Η μόνη λύση για το πρόβλημα, αν το εξάρτημα δεν μπορεί να κατεργαστεί επιφανειακά μετά τη συγκόλληση, είναι η προκάλυψη των μερών που θα ενωθούν σε μια απόσταση τουλάχιστον 8mm από κάθε πλευρά της ένωσης, για να αποτραπεί η ανάπτυξη της ενανθράκωσης κάτω από την προκάλυψη. Ύστερα μπορεί να ακολουθήσει η συγκόλληση.



Σχήμα 4.6 Ρωγμή στερεοποίησης της συγκόλλησης και ρωγμή στη ζώνη θερμικής επίδρασης, που προκαλούνται από την υψηλή περιεκτικότητα σε C

Εναζώτωση

Οι εναζωτωμένες επιφάνειες, γενικά, δεν είναι κατάλληλες για συγκολλητικές εργασίες. Η συγκόλληση σε μια εναζωτωμένη επιφάνεια, μετακινεί την επιφανειακή σκληρότητα στην περιοχή της συγκόλλησης. Ακόμα περισσότερο, τα αποτελέσματα της συγκόλλησης είναι η πορώδης κατάσταση κοντά στην επιφάνεια και πολύ συχνά ρωγμές.

4.3.4 Πιθανά συγκολλητικά ελαττώματα και οι λύσεις τους

Καλή συγκόλληση θεωρείται η συγκόλληση που εξυπηρετεί επαρκώς όλες τις απαιτήσεις χρήσεως της. Στο ξεκίνημα της εκλογής της τεχνικής της συγκόλλησης, είναι σημαντικό να είναι γνωστές οι απαιτήσεις χρήσεως και αν η εκλεγείσα τεχνική θα παράγει μια συγκόλληση που θα τις καλύπτει απόλυτα.

Σε μια συγκόλληση 2 υλικών, όπου μεταγενέστερα θα υποστεί λίγες καταπονήσεις (π.χ. έπιπλα κήπου), μπορεί να ανεχτεί σφάλματα.

Από την άλλη πλευρά, μια συγκόλληση 2 υλικών, που θα χρησιμοποιηθούν σε χρήσεις με υψηλές τάσεις (π.χ. μέρη μηχανής, σκελετός οχήματος κ.α.), απαιτεί προσεκτικό υπολογισμό του μεγέθους και μεταγενέστερα μηχανικές δοκιμασίες και μεταλλουργικό έλεγχο. Αυτό όμως, δεν σημαίνει ότι η συγκόλληση είναι έτοιμη, αφού μπορούν να συμβούν συγκολλητικά σφάλματα, λόγω των απρόβλεπτων αλλαγών του υλικού και των λαθών παραγωγής. Τα περισσότερα σφάλματα αυτής της φύσεως μπορούν να αποφευχθούν κάνοντας την εργασία βήμα-βήμα, διασφαλίζοντας έτσι το γεγονός ότι το σφάλμα δεν συνέβηκε από την αρχή της διαδικασίας. Έτσι, πρέπει να υπάρχει μια αντίληψη για τα κοινά σφάλματα και σε αυτά θα αναφερθούμε παρακάτω, καθώς και τις βασικές λύσεις τους.

Πορώδης κατάσταση

Η πορώδης κατάσταση δημιουργείται καθώς φυσαλίδες αερίου εγκλωβίζονται κατά τη διάρκεια της στερεοποίησης της συγκόλλησης. Επίσης δημιουργείται από την εισαγωγή αέρα και υγρασίας μέσα στη «λίμνη» της συγκόλλησης. Όλα τα παραπάνω, συνεργαζόμενα με τα προστατευτικά αέρια, χειροτερεύουν το πρόβλημα. Τέλος στο πρόβλημα συνεισφέρει και η μόλυνση της συγκολλημένης επιφάνειας, από λάδι, υγρασία, λιπαντικά και βαφές. Όλα αυτά μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με προσεκτικές διαδικασίες καθαρισμού (αναφορά γίνεται στην παρακάτω παράγραφο). Η καθαρή πορώδης κατάσταση (διάμετρος του πόρου μέχρι 0,2 mm) παρουσιάζεται στις περισσότερες συγκολλήσεις τήξεως και στη μορφή σφαιρικών κοιλωμάτων που προκαλούν ασήμαντες τάσεις στη συγκόλληση. Το πιο σοβαρό πρόβλημα που παρουσιάζεται είναι η απώλεια της εγκάρσιας διατομής της συγκόλλησης, που προκαλείται αν είναι σε μεγάλο ποσοστό και σε κοντινή αμεσότητα. Οι πόροι οι οποίοι είναι πολύ μικροί σε σχέση με το βάθος συγκόλλησης και είναι καλά διασκορπισμένοι στο μήκος της συγκόλλησης, δεν επηρεάζουν σημαντικά τις ιδιότητες της κόλλησης.

Οι βαθιές συγκολλήσεις με laser σε κοντινά κατάλληλα σημεία ενώσεως, χωρίς την εντελώς διείσδυση σε όλο το πάχος της ένωσης (τυφλές κολλήσεις), είναι επιρρεπής στην πορώδη κατάσταση. Αυτό συμβαίνει λόγω των αερίων του υλικού και των φυσαλίδων, έχοντας μεγάλο δρόμο διαφυγής, από την ρίζα της συγκόλλησης ως την επιφάνεια, προτού κλείσει η σχηματισμένη οπή. Εκεί που η οπή διεισδύει το ολικό πάχος της ένωσης, οι αέριες φυσαλίδες «ενισχύονται» με δυο εξόδους και μια μικρότερη έξοδο διαφυγής. Παρ' όλα αυτά ο συνδυασμός της ισχύος της συγκόλλησης και της ταχύτητας είναι σημαντικός για τον διασφαλισμό της διεξόδου των αερίων φυσαλίδων.

Ρωγμές στερεοποίησης

Οι ρωγμές στερεοποίησης συμβαίνουν στις υψηλές θερμοκρασίες (ανώτερες των θερμοκρασιών στερεοποίησης), κάτω από συνθήκες όπου το υλικό έχει χαμηλή ελατότητα και είναι κάτω από υψηλές τάσεις συστολής.

Η στερεοποίηση από το υγρό συγκολλημένο μέταλλο αρχίζει σε μια θερμοκρασία (υγροποίησης) και ολοκληρώνεται σε μια χαμηλότερη θερμοκρασία (στερεοποίησης). Μεταξύ αυτών των δυο επιπέδων το κράμα σχηματίζει μια ατελής στερεοποιημένη μάζα που είναι εύθραυστη και έχει μικρή ή καθόλου ολκιμότητα, μέχρι να ψυχθεί σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Η ευθραυστότητα εμφανίζεται στα υγρά λεπτά στρώματα που περιβάλλουν τους στερεούς κόκκους, και όταν υπόκειται σε ψηλές και εγκάρσιες τάσεις συστολής, κατά τη διάρκεια της ψύξεως της συγκόλλησης, έχει σαν αποτέλεσμα να εμφανιστούν ρωγμές στερεοποίησης στα όρια των λεπτών στρωμάτων (συνήθως κοντά στο κέντρο της συγκόλλησης, που αποτελεί το τελευταίο μέρος που ψύχεται). Όταν υπάρχει υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, η ευθραυστότητα της συγκόλλησης συμβαίνει λόγω της μαρτενσιτικής μορφής του άνθρακα που είναι εύθραυστη και έχει αδύνατη μορφή στα τελικά στάδια, που συμβαίνει η ψύξη της συγκόλλησης.

Στους χάλυβες, το κύριο στοιχείο που προκαλεί τις ρωγμές, είναι το θείο, που προάγει τη μορφή των λεπτών στρωμάτων με χαμηλό σημείο τήξεως. Άλλα στοιχεία είναι ο φώσφορος και το βόριο. Το θείο στο χάλυβα μπορεί να είναι αβλαβές με την προσθήκη μαγγανίου, που προάγει τη μορφή του φωσφορούχου μαγγανίου. Ομοίως, η υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα μπορεί να είναι αβλαβής, με την προσθήκη μαγγανίου. Συνοπτικά, ο κίνδυνος των ρωγμών στερεοποίησης σε συγκολλήσεις με ανθρακούχο χάλυβα, μπορεί να ελαχιστοποιηθεί με τους εξής τρόπους:

- Διατηρώντας χαμηλή την περιεκτικότητα του άνθρακα στη ζώνη συγκόλλησης και αν είναι απαραίτητο με την προσθήκη υλικού με χαμηλό άνθρακα - μαγγάνιο.

- Κρατώντας την περιεκτικότητα του θείου και του φωσφόρου όσο γίνεται χαμηλότερη, περίπου στο επίπεδο του 0,02%. Αν αυτό δεν είναι δυνατό μπορεί να προστεθεί υλικό στη συγκόλληση με χαμηλό άνθρακα - μαγγάνιο.
- Αν τα υλικά είναι επιρρεπή στις ρωγμές και η προσθήκη κατάλληλων υλικών για την τροποποίηση της συγκόλλησης είναι αδύνατη, η μερική διείδυση των κολλήσεων πρέπει να αποφευχθεί, και όπου είναι δυνατόν, πρέπει να γίνουν τροποποιήσεις στο σχεδιασμό της ένωσης, για να μειωθούν οι συγκολλητικές τάσεις συστολής κατά την ψύξη. Επίσης για να καταπολεμιστούν οι τάσεις συστολής, πρέπει (αν είναι δυνατόν) οι επιφάνειες συγκόλλησης να κρατηθούν μεταξύ τους κάτω από πίεση και στις λεπτές διατομές πρέπει να γίνουν προσυγκολλητικές συγκολλήσεις στερεοποίησης (έδρασης), κατά μήκος της γραμμής ενώσεως.

Ρωγμές υγροποίησης στη ζώνη θερμικής επίδρασης

Το χαμηλό σημείο τήξεως των ορίων των κόκκων στα λεπτά στρώματα που περιγράφεται πιο πάνω, μπορεί να παρουσιαστεί και στη ζώνη θερμικής επίδρασης. Αυτό μπορεί να προκαλέσει ρωγμές κάτω από την επήρεια των θερμών τάσεων. Οι συγκολλήσεις με laser δεν είναι συνήθως ευπαθής σε αυτές τις μορφές ρωγμών, λόγω της χαμηλής εσωτερικής θερμότητας.

Ψυχρές ρωγμές

Οι πιο κοινές μορφές των ψυχρών ρωγμών είναι γνωστές ως «ψυχρές ρωγμές παραγόμενες από υδρογόνο» και συμβαίνουν στα φεριτικά και μαρτενσιτικά κράματα χαλύβων. Οι ρωγμές αυτές συνήθως πραγματοποιούνται στη ζώνη θερμικής επίδρασης μετά τη συγκόλληση, αλλά και στο ίδιο το συγκολλημένο μέταλλο. Η αιτία των ρωγμών είναι συνήθως συνδυασμός:

- Της παρουσίας υδρογόνου.
- Της ευθραυστότητας της μορφής του μαρτενσίτη.
- Της παρουσίας υψηλής συστολής και παραμενόντων τάσεων.

Το πρόβλημα μπορεί να αποφευχθεί, ακολουθώντας τις πιθανές λύσεις που αναφέρθηκαν στις ρωγμές στερεοποίησης. Αν αυτό δεν είναι εφικτό μπορεί να εφαρμοσθεί η προθέρμανση για να μειωθεί το ποσοστό ψύξεως και η ανόπτιση για τους μαρτενσιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες.

Ρωγμές από τάσεις οξείδωσης

Οι ρωγμές από οξείδωση είναι ένα σφάλμα που συμβαίνει σε συνδυασμό της οξείδωσης και των τάσεων εφελκυσμού. Η μερική διείσδυση των συγκολλήσεων (που διαθέτουν ρωγμές στη ρίζα τους) είναι επιρρεπής σε αυτού του είδους το σφάλμα, και δεν πρέπει να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον οξείδωσης, όπως σε διαλύματα νιτρικού οξέος ή σε δεξαμενές αποθήκευσης αμμωνίας. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο άνθρακας και οι ανοξείδωτοι χάλυβες είναι ευπαθής.

Γενικότερα, τα σφάλματα που ανακαλύπτονται στις συγκολλήσεις με laser όπου απαιτούνται υψηλές μηχανικές ιδιότητες, δεν πρέπει ποτέ να αγνοούνται. Αν κάποιος ανακαλύψει τέτοιου είδους σφάλματα και δεν είναι ειδικός στο αντικείμενο, πρέπει αμέσως να απευθυνθεί σε επαγγελματίες του είδους, που γνωρίζουν αρκετά τις συγκολλήσεις και γενικότερα τις ιδιότητες των υλικών.

4.4 ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Το σχήμα και το βάθος της συγκόλλησης καθορίζονται από τον τρόπο με τον οποίο εφαρμόζεται η συγκολλητική ενέργεια στην ένωση. Για την συγκόλληση με laser η εισαγωγή της ενέργειας ελέγχεται από τον συνδυασμό των ακόλουθων παραμέτρων:

- Το μέγεθος του εστιασμένου σημείου.
- Το προστατευτικό αέριο της οπής.
- Την ισχύ του laser (η ισχύς συνδυάζεται με το παλμικό μήκος και την συχνότητα, στην περίπτωση παλμικού laser) και
- Την ταχύτητα συγκόλλησης.

Αν τα παραπάνω είναι σωστά, τότε η επανάληψη της προσπάθειας της συγκόλλησης εξαρτάται από την υλική προετοιμασία, την εφαρμογή της ένωσης και την ακτίνα laser στην ευθυγράμμιση της ένωσης.

Όλες οι παραπάνω παράμετροι καλύπτονται από αυτή την παράγραφο, μαζί με τις σχετικές απόψεις των: αριθμού εστίασης f , βάθους εστίασης, θέσης εστίασης, προστατευτικών αερίων, μηχανών προστατευτικών αερίων, χρόνου και τρόπου χρησιμοποίησης της μηχανής καταστολής του πλάσματος, τρόπου εγκατάστασης των συνθηκών συγκόλλησης και ανοχών.

4.4.1 Μέγεθος εστιασμένου σημείου, βάθος εστίασης και θέση εστίασης

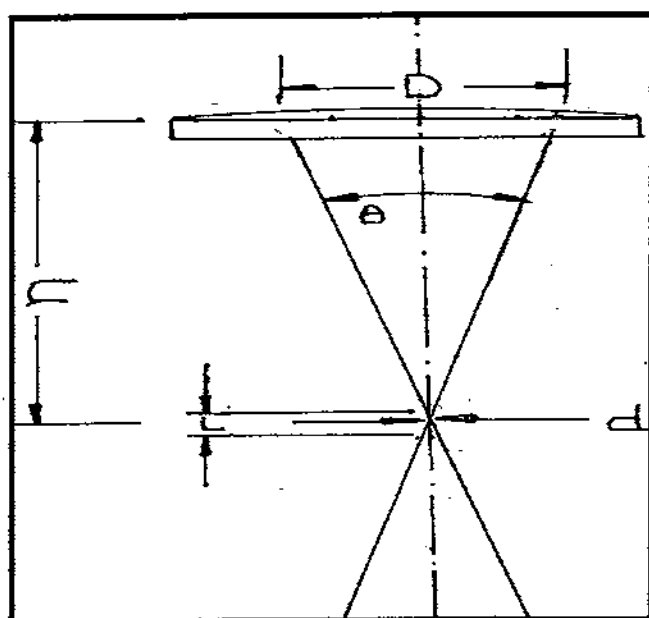
Μέγεθος εστιασμένου σημείου

Για να επιτύχει κανείς την απαιτούμενη πυκνότητα ισχύος για την συγκόλληση οπής η επιλογή και η διατήρηση του μεγέθους του εστιασμένου σημείου είναι άκρως σημαντική. Κατά συνέπεια, είναι απαραίτητη η φροντίδα της επιλογής των χαρακτηριστικών της οπτικής εστίασης, η οποία καθορίζει το μέγεθος του εστιασμένου σημείου.

Οι απλοί φακοί θα χρησιμοποιηθούν με σκοπό την εξήγηση των χαρακτηριστικών της οπτικής εστίασης, τα οποία πρέπει να ληφθούν υπόψη, όταν προσαρμόζουμε το μέγεθος του εστιασμένου σημείου. Παρόλα αυτά, υπάρχουν αρκετοί διαφορετικοί οπτικοί εξοπλισμοί διαθέσιμοι για την εστίαση των ακτίνων laser.

Όταν το φως εστιάζεται, οι ακτίνες συγκλίνουν σε μια πολύ μικρή μέση διάμετρο d και μήκος L (σχήμα 4.7), πριν να διασπαστούν και πάλι. Η ακριβής ελάχιστη μέση διάμετρος και το μήκος που επιτυγχάνεται, εξαρτώνται από τον τύπο της οπτικής, το μήκος εστίασης F , τη διάμετρο ακτίνας D (συναφής προς την οπτική), το κατά πόσο η συναφής ακτίνα συγκλίνει ή αποκλίνει τον αριθμό ακτίνας TEM, το μήκος κύματος φωτός και την ισχύ του laser.

Η πραγματική ελάχιστη μέση διάμετρος του παραγόμενου εστιασμένου φωτός είναι σχεδόν αδύνατο να υπολογισθεί ακριβώς ή να μετρηθεί. Ο υπολογισμός της διαμέτρου του σημείου δίνει μόνο μια προσέγγιση, καθώς δεν λαμβάνει υπόψη όλους τους ελεγκτικούς παράγοντες που αναφέρθηκαν παραπάνω, μερικοί από τους οποίους είναι από μόνοι τους δύσκολο να εφαρμοστούν, και μπορούν να διαφοροποιηθούν, όσο η ισχύς του laser αυξάνει.



Οπτικός φακός εστίασης

- D : Διάμετρος ακτίνας
- Θ : Γωνία ακτίνας
- U : Μήκος εστίασης
- L : Βάθος εστίασης
- d : Ελάχιστη μέση διάμετρος

Σχήμα 4.7 Χαρακτηριστικά μιας εστιασμένης ακτίνας laser

Μόλις η ισχύς συγκόλλησης, η ταχύτητα και οι προϋποθέσεις προστατευτικού αερίου έχουν εκπληρωθεί, η γωνία της εστιασμένης σύγκλισης Θ , το βάθος εστίασης L και το μέγεθος εστιασμένου σημείου, ελέγχουν συλλογικά την προσπάθεια συγκόλλησης. Καθώς οι προϋποθέσεις αυτές είναι αλληλένδετες και δεν μπορούν να ρυθμιστούν μεμονωμένα, πρέπει να επιτυχανθεί ένας συμβιβασμός. Οι κύριοι ελεγκτικοί παράγοντες, οι οποίοι είναι στα χέρια του χειριστή όσον αφορά την οπτική εστίαση, είναι η συναφής διάμετρος της ακτίνας και το μήκος εστίασης. Η σχέση διάστασης και επίδρασης αυτών των δυο παραγόντων, είναι κατάλληλα εκφρασμένες ως αριθμός f , ο οποίος προκύπτει διαιρώντας το εστιακό μήκος L , με τη συναφή διάμετρο ακτίνας D .

Από το σχήμα 4.7, γίνεται αντιληπτό ότι όσο πιο χαμηλός είναι ο αριθμός f , τόσο πιο μικρή είναι η μέση διάμετρος ακτίνας d και το βάθος εστίασης L και τόσο πιο μεγάλη η γωνία σύγκλισης Θ . Παρ' ότι οι χαμηλοί αριθμοί f παράγουν μικρότερα μεγέθη σημείου και γι' αυτό υψηλότερες πυκνότητες ισχύος οι οποίες κάνουν υψηλότερες ταχύτητες συγκόλλησης από αυτές των υψηλότερων αριθμών f , δεν εξασφαλίζουν τόσο καλές περιβάλλοντες διαμορφώσεις συγκόλλησης. Αυτό συμβαίνει διότι οι συγκολλήσεις είναι πιο

στενές, κάνοντας λοιπόν την εφαρμογή της ένωσης και την ακτίνα πάνω στην ευθυγράμμιση ένωσης πιο κρίσιμη. Περισσότερο μέταλλο συγκόλλησης μπορεί να χαθεί μέσω εξάτμισης, παράγοντας υποσκαμμένες συγκολλήσεις.

Η εμπειρία πολλών χρηστών CO₂ laser και προμηθευτών εξοπλισμού, έχει δείξει ότι οι αριθμοί f από το 6 ως το 9, γενικά παρέχουν τις καλύτερες περιβάλλοντες διαμορφώσεις συγκόλλησης για ισχύς άνω των 10KW. Για να επιτύχει κανείς πολύ υψηλή ταχύτητα συγκόλλησης, είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί αριθμός f μέχρι 3, αλλά για τους λόγους που περιγράφηκαν προηγουμένως, ο ακριβής έλεγχος της διαδικασίας καθίσταται αναγκαίος για την ανεκτή διαμόρφωση της συγκόλλησης. Κάτω από το f 3, η ικανότητα εστίασης της ακτίνας χειροτερεύει, ειδικά όταν χρησιμοποιείται ένας φακός, λόγω διαταραχής, η οποία θα αλλάξει τη μέση θέση και θα αυξήσει τη διάμετρό της. Αριθμοί μεγαλύτεροι του f 10 γενικά παράγουν πολύ μεγάλα μεγέθη σημείων και χρειάζονται πολύ υψηλές ισχύς laser για να επιτύχουν την απαιτούμενη πυκνότητα ισχύος και γι' αυτό κάνουν ανεπαρκή τη χρήση της ισχύος laser.

Βάθος εστίασης

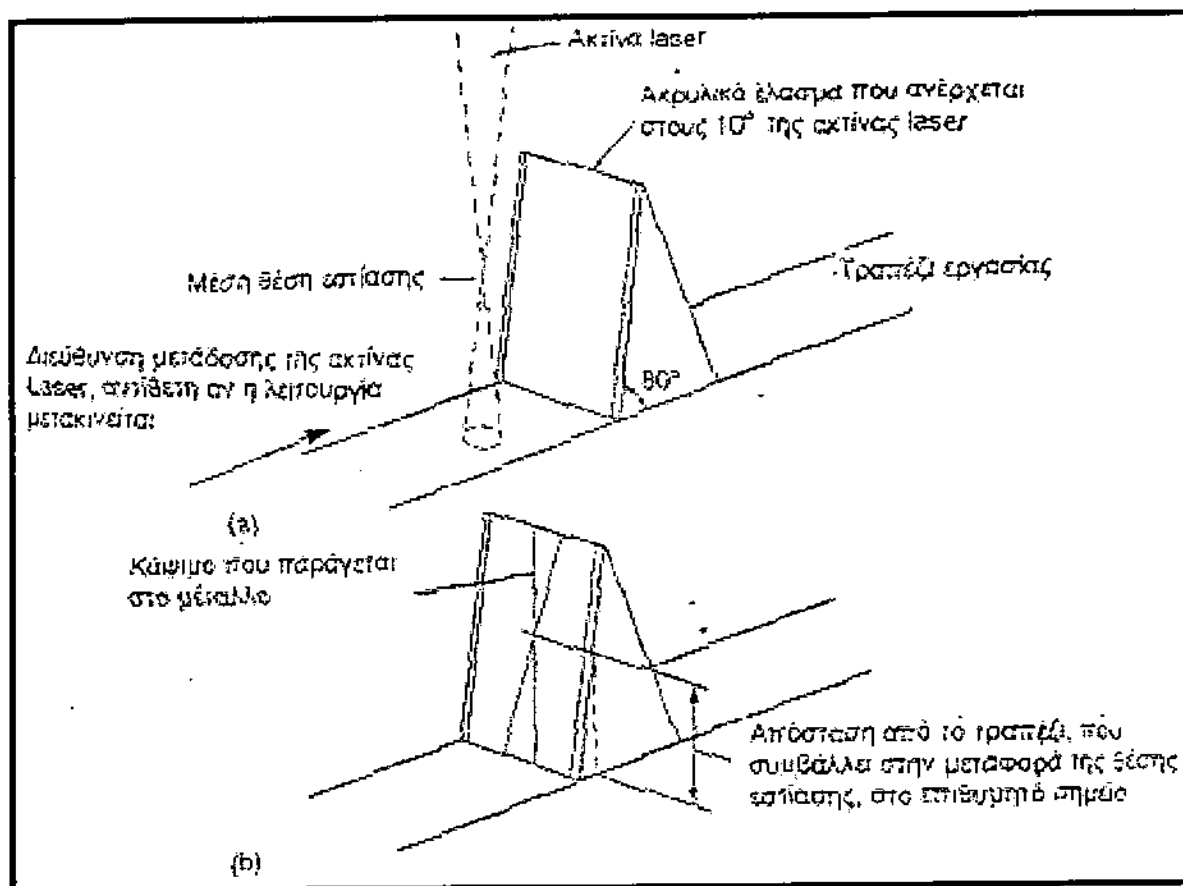
Από το σχήμα 4.7, είναι φανερό ότι η εστιασμένη ακτίνα έχει μέσο μήκος και ελάχιστη διάμετρος που αυξάνει με τον αριθμό f. Το μέσο μήκος είναι πολύ χρήσιμο για τη συγκόλληση με laser.

Υπάρχουν πολυάριθμες “συνταγές” για να προσεγγίσει κανείς το εργασιακό βάθος εστίασης μιας μηχανής εστίασης και μια τέτοια δίνεται στο σχήμα 4.7. Όλες αυτές οι “συνταγές” επηρεάζονται από παράγοντες που ελέγχουν το εστιακό σημείο, το οποίο αναφέρθηκε προηγουμένως. Παρ' όλα αυτά, παρέχουν μια ένδειξη διάστασης της διακύμανσης της θέσης εστίασης (μέση ελάχιστη) σχετικά με την επιφάνεια εργασίας που θα έπρεπε να πειραματιστεί με την εγκατάσταση του αληθινού εργαστηρίου.

Η εγκατάσταση του εργασιακού βάθους εστίασης πρακτικά, απλοποιείται αν κάποιος μπορεί αρχικά να προσεγγίσει την ελάχιστη θέση της μέσης διαμέτρου.

Για να βρει κανείς την ελάχιστη μέση θέση για ένα Nd:YAG laser θα πρέπει να τοποθετηθεί ένα μικρό ατσάλενο φύλλο μετάλλου, με την επιφάνειά του βαλμένη στην θεωρητική απόσταση εστιακού φακού και ένα μοναδικό παλμικό σημείο φτιαγμένο πάνω στην επιφάνεια του φύλλου μετάλλου. Το φύλλο μετάλλου στη συνέχεια πρέπει να μετακινηθεί κατά μήκος και να τοποθετηθεί άλλο ένα παλμικό σημείο στην επιφάνεια του κατά 0,1mm κάθε μετακίνησης. Έχοντας κατασκευάσει τέσσερα ή πέντε τέτοια σημεία, οι διάμετροί τους πρέπει να μετρηθούν με μικροσκόπιο. Αν τα σημεία γίνονται σταδιακά μικρότερα και μετά αυξάνονται, το μικρότερο σημείο αποτελεί την κατά προσέγγιση ελάχιστη μέση θέση. Στη συνέχεια η ρύθμιση της θέσης της επιφάνειας θα πρέπει να αναστραφεί και να μετρηθεί το ύψος από την επιφάνεια του φύλλου μετάλλου, ως το πρακτικό σημείο αφετηρίας στη μηχανή του laser και να καταγραφεί.

Για CO₂ laser με ισχύ περίπου 6KW ένας ικανοποιητικός τρόπος εγκατάστασης της ελάχιστης μέσης θέσης, είναι με το να πάρει κάποιος ένα αποτύπωμα εστιασμένης ακτίνας σε ένα ακρυλικό έλασμα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 4.8. Όταν χρησιμοποιείται αυτή η μέθοδος, είναι σημαντικό να παίρνει κανείς το αποτύπωμα στην χρησιμοποιούμενη ισχύ για την περίπτωση όπου η θέση εστίασης μετακινηθεί με τις αλλαγές της ισχύος. Επίσης συμβουλεύεται να διασχιστεί το ακρυλικό έλασμα από την ακτίνα με 4-5m/sec για την αποφυγή ανεπιθύμητης καταστροφής του αποτυπώματος διαμέσου της αγωγής θερμότητας που θα προέκυπτε σε χαμηλότερες ταχύτητες.



Σχήμα 4.8 Κανόνας για να επιτευχθεί η ελάχιστη μέση θέση εστίασης χρησιμοποιώντας ένα γωνικό ακρυλικό έλασμα.

A) Πριν τυπωθεί το laser

B) Μετά την τύπωση του laser

Μόλις εγκατασταθεί ιδανικά η ελάχιστη μέση θέση σε σχέση με το καθορισμένο σημείο αφετηρίας πάνω στη μηχανή του laser για μελλοντική αναφορά, η ροή του λιωμένου laser μπορεί να γίνει κατά τρόπο ώστε να βρει κανείς το πρακτικό εργασιακό βάθος της εστίασης βασισμένο στο βάθος διείσδυσης που επιτυγχάνεται (ο όρος "ροή λιωμένου laser" χρησιμοποιείται όταν η συνθήκη συγκόλλησης αναφέρεται σε ένα μοναδικό φύλλο μετάλλου, π.χ. χωρίς να παραχθεί μια γραμμή ενώσεως σε επαπτόμενες επιφάνειες). Το πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι, δεν προκύπτει καθόλου σύγχυση στις θέσεις των επιφανειών των δειγμάτων και ευθυγραμμίζοντας τα δείγματα ως το τέλος, όλη η λιωμένη ροή μπορεί να γίνει σε μια διαδικασία. Αφού έχουν πραγματοποιηθεί οι ροές λιωσίματος, τα δείγματα θα πρέπει να πριονιστούν

στο μισό, εγκάρσια προς την κατεύθυνση της συγκόλλησης, για να αποκαλυφθεί η όψη που περιέχει τη λιωμένη ροή του βάθους διείσδυσης. Η όψη θα πρέπει μετά να γυαλισθεί και να χαραχθεί με οξύ για να αποκαλύψει το βάθος λιωσίματος, που μπορεί τότε να μετρηθεί με διαβήτη βερνιέρου. Ένα μεγεθυντικό γυαλί ή μικροσκόπιο μπορεί να είναι απαραίτητο, για να δει κανείς το βάθος συγκόλλησης φτιαγμένο σε χαμηλή ισχύ laser. Μόλις μετρηθούν τα βάθη ροής μπορούν να χαραχθούν ενάντια στις επιφάνειες ύψους των δειγμάτων, για να φανερωθεί η σχέση. Από αυτή την διακύμανση, το εργασιακό βάθος της εστίασης, που θα διατηρήσει το απαιτούμενο βάθος συγκόλλησης, μπορεί να εγκατασταθεί.

Σε σταθμούς εργαστηρίων, οι οποίοι τροφοδοτούν περιστρεφόμενα εξαρτήματα, όπου η ακτίνα laser είναι στις 90° από τον άξονα περιστροφής, δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ορθογώνια δοκιμαστικά δείγματα.

Η εναλλακτική λύση είναι να χρησιμοποιηθεί ένα μακρύ, ρηχό, κωνικό και σφηνοειδές δείγμα. Παρ όλα αυτά, η προσέγγιση αυτή παρουσιάζει πρακτικές δυσκολίες, στο να πάρει κανείς και να γυαλίσει τομείς κοντά και σε σχέση με το υπολογισμένο εστιακό εργασιακό βάθος των άκρων εστίασης.

Ο χαμηλός ενανθρακωμένος χάλυβας συνίσταται για τεστ δειγμάτων, διότι μπορεί εύκολα να πριονιστεί, ώστε να εμφανίσει τη ροή του λιωμένου laser, του βάθους διείσδυσης και αν οι συνθήκες γυαλίσματος και τριψίματος δεν είναι εύκολα διαθέσιμες, μπορεί εύκολα να ταξινομηθεί ή να κατεργαστεί, και μετά να γυαλιστεί τρίβοντας το με ένα κομμάτι χαρτιού βρεγμένο με καρβίδια σιλικόνης, απλωμένο σε ένα κομμάτι επίπεδου γυαλιού, και δουλεύοντας μέσα από τα επίπεδα χαρτιού, αν είναι απαραίτητο. Επιπλέον, για να εμφανισθεί το βάθος της ροής λιωσίματος πιο καθαρά, ο χάλυβας μπορεί να χαραχθεί πιο εύκολα βυθίζοντάς τον σε διάλυμα Νιτάλ (2 ml νιτρικού οξέος, 98 ml βιομηχανικού διαλύματος μεθανόλης) και μετά ξεπλένοντας προσεκτικά σε νερό και στεγνώνοντας. Κατά την διάρκεια της διαδικασίας χάραξης, πρέπει να προστατευτούν τα μάτια και να φορεθούν λαστιχένια γάντια.

Θέση εστίασης

Το εστιακό σημείο ή η ελάχιστη μέση θέση διαμέτρου σε σχέση με την επιφάνεια εργασίας, πρέπει να επιλεγθούν προσεκτικά, για να διασφαλιστεί η σωστή ισχύ πυκνότητας του laser και να δημιουργηθεί η οπή συγκόλλησης. Μεταξύ μερικών ερευνητών, εμφανίζεται να υπάρχει μια εικασία, όταν πραγματοποιούνται αυτογενείς συγκολλήσεις (αυτές που γίνονται χωρίς την προσθήκη παρεμβύσματος) για το αν η θέση πρέπει να είναι πάνω από την επιφάνεια ή κάτω από αυτή. Όποια και αν είναι η περίπτωση, όταν παρεκκλίνει το εργασιακό βάθος εστίασης σε σχέση με την επιφάνεια κομματιού είναι ασύνητο, διότι οι μικρές αποστάσεις θα προκαλέσουν διακυμάνσεις στην ακτίνα της διαμέτρου, ειδικά σε μικρούς αριθμούς, όπου οι γωνίες σύγκλισης και απόκλισης της ακτίνας είναι μεγάλες. Το πρόβλημα είναι ότι μικρές αλλαγές στη διάμετρο, παράγουν μεγάλες αλλαγές στην περιοχή η οποία παράγει μια αντίστοιχη μείωση της ισχύς πυκνότητας και την απώλεια δυναμικού στην ικανότητα οπής.

Πού θα έπρεπε όμως να είναι η θέση εστίασης; Θα πρέπει να είναι η θέση που δίνει το μεγαλύτερο βάθος διείσδυσης και το οποίο μπορεί να πάρει κανείς από τα αποτελέσματα που προκύπτουν όταν εγκαθιστά το εργασιακό βάθος εστίασης. Από εμπειρία, αυτό συνήθως εμφανίζεται να είναι στην ελάχιστη μέση διάμετρο ή μόνο στη μια πλευρά της, κάτι που δείχνει ότι η ελάχιστη μέση θέση δεν εγκαταστάθηκε ακριβώς από την αρχή ή ότι πραγματικά η καλύτερη θέση εστίασης είναι στη μια πλευρά της. Όποια και αν είναι η περίπτωση, η θέση πρέπει πάντα να εγκαθίσταται πρακτικά ώστε να εξασφαλίζει τις καλύτερες διαδικασίες ανοχής και γι' αυτό το λόγο, το κατά πόσο η πραγματική ελάχιστη μέση θέση είναι πάνω στην επιφάνεια εργασίας ή όχι, δεν αποτελεί την κύρια σπουδαιότητα.

Όταν πραγματοποιούνται κολλήσεις που απαιτούν την προσθήκη παρεμβύσματος, η θέση εργασίας της μέσης εστιασμένης ακτίνας laser θα πρέπει να υπολογιστεί σε σχέση με τη θέση του παρεμβύσματος, το κενό ενώσεως και το βάθος. Κατά συνέπεια, σε σχέση με την γεωμετρία ενώσεως, η

ακτινοβολία της ακτίνας laser (είτε είναι εστιασμένη είτε όχι), μέσω του σύννεφου πλάσματος, γίνεται σημαντική.

4.4.2 Προστατευτικά αέρια, προστατευτικές μηχανές και καταστολή πλάσματος

Ο ρόλος του προστατευτικού αερίου

Στη συγκόλληση με laser το προστατευτικό αέριο έχει 2 ρόλους:

1. Την προστασία της οπής συγκόλλησης και του στερεοποιημένου τηγμένου μετάλλου από οξείδωση. Έτσι αποφεύγεται η πορώδης κατάσταση και οι προσθήκες οξειδίων που συμβάλλουν στη φτωχή ποιότητα συγκόλλησης.
2. Την προστασία της μετάδοσης της ακτίνας laser καθώς επέρχεται στην εστίαση από την εργασία, και την εξασφάλιση καλής συγκολλητικής διεύθυνσης, ελαχιστοποιώντας τη διαστολή της ακτίνας και τη διασκορπισή της, που μπορεί να συμβεί από ατμούς και αέρια γύρω από την οπή συγκόλλησης.

Ο πρώτος από αυτούς τους ρόλους πετυχαίνεται με αρκετά αέρια, αλλά ο δεύτερος είναι πιο δύσκολος. Κατά την διάρκεια της εξαγωγής του ατμοποιημένου μετάλλου από την οπή, απορροφά την ισχύ του laser, ιονίζεται και διαμορφώνει ένα σύννεφο πλάσματος, ακριβώς πάνω από την οπή συγκόλλησης. Το σύννεφο έχει τη μορφή σαν μια αστραφτερή μπλε / άσπρη μπάλα, διαμέτρου λίγων χιλιοστών, και στις υψηλές ισχύς laser είναι εξαιρετικά δύσκολο να το δει κανείς, εκτός αν κοιτάξει μέσα από ένα χρωματιστό γυαλί. Είναι επίσης μερικώς διαφανές από την ακτίνα laser και αν δεν μειωθεί αρκετά θα διασκορπίσει και να διαστείλει την ακτίνα laser από τη δίοδό της, προκαλώντας μείωση του συγκολλητικού βάθους διεύθυνσης, λόγω της ελάττωσης της ισχύος πυκνότητας. Κάτω από σωστές συνθήκες, τα κατάλληλα προστατευτικά αέρια, καταστέλλουν τη μορφή του πλάσματος και

εξασφαλίζουν την maximum μετάδοση της ακτίνας laser και την απορρόφησή της από το κομμάτι.

Τα πιο κοινά προστατευτικά αέρια που χρησιμοποιούνται για συγκόλληση με laser είναι το αργό, το διοξείδιο του άνθρακα, το ήλιο και το άζωτο. Αυτά τα διαφορετικά αέρια δεν έχουν τα ίδια αποτελέσματα, αν χρησιμοποιηθούν σε CO₂ και σε Nd:YAG laser. Σαν σύγκριση ο ρόλος της καταστολής του πλάσματος στα Nd:YAG laser είναι ασήμαντος, λόγω του διαφορετικού μήκους κύματος φωτός και της παλμικής μορφής της λειτουργίας, που ελαχιστοποιεί την δημιουργία πλάσματος. Τα προστατευτικά αέρια και μηχανές για αυτούς τους δυο τύπους laser, περιγράφονται ξεχωριστά παρακάτω.

Προστατευτικά αέρια για συγκόλληση με Nd :YAG laser

Ορισμένες φορές, μπορούν να επιτευχθούν ικανοποιητικές σημειακές συγκολλήσεις με Nd:YAG laser χωρίς την χρησιμοποίηση προστατευτικών αερίων. Αυτό συμβαίνει διότι η συγκόλληση είναι τηγμένη για πολύ λίγο χρονικό διάστημα και δεν προλαβαίνουν να εισχωρήσουν επιβλαβή οξειδία, πριν συμβεί η στερεοποίηση. Παρ' όλα αυτά η επιφάνεια του σημείου οξειδώνεται και εμφανίζεται «καπνιά» από το εξατμισμένο μέταλλο. Όταν πραγματοποιούνται συνεχής συγκολλήσεις (ραφής ή επαπτόμενες) με υπερκαλυπτόμενα σημεία, εισχωρούν οξειδία και «καπνιά» στην συγκολλητική «πισίνα». Σε αυτές τις συγκολλήσεις είναι απαραίτητα τα προστατευτικά αέρια, για να προλαμβάνουν τέτοιες «μολύνσεις» και να διατηρείται ασφαλής η ποιότητα συγκόλλησης. Για αυτό τον σκοπό χρησιμοποιούνται αέρια, όπως το αργό ή το άζωτο (το άζωτο μπορεί να προκαλέσει σκληρότητα στους χάλυβες), σε laser με ισχύ περίπου 300W. Σε επίπεδα ισχύος άνω των 300W τα προστατευτικά αέρια γίνονται πιο επιβεβλημένα, και επηρεάζουν το βάθος διείσδυσης της κόλλησης και την εμφάνισή της. Πάντως οι χειριστές των Nd:YAG laser υψηλής ισχύος, δουλεύοντας σε ισχύ κατά μέσο όρο 1 KW, έχουν μειώσει το πρόβλημα της διείσδυσης χρησιμοποιώντας 20% διοξείδιο του άνθρακα, 80% αργό ή αργό με προσθήκη 1-2% μίγμα οξυγόνου. Πάντως,

αυτά τα μίγματα αερίων παράγουν ελάχιστη οξείδωση στην επιφάνεια συγκόλλησης.

Δοκιμές συγκολλήσεων με Nd:YAG laser στην Ιαπωνία, με προστατευτικά αέρια ήλιο και άζωτο, έδειξαν περίπου ίδια βάθη διείσδυσης της συγκόλλησης και με τα δυο αέρια. Ωστόσο, χρησιμοποιώντας ήλιο, συμβαίνει περισσότερο η πορώδεις κατάσταση.

Προστατευτικά αέρια για συγκόλληση με CO₂ laser

Όταν πραγματοποιείται συγκόλληση με CO₂ laser, η έλλειψη της διείσδυσης της κόλλησης που προκαλείται από την μορφή του πλάσματος, επικρατεί μόνο όταν χρησιμοποιείται λάθος προστατευτικό αέριο ή όταν υπάρχει συνδυασμός υψηλής ισχύος laser και χαμηλής ταχύτητας συγκόλλησης (συνήθως μικρότερη του 1m/min και συγκεκριμένα κάτω από 0.7m/min). Σε περίπτωση πολύ χαμηλής ταχύτητας, χρησιμοποιείται ένας συνδυασμός προστατευτικού αερίου, συνδυάζοντας ένα κύριο προστατευτικό αέριο και ένα ειδικό μηχάνημα καταστολής του πλάσματος, που περιγράφεται παρακάτω. Όπου η ταχύτητα συγκόλλησης είναι πάνω από 1m/min, ο αποτελεσματικός έλεγχος του πλάσματος επιτυγχάνεται με απλά προστατευτικά μηχανήματα και την σωστή επιλογή κατάλληλων τύπων αερίων. Επομένως, από τη στιγμή που η συγκόλληση συμβαίνει με ταχύτητες πάνω από αυτήν, η επιλογή των προστατευτικών αερίων και των αντίστοιχων μηχανών, πρέπει να γίνει πριν αρχίσει η λειτουργία της συγκόλλησης.

Το ήλιο αποτελεί το καλύτερο από τα κοινά προστατευτικά αέρια, για τη διαμόρφωση και την υψηλή ποιότητα της συγκόλλησης. Αυτό συμβαίνει διότι το ήλιο έχει το υψηλότερο δυναμικό ιονισμού, που πρακτικά σημαίνει ότι απορροφά μεγαλύτερη ενέργεια πριν κατακαθίσει και πριν δημιουργηθεί μη αποδεκτή μορφή πλάσματος. Είναι ελαφρύτερο του αέρα, δεν αιωρείται στη ζώνη συγκόλλησης για πολλή ώρα και δεν προσβάλλει την ποιότητά της. Επίσης το ήλιο συνίσταται για συγκολλήσεις όπου απαιτούνται υψηλής ποιότητας συγκολλήσεις και ειδικά συνίσταται για συγκολλήσεις ανοξειδωτων

χαλύβων και υλικών, όπως τιτάνιο και ζirkόνιο, όπου η ποιότητα δεν πρέπει αυστηρά να προσβάλλεται από οξειδωση. Το μειονέκτημα της χρήσης του ήλιου είναι το υψηλό κόστος του. Για παράδειγμα, στην Μεγάλη Βρετανία το ήλιο κοστίζει 2,5 φορές περισσότερο από το αργό και 10 φορές περισσότερο από το διοξείδιο του άνθρακα και το άζωτο.

Το άζωτο συμπεριφέρεται σχεδόν όμοια με το ήλιο, στην περίπτωση της μορφής του μη αποδεκτού πλάσματος. Όμως όσον αφορά την ποιότητα συγκόλλησης, προκαλεί θραύση της συγκόλλησης σε ορισμένους χάλυβες, και πρέπει να χρησιμοποιείται με σύνεση σε συγκολλήσεις που απαιτούν υψηλή ποιότητα και αξιοπιστία. Πάντως, γενικά, με το άζωτο επιτυγχάνεται αποδεκτή ποιότητα συγκόλλησης για αρκετές εφαρμογές και αποτελεί το πιο διαδεδομένο προστατευτικό αέριο για συγκολλήσεις χαλύβδινων ελασμάτων.

Το διοξείδιο του άνθρακα, δεν συνιστάται για τέτοιου είδους συγκολλήσεις που η λειτουργία του laser πραγματοποιείται με συνεχές κύμα, διότι το διοξείδιο του άνθρακα αντιδρά πολύ γρήγορα την εστιασμένη ακτίνα, προσβάλλει τη συγκόλληση και δημιουργεί μη αποδεκτό σύννεφο πλάσματος. Το σύννεφο είναι εξαιρετικά λαμπερό, αντανακλά το φως του laser προς τα πίσω και καταστρέφει την οπτική εστίαση. Σε συνεργασία με όλα τα παραπάνω, μπορεί να συμβεί και απώλεια της διεύθυνσης της συγκόλλησης σε πολύ μικρό μήκος κόλλησης. Όταν χρησιμοποιείται CO₂ laser σε λειτουργία σημειακής συγκόλλησης με παλμικό κύμα, έχουν αναφερθεί καλές διευσθύνσεις συγκόλλησης, χρησιμοποιώντας διοξείδιο του άνθρακα. Η παλμική λειτουργία και η μικρή διάρκεια συγκόλλησης, δεν παρέχουν αρκετό χρόνο για την δημιουργία του μη αποδεκτού πλάσματος, και έτσι επιτυγχάνεται αποδεκτή συγκόλληση.

Το αργό είναι εξαιρετικά καλό αέριο για την αποφυγή οξειδωσης. Παρ' όλα αυτά δημιουργεί πολύ γρήγορα το μη αποδεκτό σύννεφο πλάσματος, όπως το διοξείδιο του άνθρακα. Όταν χρησιμοποιείται με συνεχές κύμα και κάτω από συνθήκες όπου το αργό είναι βαρύτερο από τον αέρα και δεν διαφεύγει από τη ζώνη συγκόλλησης, λιμνάζει και ξαφνικά (συχνά σε μια απόσταση 100

την από την αρχή της συγκόλλησης) δημιουργεί πυκνό πλάσμα, που προκαλεί ξαφνική απώλεια της διεύθυνσης της κόλλησης. Αυτό συμβαίνει σε περιπτώσεις όπου το αργό δεν ωθείται έξω από την λειτουργία, από το εισερχόμενο φρέσκο προστατευτικό αέριο από την μηχανή. Γενικότερα, το αργό συνίσταται σε περιπτώσεις όπου μπορεί γρήγορα να απομακρυνθεί από τη ζώνη συγκόλλησης, με τη βοήθεια της βαρύτητας ή με μηχανική εξαγωγή. Πάντως το αργό είναι χρήσιμο για να συνδυαστεί με άλλα επικαλυπτόμενα αέρια, για την προστασία της οπής συγκόλλησης στα τελικά στάδια της στερεοποίησης και ψύξεως. Η χρήση του αργού σε αυτές τις περιπτώσεις, παρέχει αρκετή οικονομία και κέρδος, σε σχέση με τη χρήση ήλιου για την κατασκευή μεγάλων κατά μήκος συγκολλήσεων και όπου απαιτείται μεγάλη σειρά παραγωγής.

Παροχή αερίου

(για CO₂ και Nd :YAG laser)

Για μαζική παραγωγή συγκολλήσεων, η πιο κατάλληλη επιλογή για προστατευτικό αέριο, είναι η πιο φτηνή σε συνδυασμό με την ελάχιστη ποσότητα, που θα παρέχει σταθερές κολλήσεις, που θα καλύπτουν επαρκώς τις απαιτήσεις χρήσεως. Κατά συνέπεια, η παροχή αερίου είναι ένας σημαντικός παράγοντας όσον αφορά την ποιότητα συγκόλλησης και το κόστος.

Η απαιτούμενη παροχή αερίου είναι συνήθως εξαρτώμενη από την ισχύ του laser την πρόσβαση στην ένωση και τον περιορισμό της.

Όταν συγκολλούνται υλικά επιρρεπή στην οξείδωση, όπως το τιτάνιο και το ζirkόνιο και επίσης η πρόσβαση στις ενώσεις είναι δύσκολη, μπορεί να κριθούν απαραίτητες κάποιες δοκιμές στην παροχή του προστατευτικού αερίου. Αυτές οι δοκιμές επίσης αναφέρονται και στις συγκολλητικές εφαρμογές, όπου απαιτούνται πολύ καλή ποιότητα συγκόλλησης, όπως πυρηνικά και αεροδιαστημικά εξαρτήματα.

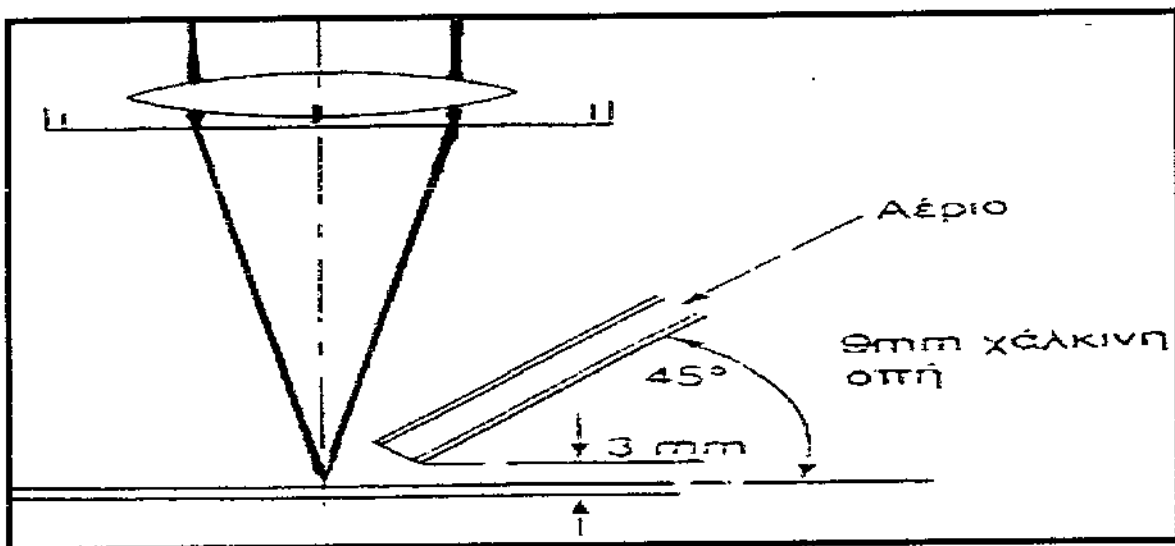
Καθώς η επιλογή της παροχής του προστατευτικού αερίου είναι σημαντική και από πλευράς ποιότητας και από πλευράς οικονομίας, πρέπει να

δοθεί προσοχή και στη σωστή μέτρηση της. Για ακρίβεια, πρέπει να επιλεγεί ένας μετρητής όπου η απαιτούμενη παροχή πέφτει στο ένα τρίτο της μετρητικής σκάλας. Τέλος πρέπει να δοθεί προσοχή στην ρύθμιση του μετρητή παροχής για την σωστή εξασφάλιση της.

Μηχανές προστατευτικών αερίων

Nd :YAG laser

Για την συγκόλληση με Nd :YAG laser, μια απλή σωληνωτή μονόπλευρη μηχανή προστατευτικού αερίου φαίνεται στο σχήμα 4.9 και χρησιμοποιείται όπου απαιτείται ακρίβεια στις σημειακές κολλήσεις. Αυτό συμβαίνει διότι η πλευρά της σωλήνωσης παρέχει καλή πρόσβαση στην περιοχή του σημείου συγκόλλησης. Όταν συγκολλούνται ενώσεις με συνεχή ραφή, χρησιμοποιείται μια δακτυλιοειδής αξονική μηχανή ως προς την ακτίνα laser που παρέχει αποτελεσματική προστασία στη συγκόλληση και η ευθυγράμμισή της δεν είναι τόσο κρίσιμη, όσο της μονόπλευρης σωληνωτής μηχανής. Επίσης μηχανές με αξονικά ακροφύσια είναι πιο πρακτικές, όταν τη μηχανή του laser χειρίζεται robot. Τέλος παρέχουν την κάλυψη της ολίσθησης των οπτικών εξαρτημάτων και την προστασία από το «πιτσίλισμα» της συγκόλλησης, διότι η δύναμη της ροής του αερίου αντιτάσσει κάθε υλικό να εισχωρήσει στη δίοδο της ακτίνας.

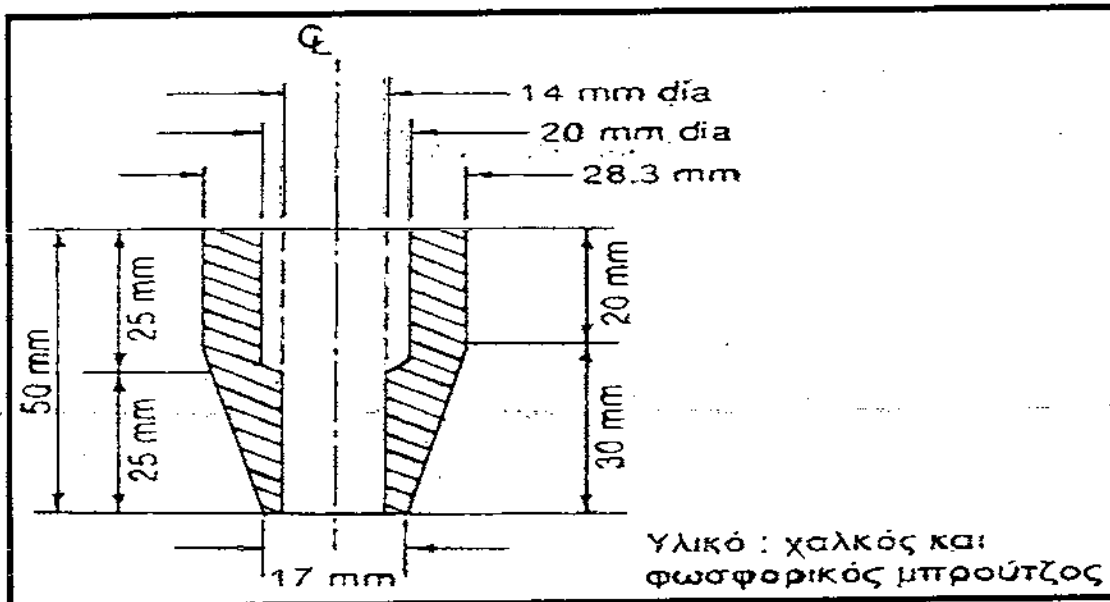


Σχήμα 4.9 Μια μονόπλευρη σωλήνωση προστατευτικού αερίου κατάλληλη για Nd:YAG και CO₂ laser

CO₂ laser

Τα πλεονεκτήματα της μηχανής με αξονικά ακροφύσια που περιγράφηκαν στα Nd :YAG laser ισχύουν και στα CO₂ όταν λειτουργούν σε επίπεδα ισχύος της τάξεως περίπου 5KW και άνω. Πολύ πάνω από αυτό το επίπεδο, αυξάνεται η πιθανότητα σχηματισμού μη αποδεκτού σύννεφου πλάσματος στην είσοδο του ακροφυσίου, καταστρέφοντας την ικανότητα εστίασης της ακτίνας

Ένα απλό σχέδιο ενός μηχανήματος με αξονικά ακροφύσια για συγκόλληση με CO₂ laser, φαίνεται στο σχήμα 4.10. Τέτοιο μηχάνημα είναι κατάλληλο για γρήγορες συγκολλήσεις χάλυβα (με ταχύτητα μεγαλύτερη του 1m/min), με ένωση βάθους περίπου 4mm και ισχύ περίπου 5KW, και την πρόσβαση του μηχανήματος στην επιφάνεια ένωσης σε απόσταση περίπου 6mm. Η διάμετρος του στομίου του ακροφυσίου δεν είναι κρίσιμη και κυμαίνεται από 4mm ως 20mm, χρησιμοποιώντας το σε συνεργασία με παροχή από 10lt/min ως 40lt/min. Πάντως πρέπει να τονιστεί ότι στόμια με διάμετρο λιγότερη των 4mm, προκαλούν πορώδεις καταστάσεις σε αυτές τις παροχές. Αυτό οφείλεται λόγω της μεγάλης συγκέντρωσης των αερίων και την προκύπτουσα μεγάλη ταχύτητά τους, που επιτρέπει στα αέρια την εισχώρησή τους στην οπή συγκόλλησης και τον εγκλωβισμό τους.



Σχήμα 4.10 Τομή ενός ακροφυσίου προστατευτικού αερίου, που μπορεί να εφαρμοστεί σε ένα Nd:YAG laser

Καταστολή του πλάσματος

Όταν πραγματοποιείται συγκόλληση με CO₂ laser με συνεχή κύμα σε ταχύτητες κάτω του 1m/min, η αλληλεπίδραση της ακτίνας laser και του υλικού οδηγεί στην αύξηση του ατμού ή της αποβολής του πλάσματος από την οπή συγκόλλησης. Αυτό αντιδρά με το προστατευτικό αέριο και αν δεν απομακρυνθεί έγκαιρα, δημιουργεί ένα εξαιρετικά πυκνό σύννεφο πλάσματος ακριβώς πάνω από την οπή. Το σύννεφο, που εμφανίζεται σαν μια μικρή, λαμπερή, μπλε μπάλα, με διάμετρο λίγων χιλιοστών, δεν είναι διαφανές από το φως του laser και αντανακλά ποσοστό της ακτίνας προς όλες τις κατευθύνσεις πριν επέλθει στο σημείο εστίασης. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την διασκόρπιση της ισχύος, πριν φτάσει στην επιφάνεια του υλικού, επεκτείνοντας την συγκολλητική ζώνη τήξεως κοντά στην επιφάνεια και μειώνοντας την συγκολλητική διείσδυση. Η πιο απλή αποκατάσταση του προβλήματος είναι η αύξηση της ισχύος του laser και η αύξηση της ταχύτητας της συγκόλλησης. Αυτό όμως δεν είναι πάντα εφικτό, κυρίως όταν συγκολλούνται λεπτά ελάσματα και απαιτείται η ελάχιστη ισχύς του laser. Έτσι, απαιτείται μια εναλλακτική λύση, που δεν είναι άλλη, από το μηχάνημα καταστολής πλάσματος, που τοποθετείται μέσα στο προστατευτικό αέριο, κατά τη ρύθμισή του.

Το μηχάνημα καταστολής του πλάσματος είναι ένα μικρό ακροφύσιο σε γωνία 45° και βοηθάει στην εκτόξευση συνεχούς ροής αερίου ηλίου στο σύννεφο πλάσματος μετακινώντας το και αφήνοντας την επιφάνεια ελεύθερη. Η ευθυγράμμιση της ροής του ηλίου, της ακτίνας και της μέγιστης επίδρασης του πλάσματος πρέπει να είναι ακριβής. Το ακροφύσιο ενσωματώνεται με τα προστατευτικά αέρια και δημιουργούν μια πολύ ισχυρή πλατφόρμα, για την καταπολέμηση και την απομάκρυνση του πλάσματος.

4.4.3 Ισχύς του laser και ταχύτητα συγκόλλησης

Έχοντας περιγράψει τα απαραίτητα πρακτικά βήματα για τον εστιασμό της ακτίνας laser για την καλή εκτέλεση της συγκόλλησης και πως εμπλουτίζεται αυτή με τα προστατευτικά αέρια, πρέπει να δοθεί προσοχή στον επηρεασμό της από την ισχύ του laser και την ταχύτητα της. Η επήρεια αυτών των δυο παραμέτρων, όταν η συγκόλληση είναι συνεχής, είναι πιο κατανοητή στη λειτουργία των CO₂ laser με συνεχή μορφή κυμάτων, σε σχέση με τα παλμικά Nd:YAG laser. Αυτό συμβαίνει διότι ο αριθμός joule / παλμός δεν υποδηλώνει την πραγματική εσωτερική θερμότητα, από τη στιγμή που εξαρτάται από το μήκος παλμού και το εύρος του. Επιπλέον, η ταχύτητα συγκόλλησης εξαρτάται από την συχνότητα του παλμού και το επί τις εκατό ποσοστό υπερκάλυψης του κάθε σημείου.

Προετοιμασία των υλικών πριν την συγκόλληση

Καθώς έχουν καθοριστεί οι παράμετροι συγκόλλησης, η απόδοσή τους εξαρτάται από την προετοιμασία των επιφανειών ενώσεως, τον εξοπλισμό της ένωσης και την ευθυγράμμιση της ακτίνας με το κέντρο της ένωσης. Για υψηλό βαθμό συγκόλλησης, οι επιφάνειες ενώσεως πρέπει να μην έχουν πρόσθετες μολύνσεις όπως λιπαντικά, βαφές και οξειδία. Αν τα εξαρτήματα πρέπει να συγκολληθούν αυτογενώς, οι επιφάνειες τους πρέπει να είναι λείες και σε πολύ καλή επαφή. Οι επιφάνειες ενώσεως για πολύ λεπτά κομμάτια μπορούν να τροχιστούν, πλανιστούν ή και να περάσουν από τόννο, ώστε τα εμπλεκόμενα κομμάτια να έχουν πολύ καλή εφαρμοστικότητα. Αυτές οι πράξεις είναι απαραίτητες για την αποφυγή δυο κύριων προβλημάτων: κενά μεταξύ των ενώσεων και άσχημο ταίριασμα μεταξύ των επιφανειών, που μπορούν να συμβούν και τα δυο. Τα κενά μεταξύ των ενώσεων είναι το πιο σοβαρό πρόβλημα και είναι ίδιας σημασίας με την ευθυγράμμιση της ακτίνας με την γραμμή ενώσεως.

Ο χημικός καθαρισμός των κομματιών (όπως πλύσιμο με ακάθαρμο πετρέλαιο, αιθέρα) και ο καθαρισμός των ατμών με τριχλωροαιθυλαίνιο, πρέπει να γίνονται μακριά από τη ζώνη συγκόλλησης και τις γραμμές μετάδοσης της ακτίνας διότι οι ατμοί που παράγονται από αυτά τα μέσα καθαρισμού εξασθενούν τη μετάδοση της ακτίνας, προκαλώντας θερμικό σφάλμα. Επίσης τα μέσα καθαρισμού πρέπει να ξεπλένονται ικανοποιητικά και μετά να στεγνώνονται πριν πραγματοποιηθεί η συγκόλληση, αλλιώς θα έχουμε τα φαινόμενα του «πιτσιλίσματος» της συγκόλλησης και της πορώδους κατάστασης. Μη απομακρυσμένα μέσα καθαρισμού που περιέχουν θειικά άλατα και φωσφορικά άλατα, είναι αρκετά επιρρεπή σε αυτά τα φαινόμενα.

4.5 ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΕΛΕΓΧΟΥ ΚΑΙ ΠΑΡΑΚΟΛΟΥΘΗΣΗΣ

Οι περισσότερες εφαρμογές των συγκολλήσεων με laser είναι σε προϊόντα όπου χρειάζονται υψηλά επίπεδα ποιότητας κόλλησης. Τέτοιες εφαρμογές μπορεί να είναι στα διυλιστήρια καυσίμων, στις λεπίδες πριονιών, στα διάφορα μέρη αυτοκινήτου κ.α. Οι διαδικασίες συγκόλλησης και οι συνθήκες των υλικών πρέπει να προνοηθούν και να προσεχτούν ιδιαίτερα, για την εξασφάλιση της απαιτούμενης ποιότητας συγκόλλησης.

Για να ελεγχθεί η ποιότητα των συγκολλήσεων σε χαμηλό κόστος και σε χαμηλής παραγωγής εξαρτήματα, είναι πολλές φορές πρακτικό να αποσυρθεί ένα εξάρτημα (μετά από ένα πολύ μικρό αριθμό παραγωγής) και να εξετασθεί. Αν βρεθεί μη αποδεκτό σφάλμα, τότε αποσύρεται προσωρινά από την παραγωγή, διορθώνεται και επανέρχεται στη μαζική παραγωγή. Ωστόσο η συγκόλληση με laser αποφεύγεται για χαμηλού κόστους εξαρτήματα και για χαμηλή παραγωγή. Αυτό συμβαίνει διότι η συγκόλληση με laser έχει υψηλό κόστος λειτουργίας και εξοπλισμού. Σε αυτές τις περιπτώσεις οι καταστροφικοί έλεγχοι για την ποιότητα της συγκόλλησης μπορούν να αποδεικτούν εξαιρετικά ζημιοωτικοί από πλευράς χρόνου και υλικού, αλλά κυρίως από οικονομικής πλευράς.

Η εναλλακτική λύση είναι η προσπάθεια εξασφάλισης της καλής ποιότητας συγκόλλησης με τον έλεγχο και την διατήρηση των συνθηκών συγκόλλησης σε ικανοποιητικά επίπεδα, πετυχαίνοντας έτσι πολλαπλές συγκολλήσεις με αποδεκτή ποιότητα και όπου είναι δυνατόν, τον έλεγχο της ποιότητας με μη καταστρεπτικές μεθόδους (M.K.M).

Επιπροσθέτως, υπάρχουν σοβαρές νομικές συνέπειες που αφορούν την ασφάλεια και την προστασία του κοινού. Είναι απαραίτητο το ενδιαφέρον του κατασκευαστή, για την εξασφάλιση της ποιότητας της παραγωγής και το απαιτούμενο επίπεδο ασφαλείας.

Αυτή η παράγραφος, ασχολείται με τις πρακτικές διαδικασίες ελέγχου και παρακολούθησης της ποιότητας της συγκόλλησης. Οι κύριοι παράμετροι που συνεισφέρουν στην καλή ποιότητα των συγκολλήσεων είναι οι παρακάτω:

- Υλικά.
- Συνθήκες συγκόλλησης.
- Περιοδικός έλεγχος συγκόλλησης.
- Έλεγχος εξοπλισμού.
- Έλεγχος διαδικασίας συγκόλλησης.

Οι τρεις πρώτοι παράμετροι είναι ιδιαίτερα σημαντικοί για την απαιτούμενη παραγωγή και πρέπει να συμπεριλαμβάνονται σε όλους τους ελέγχους. Οι δυο τελευταίοι παράμετροι είναι επιθυμητοί για την ασφάλεια της ποιότητας της συγκόλλησης. Ωστόσο, ορισμένοι παράμετροι βρίσκονται στο αρχικό στάδιο ανάπτυξης, ή ακόμα και σε πειραματικό στάδιο και απαιτούν επαγγελματική εξειδίκευση.

4.5.1 Υλικά

Από τη στιγμή που έχουν επιλεγεί τα υλικά που πρόκειται να συγκολληθούν και η συγκολλησιμότητά τους έχει εξασφαλισθεί και αποδεκτεί σε σχέση με τις απαιτήσεις της παραγωγής, πρέπει να προσεχτούν ιδιαίτερα οι προδιαγραφές και οι χημικές αναλύσεις του κατασκευαστή των υλικών. Εν συνεχεία, όλες οι σειρές των μεταγενέστερων υλικών πρέπει να ταιριάζουν με τις οδηγίες και να ζητηθεί από τον προμηθευτή πιστοποιητικό επιβεβαίωσης. Αυτό μπορεί να ακούγεται αυστηρό, αλλά μικρές αλλαγές στη σύσταση των κραμάτων των υλικών μπορούν να προκαλέσουν σοβαρά σφάλματα στη συγκόλληση, π.χ. υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα, θείο, φώσφορο κ.α. προκαλούν ρωγμές στερεοποίησης. Επίσης, μη αποδεκτές επικαλύψεις ψευδαργύρου στον χάλυβα προκαλούν αποβολή του συγκολλητού μετάλλου, φυσαλίδες και πορώδης κατάσταση (παράγραφος 4.3).

Η επιφάνεια του υλικού δεν πρέπει να περιέχει σκουριά και άλλες ακαθαρσίες, κυρίως λάδι και λιπαντικά. Όταν υπάρχει σκουριά, πρέπει να απομακρύνεται με άλεσμα ή τρόχισμα, ενώ τα λάδια και τα λιπαντικά με χημικά καθαριστικά, όπως ακετόνες κ.α. πρέπει να σημειωθεί, ότι οι καθαριστικοί παράγοντες που παράγουν ατμούς, πρέπει να απομακρύνονται από τη δίοδο μετάδοσης της ακτίνας για την αποφυγή της στρέβλωσης της.

Οι επιφάνειες που θα ενωθούν πρέπει να βρίσκονται σε πολύ κοντινή απόσταση (εκτός αν χρησιμοποιείται παρέμβυσμα) και να μην έχουν ακαθαρσίες. Καθώς η συγκόλληση με laser δεν χρησιμοποιεί προσμίγματα, ο καθαρισμός πρέπει να γίνεται πριν την συγκόλληση, ειδικά αν τα υλικά που θα συγκολληθούν είναι επιρρεπή στην γρήγορη οξειδωση (όπως το τιτάνιο).

4.5.2 Συνθήκες συγκόλλησης

Για την παραγωγή πάσης φύσεως συγκολλήσεων είναι ουσιώδης και βασική προϋπόθεση η δημιουργία αποδεκτών συνθηκών συγκόλλησης. Ο εξοπλισμός συγκόλλησης και οι συνθήκες πρέπει να καταγράφονται σε δελτία πληροφοριών σε συνάρτηση με τις απαιτούμενες εφαρμογές και την κάθε λειτουργία που γίνεται κατά την διαδικασία συγκόλλησης. Τα δελτία πληροφοριών πρέπει να περιέχουν τον τύπο του laser, τον εξοπλισμό χειρισμού, τον τύπο οπτικής εστίασης, το οπτικό μήκος εστίασης, το μηχάνημα και τον τύπο του προστατευτικού αερίου και κάθε άλλη πληροφορία για τον βοηθητικό εξοπλισμό (όπως την καταστολή του πλάσματος, τα παρεμβύσματα κ.α.). Το δελτίο πρέπει επίσης να ξεκαθαρίζει την ισχύ του laser, την ταχύτητα συγκόλλησης και τον τύπο του προστατευτικού αερίου. Τέλος, πρέπει να γνωστοποιεί στον χειριστή ότι οι συνθήκες συγκόλλησης δεν πρέπει να μεταβληθούν χωρίς την σύμφωνη γνώμη του επίσημου εξουσιοδοτημένου υπεύθυνου. Ακόμα και τότε, οι αλλαγές στις συνθήκες συγκόλλησης πρέπει να προέρχονται σε σχέση με τις απαιτήσεις της συγκόλλησης και να καταγραφούν απαραίτητως στο δελτίο πληροφοριών.

Σε σχέση με τις συνθήκες συγκόλλησης, πρέπει να προσεχτεί η τοποθέτηση της θέσης εστίασης. Όλος ο εξοπλισμός που δεν είναι δυνατόν να ελέγχεται συνέχεια, πρέπει να επαληθεύεται η λειτουργία του κατά τακτικά χρονικά διαστήματα και κυρίως πριν την μαζική παραγωγή.

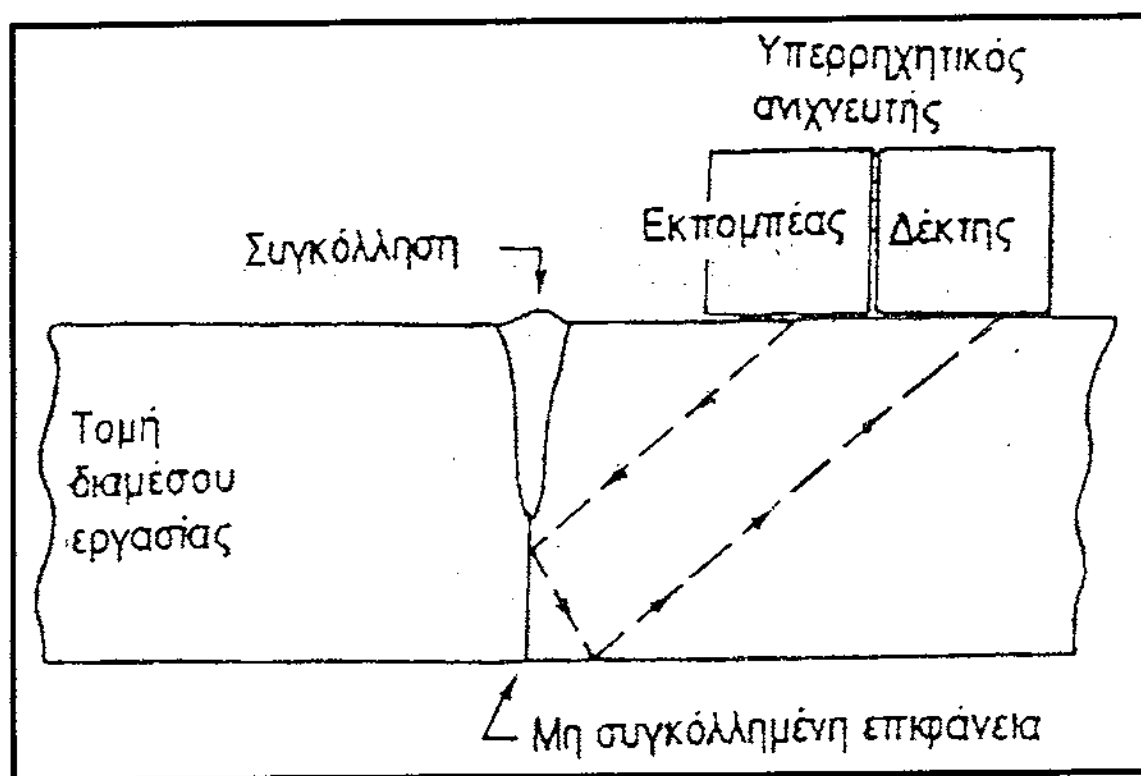
Ταχύτητα συγκόλλησης

Η ταχύτητα συγκόλλησης είναι ίσως η πιο εύκολη παράμετρος για να καθοριστεί και να ελεγχθεί και σε ορισμένες περιπτώσεις καθορίζεται με την βοήθεια βαθμονομημένων σημείων ή με ένα ρολόι χειρός. Η πιο ακριβής μέθοδος είναι η μέτρηση με ένα απλό ηλεκτρονικό ανιχνευτή ταχύτητας (σχήμα 4.1) και να αναγνώστη η ψηφιακή μέτρηση. Οι μετρήσεις αυτές μπορούν να καταγραφούν κατά τη διάρκεια της λειτουργίας της συγκόλλησης.

4.5.3 Περιοδικός έλεγχος συγκόλλησης

Σε αυτή την παράγραφο εξετάζουμε τις απαραίτητες θεμελιώδεις απαιτήσεις που θα παρέχουν ποιότητα στα σημεία συγκόλλησης. Με την προϋπόθεση ότι όλες οι απαιτήσεις είναι σωστές και δεν μεταβάλλονται κατά την διάρκεια της συγκόλλησης, η μορφή της τελικής συγκόλλησης μπορεί να θεωρηθεί σωστή. Ωστόσο, δεν μπορεί κανείς να είναι 100% σίγουρος ότι οι συνθήκες δεν θα μεταβληθούν κατά τη λειτουργία της συγκόλλησης. Για παράδειγμα, κατά τη διάρκεια μιας μεγάλης συγκόλλησης κύκλου, μια ελαφριά ακαθαρσία στην οπτική εστίαση ή ένα φτωχό σύστημα ψύξεως με νερό, μπορεί να παραμορφώσει θερμικά και να μειώσει την εστιασμένη ισχύ πυκνότητας και να προκαλέσει ανεπίτρεπτη απώλεια της διείσδυσης της κόλλησης. Έτσι θεωρείται απαραίτητος ο περαιτέρω έλεγχος της μορφής της συγκόλλησης.

Θεωρώντας ότι η λειτουργία της συγκόλλησης είναι η δεδομένη, ορισμένες φορές δεν είναι αρκετή η οπτική εξέταση μιας αποδεκτής συγκόλλησης. Για παράδειγμα, μια συγκόλληση όπου έχει διεισδύσει καλά και στα δυο ελάσματα και παρουσιάζει καθαρή και λεία κορυφή και σωστή μορφή συγκόλλησης, μπορεί να γίνει με ασφάλεια αποδεκτή. Σε μια συγκόλληση όμως, όπου λείπουν αυτά τα χαρακτηριστικά και παρουσιάζει ορατές φουσαλίδες στη κόλληση, είναι μη αποδεκτή και δείχνει καθαρά ότι κάτι δεν πήγε καλά κατά τη διάρκεια της. Σε περιπτώσεις που η διαμόρφωση της ένωσης ή η δόμησή της δεν επιτρέπει την επαρκή οπτική εξέταση, είναι ορισμένες φορές απαραίτητη η χρήση της τεχνικής των υπερηχητικών ακτίνων, για τον έλεγχο της θέσης της συγκόλλησης και του βάθους της (η τεχνική αυτή όμως είναι πολύ ακριβή και απαιτεί πολύ χρόνο και συνεπώς δεν είναι πάντα κατάλληλη σε ένα κέντρο μαζικής παραγωγής). Αυτή η τεχνική είναι ικανοποιητική, και η μέθοδος για να βρεθεί η κόλληση που δεν έχει διεισδύσει σωστά ή που δεν έχει ακολουθήσει τη σωστή γραμμή ενώσεως φαίνεται στο σχήμα 4.11. Δυστυχώς πολλά εξαρτήματα που έχουν συγκολληθεί με laser δεν προσφέρονται για υπερηχητικούς ελέγχους λόγω του ότι δεν επιτρέπουν την πρόσβαση και χαλαρώνουν τη ζεύξη των υπερηχητικών ακτίνων.



Σχήμα 4.11 Η αρχή της παλμικής ισχύος ηχούς, μη καταστροφική, του μόνιτορ συγκόλλησης. Η συχνότητα, συνήθως 1MHz ως 5MHz, ταξιδεύει στο υλικό και ανακλάται αν συναντήσει μια επιφάνεια. Όπως φαίνεται ο ανιχνευτής μπορεί να μεταδώσει και να δεχτεί το ανακλαστικό κύμα, από έναν συγκεκριμένο στόχο.

Πολλές φορές είναι πιθανό να πρέπει να ελεγχθεί η αποδοχή της συγκόλλησης με διάφορα τεστ αποδείξεως, π.χ. εξασκώντας πίεση σε ένα συγκολλημένο κύλινδρο ή σε ένα οικιακό θερμαινόμενο σώμα, όπου το εξάρτημα υπόκειται σε δοκιμαστική πίεση, όπου απαιτείται για τη σωστή λειτουργία του. Έτσι αν η συγκόλληση δεν αποτύχει, πρέπει να θεωρηθεί ότι είναι ασφαλής για τις απαιτήσεις εργασίας.

Ωστόσο, υπάρχουν διάφορα τέτοια τεστ, όπως το τεστ ύπαρξης ρωγμών. Αυτό το τεστ είναι διαδεδομένο κυρίως στα θερμαινόμενα καπάκια των μικροκυκλωμάτων συσκευασίας. Πάντως, οι δοκιμασίες αποδείξεως πρέπει να επιλέγονται με προσοχή και να καλύπτουν όλες τις απαιτήσεις εφαρμογής.

Οι συγκολλήσεις σε ένα κομμάτι που δεν μπορούν να ελεγχθούν με τις μη καταστροφικές μεθόδους που αναφερθήκαμε, συνήθως ελέγχονται με μεθόδους που καταστρέφουν το εξάρτημα.

Ο τύπος και η εκλογή της δοκιμασίας εξαρτώνται από το ίδιο το εξάρτημα και τις εφαρμογές του. Συνήθως τα τεστ περιλαμβάνουν εφελκυσμό, διάτμηση και μακρο-τομές. Η πιο δύσκολη εκλογή είναι η συχνότητα των ελέγχων που είναι απαραίτητη.

Η απόφαση αυτή πρέπει να παρθεί σε σχέση με την συνολική αξιοπιστία της λειτουργίας της συγκόλλησης, π.χ. τη μορφή του εξοπλισμού, την αξία του εξαρτήματος και τον αριθμό της παραγωγής.

Η μορφή του εξοπλισμού εξαρτάται από το σχεδιασμό και τη συντήρησή του. Ωστόσο, η ικανοποιητική περίοδος λειτουργίας των εξαρτημάτων και η συντήρησή τους, είναι θέμα εμπειρίας. Για παράδειγμα, η συχνότητα καθαρισμού των οπτικών εξαρτημάτων εστίασης εξαρτάται από τη χρήση, και αν η καπνιά του εξατμισμένου μετάλλου και το «πιτσίλισμα» της συγκόλλησης πριν απομακρυνθούν, κατακρημνίσουν στη ζώνη συγκόλλησης.

Η αξία του εξαρτήματος είναι ίσως το μεγαλύτερο μειονέκτημα για να παρθούν δείγματα από καταστρεπτικές δοκιμασίες, αφού η λειτουργία της συγκόλλησης, είναι συχνά το τελευταίο στάδιο της παραγωγής. Η λειτουργία αυτή είναι πολύ ακριβή και το συνολικό κατασκευαστικό κόστος εξαιρετικά δαπανηρό. Σε αυτές τις περιπτώσεις την καλύτερη λύση αποτελεί η δοκιμασία ενός εξαρτήματος ομοίωμα, που αντιπροσωπεύει το υλικό και τη διαμόρφωση της συγκόλλησης.

Έχοντας μειώσει το πρόβλημα του κόστους των εξαρτημάτων, μένει η πιο δύσκολη υπόθεση, η συχνότητα των καταστρεπτικών δοκιμασιών. Δεν υπάρχει σαφής απάντηση σε αυτό και γενικά, το πρόγραμμα των καταστρεπτικών τεστ καθορίζεται από την εμπειρία και τα επίσημα έγγραφα. Αυτό βασίζεται στο βαθμιαίο παρατεινόμενο αριθμό παραγωγής, σε σχέση με τα προγράμματα συντηρήσεων του εξοπλισμού, πριν ξεκινήσει ο καταστρεπτικός έλεγχος του δείγματος.

4.5.4 Έλεγχος εξοπλισμού

Όταν βρεθεί, κατά την περιοδική δοκιμασία, μια ανεπαρκής μορφή συγκόλλησης και όλες οι απαιτήσεις του φύλλου πληροφοριών έχουν εκπληρωθεί, η αιτία κυρίως εστιάζεται στη λειτουργία του laser και στο σύστημα μετάδοσης της ακτίνας.

Η πρώτη πιθανότητα λάθους είναι στον μετρητή της ισχύος. Η λάθος ανάγνωση του μετρητή ισχύος προκαλεί φτωχή απόδοση της συγκόλλησης και επιδείνωση της ποιότητας της ακτίνας, είτε στη πηγή του laser ή κατά τη διάρκεια μετάδοσης στην οπτική εστίαση.

Επίσης είναι πιθανό, ειδικά στα CO₂ laser, ότι ένα οπτικό λάθος ή ένα λάθος στο laser μπορεί να προκαλέσει παραμόρφωση ή και διαφορά στη δομική μορφή της ακτίνας, επηρεάζοντας έτσι το μέγεθος του σημείου εστίασης και τελικά την ισχύ πυκνότητας της συγκόλλησης.

Τέλος οι πολυχρησιμοποιημένες λάμπες «φλας» στο Nd :YAG laser μπορούν να προκαλέσουν το ίδιο πρόβλημα.

Για να εξετασθεί η κατά μήκος μορφή των ακτινών laser και η δομική μορφή τους, έχουν αναπτυχθεί αρκετοί τύποι αναλυτών των ακτινών laser. Αυτά τα μηχανήματα χρησιμοποιούνται για να ελεγχθούν τα χαρακτηριστικά της ακτίνας κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης και παρέχουν μια ασφάλεια ποιότητας.

Επίσης, αν τα χαρακτηριστικά της ακτίνας δεν ανταποκρίνονται στις αποδεκτές απαιτήσεις, το σήμα θα σταματήσει τη λειτουργία της πριν κατασκευαστούν και άλλες συγκολλήσεις.

Αν ο αναλυτής της ακτίνας laser χρησιμοποιείται σε μια μηχανή παραγωγής συγκολλήσεων, συνίσταται να τοποθετηθεί σε δυο συγκεκριμένες θέσεις, εντός του συστήματος μετάδοσης της ακτίνας. Πρώτα, για την παρακολούθηση της ακτίνας κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης, συνίσταται ο αναλυτής να τοποθετηθεί πριν και κοντά στην οπτική εστίαση, για να ελέγχεται η ακτίνα στο τέλος της και στην μη εστιασμένη μετάδοση.

Υστερα, σαν δεύτερη θέση, αν συμβεί φθορά στην μορφή ακτίνας, ο αναλυτής μπορεί να τοποθετηθεί εύκολα στην έξοδο της ακτίνας από τη μηχανή laser.

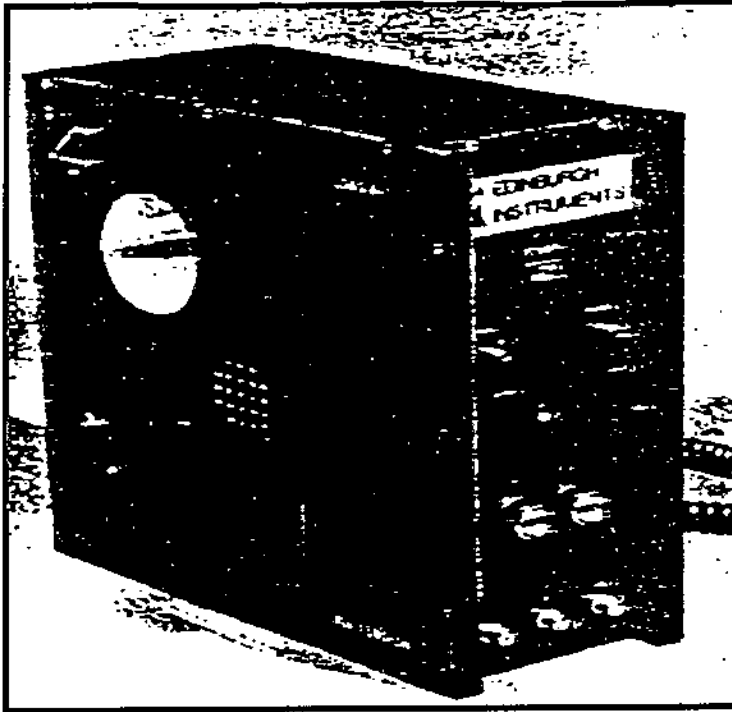
Έτσι, οι δυο αυτές θέσεις, μπορούν να καθορίσουν, σε περίπτωση φθοράς της ακτίνας, αν η ακτίνα φθαρεί κατά τη διάρκεια της μετάδοσης, μεταξύ του laser και της οπτικής εστίασης ή μέσα στην πηγή του laser.

Έτσι κάποιος μπορεί εύκολα να διαπιστώσει ότι η διάμετρος και η μορφή θα είναι διαφορετικές στις δυο υποδεικνυόμενες θέσεις και να έχει μια σαφή εικόνα από φωτογραφίες, που έχουν παρθεί όταν το σύστημα έχει εγκατασταθεί.

Έτσι καταγράφεται η προσδοκόμενη διάμετρος και μορφή σε κάθε θέση, κάτω από φυσιολογικές συνθήκες.

Οι αναλυτές των ακτινών laser συνήθως είναι ένα ορθογώνιο κουτί (σχήμα 4.12), με μια διαμπερήσ οπή στην μια πλευρά, από όπου διαπερνά η ακτίνα. Μέσα στην οπή υπάρχει μια ακίδα, που διαπερνάει με μεγάλη ταχύτητα την ακτίνα.

Η μεταβολή της έντασης του φωτός, που σαρώνει κατά μήκος την ακτίνα μεταφέρεται σε ένα σύστημα αισθητήρων και μετατρέπεται σε ηλεκτρονικό σήμα, που επιτρέπει το σχηματισμό μιας εικόνας που αντιπροσωπεύει την ισχύ πυκνότητας της ακτίνας, όπως και τη μορφή της.



Σχήμα 4.12 Αναλυτής μιας ακτίνας laser. Το εύχρηστο και μικρό κουτί δίνει τη δυνατότητα της εύκολης χρήσης από τον χειριστή

Ορισμένοι αναλυτές παρέχουν εικόνες μόνο δυο διαστάσεων από τη μορφή της ακτίνας και σ' αυτές τις περιπτώσεις ο αναλυτής παίρνει δυο όψεις της ακτίνας ανά 90°. Οι δυο εικόνες αυτές εφαρμόζονται σε μια οθόνη ταλαντωτή. Πιο πρόσφατοι αναλυτές, έχουν την ικανότητα να παρέχουν φωτογραφίες των ακτινών σε 3 διαστάσεις, με την βοήθεια γραφικών από ηλεκτρονικούς υπολογιστές. Αυτός ο εξοπλισμός όμως κοστίζει ακριβά, και απαιτεί χειρισμούς από τελείως εξειδικευμένους εργαζόμενους. Τέλος ορισμένοι αναλυτές μπορούν να ελέγχουν και το μέγεθος του σημείου εστίασης. Όμως αυτό είναι θεωρητικό, αφού το σημείο εστίασης καθορίζεται κατά τη διάρκεια της συγκόλλησης και μπορεί να είναι σημαντική η διαφορά λόγω ύπαρξης των ατμών συγκόλλησης και πλάσματος.

4.5.5 Έλεγχος διαδικασίας συγκόλλησης

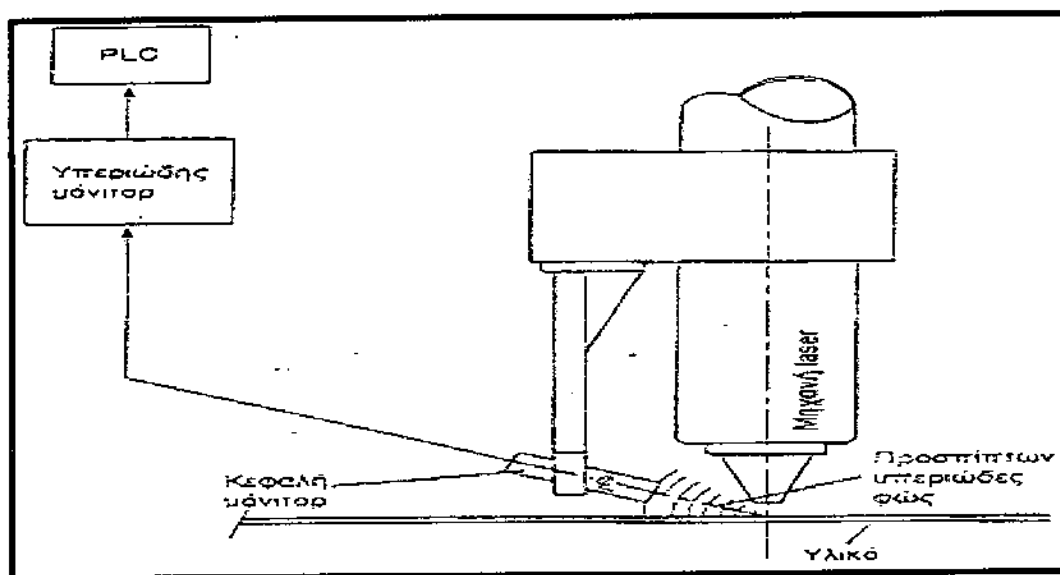
Μέχρι τώρα έχουμε περιγράψει τον έλεγχο της ποιότητας της συγκόλλησης, των συνθηκών συγκόλλησης και των χαρακτηριστικών των ακτινών. Παρ' όλους τους παραπάνω ελέγχους, η ασφάλεια της ποιότητας και πάλι δεν μπορεί να εγγυηθεί για διάφορους λόγους. Για παράδειγμα, ένα σφάλμα που συμβαίνει στην οπτική εστίαση π.χ. θερμική παραμόρφωση ή ρωγμή στους φακούς, θα παραμορφώσει το σημείο εστίασης και θα μεταβληθεί η εστιασμένη ισχύ πυκνότητας του laser. Έτσι, ατέλειες στα υλικά ή απρόβλεπτες ακαθαρσίες (όπως υγρασία που εισχωρεί στη ζώνη συγκόλλησης ή ακαθαρσίες συγκόλλησης), επηρεάζουν την απορροφητικότητα της ενέργειας της ακτίνας στην εργασία και κατά συνέπεια παράγουν μη αποδεκτή μορφή συγκόλλησης.

Για να επιτυχανθεί 100% ασφάλεια ποιότητας, απαιτείται ένας αισθητήρας που θα επιβεβαιώνει την αποδεκτή μορφή συγκόλλησης, περικλείοντας την απαιτούμενη περιοχή ενώσεως. Για τις συγκολλήσεις με laser συναντιούνται 2 προσεγγίσεις με αρκετή επιτυχία. Η πρώτη με υπερηχητικό έλεγχο, όπως περιγράφηκε πιο πάνω, και η δεύτερη με υπεριώδη έλεγχο (UV). Οι θερμικές μέθοδοι έχουν χρησιμοποιηθεί επιτυχώς για λεπτές κολλήσεις, αλλά δεν είναι κατάλληλες για συγκολλήσεις με laser.

Ο υπεριώδης έλεγχος υποδεικνύει το βάθος συγκόλλησης σε σχέση με την κάλυψη της γραμμής ενώσεως. Λειτουργεί τυπικά 30mm πίσω από την οπή, για να προστατέψει τους υπεριώδεις ανιχνευτές από θερμική καταστροφή και από το «πιτσίλισμα» της συγκόλλησης. Έτσι, αν αναπτυχθούν λεπτοί υπεριώδεις ανιχνευτές για την πρόσβαση στις ενώσεις και αν επιτυχανθεί η απαιτούμενη επιφανειακή εφαρμογή, επιτυγχάνεται η ασφάλεια της συγκόλλησης, ειδικά στις εργασίες με μερική διείσδυση και στις τυφλές συγκολλήσεις.

Ο έλεγχος με υπεριώδεις ακτίνες, σχήμα 4.13, υποδεικνύει επίσης την μεταφορά της ενέργειας της ακτίνας στην εργασία, βλέποντας τη μέση υπεριώδη ακτινοβολία στο σύννεφο του πλάσματος μπροστά στην οπή

συγκόλλησης. Όμως δεν υπολογίζει το βάθος συγκόλλησης και δεν δείχνει αν η συγκόλληση περιβάλλει τη γραμμή ενώσεως. Πάντως, αν εγκατασταθεί σωστά, μπορεί να ανιχνεύσει τις αλλαγές στο σύστημα εστίασης, στο προστατευτικό αέριο, στην ισχύ και στην ταχύτητα συγκόλλησης. Κατά συνέπεια, εκτός από τις φανερές μετατροπές στις παραμέτρους (όπως στην ισχύ και στην ταχύτητα που ελέγχονται από αλλού), ανιχνεύει τις ακαθαρσίες ή τις ρωγμές στην οπτική εστίαση ή τις μετατροπές στις συνθήκες της επιφάνειας του εξαρτήματος.



Σχήμα 4.13 Γενική μορφή μιας υπεριώδους συγκολλητικής κεφαλής σε σχέση με την μηχανή laser και το υλικό

Για την επιτυχή χρήση του UV, πρέπει πρώτα να εκτιμηθούν οι συνθήκες συγκόλλησης και η αντοχή τους και μετά να μετρηθεί η απόδοση του UV, από την παραγωγή του πλάσματος. Από αυτές τις μετρήσεις βεβαιώνεται και η αποδεκτή χρήση του UV. Το πλάσμα και κατά συνέπεια, το σήμα του UV δεν είναι σταθερό. Στην πραγματικότητα υπάρχει ένα ισχυρό σήμα ρύθμισης λόγω της μορφής και της κατάρρευσης του πλάσματος, με συνεχή διαδοχή. Το UV σήμα ελέγχεται ανά τακτά χρονικά διαστήματα και βασίζεται σε ένα μέσο σήμα. Το σήμα αυτό είναι ψηφιακό, για να είναι ικανή η σύγκριση με τις προηγούμενες αξίες σήμανσης. Τέλος, εγκαθιστώντας το σύστημα UV ελέγχου απαιτεί προσεκτικούς πειραματισμούς για την ασφάλεια των αποδεκτών ορίων λειτουργίας και την μελλοντική περιοδική δοκιμασία.

4.6 ΑΙΤΙΑ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΣΦΑΛΜΑΤΩΝ ΚΑΙ ΤΑ ΣΥΜΠΤΩΜΑΤΑ ΤΟΥΣ

Όπως περιγράφηκε και σε προηγούμενη παράγραφο, η απόδοση της συγκόλλησης εξαρτάται από το υλικό που συγκολλείται. Κάποια υλικά συγκολλούνται πιο εύκολα από κάποια άλλα. Επίσης οι επικαλύψεις και η ποικιλία στα πάχη, προκαλούν σημαντικές αλλαγές, που σε ορισμένες περιπτώσεις ανακόπτουν τη διαδικασία συγκόλλησης. Ο παρακάτω πίνακας σφαλμάτων (4.I.V) αγνοεί αυτά τα περιστατικά, και υποθέτει ότι οι συνθήκες συγκόλλησης και οι παράμετροί της έχουν κατάλληλα διαμορφωθεί για ένα φυσιολογικό και εύκολα υλικό και τελικά κάτι δεν πήγε καλά.

ΠΙΝΑΚΑΣ 4.IV

ΣΥΜΠΤΩΜΑ	ΠΙΘΑΝΗ ΑΙΤΙΑ
<p>Υπερβολικό «πιτσιλισμα» της συγκόλλησης</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Η ισχύς του laser είναι πολύ δυνατή • Υπερβολική μείωση της ταχύτητας συγκόλλησης • Οι επιφάνειες κόλλησης έχουν μολυνθεί από λάδι, βαφές, οξείδια κ.α. Έλεγχος καθαριότητας • Η αναλογία του προστατευτικού αερίου είναι πολύ μεγάλη, διασκορπώντας το ρευστό μέταλλο • Το προστατευτικό ακροφύσιο του αερίου έχει βουλώσει, αυξάνοντας τη ταχύτητα αερίων. Έλεγχος και καθαρισμός. • Υπερβολική ανάπτυξη σκουριάς κάτω από την γραμμή ένωσης της συγκόλλησης. Το μέταλλο λιώνει και εκτοξεύεται από την οπή συγκόλλησης. Έλεγχος και καθαρισμός.
<p>Φυσαλίδες στην επιφάνεια και πορώδης κατάσταση</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ανεπαρκές προστατευτικό αέριο. Έλεγχος. • Περιεκτικότητα οξυγόνου πολύ υψηλή. Έλεγχος αν τα συστατικά του υλικού έχουν μεταβληθεί. Μπορεί να κριθεί απαραίτητη η χημική ανάλυση • Οι συγκολλημένες επιφάνειες μπορεί να έχουν μολυνθεί πριν την συγκόλληση. Έλεγχος και καθαρισμός. • Το υλικό μπορεί να περιέχει συστατικά επιρρεπή στην εξαέρωση π.χ. ψευδάργυρο. Αυτά τα υλικά δεν είναι κατάλληλα για συγκόλληση με laser. • Υπερβολική επικάλυψη με ψευδάργυρο στο χάλυβα • Ανάπτυξη κάπνας και πιτσιλίσματος στη ζώνη συγκόλλησης. Έλεγχος, καθαρισμός • Ανάπτυξη σκουριάς στη δίοδο κάτω από την γραμμή ένωσης του συγκολλημένου μετάλλου, τήξη και κατάλοιπα στην οπή συγκόλλησης. Έλεγχος και καθαρισμός δίοδου.
<p>Ρωγμές συγκόλλησης</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Έχουν αλλοιωθεί τα συστατικά του μετάλλου. Ειδικότερα έλεγχος για αύξηση του άνθρακα, θείου και φωσφόρου. • Αλλαγή και αντίστοιχος έλεγχος στο σχεδιασμό της ένωσης και των διαστάσεων, στο σφίξιμο του κομματιού. Αύξηση των τάσεων συστολής κατά τη στερεοποίηση.
<p>Κατάρρευση της συγκόλλησης</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Αύξηση ισχύος ή μείωση της συγκολλητικής ταχύτητας. Έλεγχος συστήματος • Ανάπτυξη διάκενων στις επιφάνειες συγκόλλησης. Πιθανή «λοξοδρόμηση» της ακτίνας laser. Έλεγχος προεργασίας και θέση για συγκόλληση. • Υπερβολική ροή αερίων ή ταχύτητα αυτών. Έλεγχος για μπουκώμα ακροφυσίων των αερίων.

ΣΥΜΠΤΩΜΑ	ΠΙΘΑΝΗ ΑΙΤΙΑ
<p>Ξαφνική απώλεια διείσδυσης της συγκόλλησης.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Απώλεια ισχύος. Έλεγχος και μέτρηση ισχύος. • Απροσδόκητη αύξηση της ταχύτητας της συγκόλλησης. • Η οπτική εστίαση δεν λειτουργεί σωστά (αν το οπτικό όργανο είναι φακός, έλεγχος αν έχει ρωγμές. Αν είναι αντανακλαστικό όργανο, έλεγχος αν η ακτίνα βρίσκεται στον οπτικό άξονα). • Το κομμάτι είναι έξω από την εστίαση. Έλεγχος του τραπεζιού εργασίας ή αν έχει μετακινηθεί η οπτική εστίαση.
<p>Βαθμιαία απώλεια διείσδυσης της συγκόλλησης μετά από περίοδο λίγων ημερών.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Η οπτική εστίαση και οι καθρέπτες της ακτίνας μετάδοσης έχουν ακαθαρσίες. Καθαρισμός. • Η ακτίνα laser και το σύστημα εστίασης της, έχουν μετατοπιστεί. Έλεγχος ευθυγράμμισης. • Στο Nd : YAG laser η λάμπα «φλας» ή η λάμπα ανακλαστήρας, έχουν ακαθαρσίες . έλεγχος, καθαρισμός, αντικατάσταση.
<p>Κατά την διάρκεια της συγκόλλησης, η συγκολλητική διείσδυση μειώνεται βαθμιαίως και η φωτεινότητα του σύννεφου του πλάσματος αυξάνει γύρω από την οπή.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Η θέση εστίασης μετακινείται λόγω της θερμικής κίνησης του κομματιού. Έλεγχος σφριγκτήρων κομματιού. • Αναποτελεσματική χρήση του προστατευτικού αερίου. Έλεγχος εξοπλισμού. • Η θέση εστίασης μετακινείται κατά μήκος του θερμικού φακού και του ειρμού μετάδοσης της ακτίνας. Έλεγχος οπτικών οργάνων για καθαρότητα και έλεγχο αναποτελεσματικής ψύξεως.
<p>Κάθε φορά που η λειτουργία της συγκόλλησης επαναλαμβάνεται, μειώνεται η διείσδυση της κόλλησης σε μία στενή σταγόνα της επιφάνειας τήξεως και το σύννεφο πλάσματος πάνω από την οπή χάνει τη φωτεινότητα του και γίνεται κίτρινο</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Ξαφνική απώλεια ισχύος πυκνότητας. Έλεγχος θερμικής ανάπτυξης στο σύστημα μετάδοσης της ακτίνας, διασκορπίζοντας την ακτίνα laser. Μπορεί να φανεί χρήσιμο ένα καθαριστικό αέριο από στεγνό άζωτο στο σύστημα μετάδοσης της ακτίνας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

ΑΣΦΑΛΕΙΑ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ LASER

5.1 Γενικά

Τα συστήματα της συγκόλλησης με laser είναι πολύ ασφαλή, με την προϋπόθεση ότι λειτουργούν και συντηρούνται σύμφωνα με τα ασφαλή standard, τις νομικές απαιτήσεις και τις οδηγίες του κατασκευαστή. Για να εξασφαλιστούν αυτές οι απαιτήσεις, πρέπει να υπάρχει κάποιος ειδικός που έχει γνώση και εκπαίδευση πάνω στο θέμα.

Οι νομικές και οι ασφαλής απαιτήσεις για ασφαλή εργασία με τα laser διαφέρουν από χώρα σε χώρα. Στην Ευρώπη, τα κράτη μέλη του EEC και του EFTA έχουν συμφωνήσει στα ασφαλή μέτρα, προτεινόμενα από την Ευρωπαϊκή Κοινότητα για την Ηλεκτροτεχνική Προτυποποίηση (CELENEC).

Σε αυτό το κεφάλαιο υπάρχουν στοιχεία, πληροφορίες, προφυλάξεις και προτεινόμενες ενέργειες για την ασφαλή χρήση του εξοπλισμού του laser. Οι πληροφορίες που παρουσιάζονται σκοπεύουν να υποδείξουν τα πιο ασφαλή μέτρα που σχετίζονται με τις συγκολλήσεις laser και έναν οδηγό για την ασφαλή χρήση τους.

Οι κίνδυνοι που παρουσιάζονται στο χειρισμό της συγκόλλησης με laser παρουσιάζονται σε τρεις γενικούς τομείς :

1. ακτίνα laser
2. ηλεκτρικά και
3. χημικά με καπνούς.

5.2 Κίνδυνοι

5.2.1 Κίνδυνοι από ακτίνες laser

Μια μη εστιασμένη ακτίνα laser, διαφεύγοντας από τη δίοδο μετάδοσης, είναι ικανή να μεταδοθεί σε απόσταση μεγαλύτερη των 100 μέτρων στον αέρα, πριν η φυσική του απόκλιση του προκαλέσει εξάπλωση σε μια διογκωμένη διάμετρο, όπου η ισχύ πυκνότητας είναι πολύ χαμηλή για να προκαλέσει βλάβη. Για τη συγκόλληση, η ακτίνα laser εστιάζεται σε ένα σημείο όπου η ισχύς πυκνότητας είναι πολύ μεγάλη, και η προσπίπτουσα ακτίνα προκαλεί καψίματα. Μπροστά από το εστιασμένο σημείο η ακτίνα προσπίπτει πιο γρήγορα από το μη εστιασμένο σημείο, και γενικά πλησιάζει μια ασφαλή διάμετρο μετά τα λίγα μέτρα. Η ακριβής απόσταση f εξαρτάται από τον αριθμό της εστίασης. Όσο μικρότερο είναι αυτό το νούμερο, τόσο μεγαλύτερο είναι το μήκος της προσπίπτουσας ακτίνας. Μπορεί να προκύψει κίνδυνος όμως, λόγω του περάσματος ή της αντανάκλασης της εστιασμένης ακτίνας, στο κομμάτι. Αυτοί οι κίνδυνοι συμβαίνουν συνήθως όταν η ακτίνα laser συναντά μια γυαλιστερή επιφάνεια μετάλλου σε μια γωνία 20° και μεγαλύτερη από τη φυσική θέση.

Οι ανεξέλεγκτες ακτίνες laser ή το διαφεύγον ανακλώμενο φως laser από τη ζώνη συγκόλλησης, μπορεί να προκαλέσει σοβαρή βλάβη στα μάτια και καψίματα στο δέρμα για όποιον «συναντήσει» τη δίοδο του laser φωτός. Πρέπει να τονιστεί ότι το laser φως που προέρχεται από τα CO₂ και Nd:YAG laser είναι αόρατο στο μάτι και ακόμα αν μπορεί να το δει κάποιος (διότι ταξιδεύει με 186.000 μίλια το δευτερόλεπτο) μπορεί ακαριαία να τον «χτυπήσει» αν περνά από τη δίοδό του.

Το μήκος κύματος του φωτός από ένα Nd:YAG laser (1,06 μm) είναι ιδιαίτερα επικίνδυνο για τα μάτια, διότι ο φακός του ματιού μπορεί να εστιάσει αυτό το μήκος κύματος σε ένα πολύ μικρό σημείο του αμφιβληστροειδούς και να προκαλέσει τύφλωση. Προφανώς, ο αμφιβληστροειδής δεν προκαλεί πόνο και αυτή η μορφή τύφλωσης δεν αντιλαμβάνεται αμέσως.

Το μήκος κύματος από ένα CO₂ laser (10,6 μm) δεν μεταδίδεται από τον φακό του ματιού, και η ζημιά που συμβαίνει σε αυτή την περίπτωση είναι στο μπροστινό σημείο του ματιού, με καψίματα του κερατοειδούς και κάποιας μορφής καταρράκτη. Σε αυτές τις περιπτώσεις συνιστώνται περιοδικά τεστ στα μάτια για γρήγορη ένδειξη, σε περίπτωση βλαβών.

Ωστόσο δεν πρέπει να υποτιμηθεί και ο κίνδυνος του καψίματος στο σώμα. Μια μη εστιασμένη υψηλής ισχύος ακτίνα με αρκετών χιλιοστών διάμετρο, μπορεί άνετα να ακρωτηριάσει ανθρώπινο μέλος (τέτοιου είδους ατυχήματα έχουν περισσότερες πιθανότητες να συμβούν όταν την ακτίνα laser χειρίζεται ένα σύστημα robot).

Εκτός όμως από την ανθρώπινη βλάβη, το laser φως μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιές και να λιώσει εύκολα σωλήνες και καλύμματα καλωδίων, προκαλώντας πολλές φορές ανεπιθύμητες επικίνδυνες καταστάσεις, επηρεάζοντας την ασφαλή λειτουργία άλλων εγκαταστάσεων. Επίσης ένα μη εστιασμένο laser πολλαπλής ισχύος, μπορεί εύκολα να κάψει πυρότουβλα και χαλύβδινα ελάσματα.

Τέλος, τα HeNe (ηλίου-νέου) laser που αναπτύσσονται μέσα σε διόδους ακτινών, δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερους κινδύνους, αν η ισχύ τους είναι κάτω του 0,5 Mw. Ωστόσο, κάποια συστήματα HeNe laser έχουν μεγαλύτερη ισχύ, της τάξεως του 0,8 MW. Η απ' ευθείας θέαση των ακτινών με ισχύ πάνω των 0,5 MW πρέπει να αποφευχθεί.

5.2.2 Ηλεκτρικοί κίνδυνοι

Όλος ο εξοπλισμός του laser προϋποθέτει υψηλή τάση. Επίσης, προϋποθέτει υψηλής ισχύος ενσωματωμένους συμπυκνωτές και διάφορα επικίνδυνα εξαρτήματα που διατηρούν την αποθηκευμένη ενέργεια, όταν το σύστημα είναι κλειστό. Ακόμα περισσότερο, ορισμένα CO₂ laser έχουν RF (radio frequency) διέγερση, που πρέπει να περιφράσσεται κατά τη λειτουργία, για να προστατεύεται ο άνθρωπος από την ακτινοβολία. Γενικότερα, όλα τα laser είναι εξαιρετικά επικίνδυνα από ηλεκτρικής άποψης.

Στην πραγματικότητα, στην Ευρώπη και στην Αμερική τα ατυχήματα που οφείλονται στα ηλεκτρικά, είναι περισσότερα από αυτά που αφορούν τα μάτια και το δέρμα. Πολλοί άνθρωποι έχουν πάθει ηλεκτροπληξία, όταν εργάζονταν με εξοπλισμό του laser. Επίσης πολλά ατυχήματα αφορούν ανθρώπους που δουλεύουν μόνο, σε υψηλών τάσεων κυκλώματα.

Όλα αυτά δείχνουν τη σημασία της εκπαίδευσης, της εργασίας σε ζευγάρια και την εργασία σε σωστές διαδικασίες. Τέλος το HSE Electricity at Work Act συμβουλεύει μόνο πλήρως εκπαιδευμένους ανθρώπους να χειρίζονται τον ηλεκτρικό εξοπλισμό του laser.

5.2.3 Κίνδυνοι από χημικά και αναθυμιάσεις

Τα αέρια που εξατμίζονται από τα CO₂ laser περιέχουν μονοξείδιο του άνθρακα. Πρέπει να ληφθεί ιδιαίτερη προσοχή, αν το laser λειτουργεί σε μια ανεπαρκώς αεριζόμενη περιοχή. Το ιδανικό θα ήταν, τα εξατμισμένα αέρια να περνάνε μέσω σωλήνα έξω από το κτίριο, σε σημείο καθαρό από κατοικημένες περιοχές.

Τα παράθυρα εξόδου του laser και η μετάδοση της οπτικής εστίασης (που είναι κατασκευασμένα από αρσενικό γάλλιο και από σεληνικό ψευδάργυρο), είναι τοξικά επικίνδυνα, αν πάθουν βλάβη. Ο κίνδυνος αυξάνεται αν αυτά τα υλικά υπερθερμανθούν, με αποτέλεσμα την αποσύνθεσή τους και την οξείδωσή τους. Αυτά προκαλούν τοξικά οξείδια του αρσενικού και του σεληνίου. Η μορφή τους είναι σαν επικάθηση κόνεως, που καθιζάνουν στο σημείο της θερμικής βλάβης, και πρέπει να προσεχτούν ιδιαίτερω.

Όταν τήκονται τα συγκολλημένα μέταλλα, ελευθερώνονται μολυντικά αέρια που έχουν την μορφή μεταλλικής σκόνης, μεταλλικές οξειδίες αναθυμιάσεις και χημικά αέρια. Όλα αυτά είναι πολύ επικίνδυνα για την υγεία, ειδικά αν το μέταλλο περιέχει επικίνδυνα συστατικά, όπως κάδμιο και βηρύλλιο. Έτσι, σχεδόν όλες οι αναθυμιάσεις είναι βλαβερές και πρέπει να μην εισπνοηθούν.

5.3 Πρακτικές προφυλάξεις

5.3.1 Προφυλάξεις από την ακτίνα laser

Όλη η εργασία που έχει σχέση με την μετάδοση της ακτίνας laser και τα συστήματα εστίασής της, όπως ο χειρισμός, η εγκατάσταση, η ρύθμιση και η συντήρηση, πρέπει να γίνουν από ειδικά εκπαιδευμένο προσωπικό.

Ολόκληρη η δίοδος μετάδοσης της ακτίνας, από το σημείο όπου η ακτίνα φεύγει από το laser, ως την έξοδό της από το μηχάνημα, πρέπει να είναι κλειστή. Όλα τα κανάλια εισόδου στη δίοδο μετάδοσης του laser, πρέπει να διαθέτουν ηλεκτρικά προσαρμοσμένα συνδετικά ελάσματα, που επανέρχονται αυτόματα στο ανοικτό κύκλωμα και επίσης, αυτόματα, κλείνουν τη μετάδοση της ακτίνας laser, όταν το κανάλι έχει μετατοπιστεί. Όταν ευθυγραμμιστεί ο καθρέπτης σε ένα CO₂ laser είναι απαραίτητο να προσπεραστούν αυτές οι προστατευτικές διατάξεις.

Το μηχάνημα laser είτε είναι στατικό, είτε μετακινούμενο, πρέπει να χειρίζεται μέσα από μια ασφαλή περίφραξη. Όλες οι εισοδοί πρέπει να διαθέτουν διακόπτες, οι οποίοι σταματούν την μετάδοση της ακτίνας laser, αν οι εισοδοί είναι ανοικτές. Σαν διπλό μέσο προστασίας, το ίδιο κλειδί που ξεκινάει το χειρισμό του laser μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για το άνοιγμα των εισόδων περίφραξης. Αυτό κάνει απαραίτητο το κλείσιμο της λειτουργίας του laser, για την είσοδο στην περίφραξη.

Οι σωλήνες της μετάδοσης της ακτίνας και τα απαραίτητα καλώδια, πρέπει να τοποθετηθούν έτσι ώστε να μην χτυπηθούν και καταστραφούν από γερανούς, οχήματα και άλλου, παρομοίου, είδους μηχανήματα.

Τα τοιχώματα περίφραξης της ασφάλειας πρέπει να είναι φτιαγμένα από υλικά που απορροφούν την ακτίνα και δεν πιάνουν φωτιά (ενδείκνυται χάλυβας ή τούβλα). Πρέπει επίσης να βρίσκονται σε απόσταση από την πηγή του laser φωτός, όπου η ισχύς πυκνότητας του laser είναι πολύ χαμηλή, για να προκαλέσει λιώσιμο και φωτιά. Στην περίπτωση των στάσιμων μηχανών ακτινών laser αυτές οι δυο απαιτήσεις δεν προκαλούν σοβαρό πρόβλημα, αφού η μηχανή του laser και των αερίων, ελαχιστοποιούν την περιοχή όπου κάθε

ανακλώμενο φως μπορεί να διαφύγει. Το φως αντανακλά σε μια ίση και αντίθετη γωνία, από τη γωνία πρόσπτωσης και επίσης, αν η μηχανή του laser έχει τοποθετηθεί φυσιολογικά στην επιφάνεια εργασίας, κάθε ανακλώμενο φως θα ανακλαθεί πάλι προς τη μηχανή και θα απορροφηθεί από αυτή. Ο μεγαλύτερος όμως κίνδυνος προέρχεται από τις μηχανές laser που χειρίζονται σε κάθε διεύθυνση. Αυτές μπορούν να μεταφερθούν μακριά από την εργασία, και να προκαλέσουν ατύχημα και στα τοιχώματα περίφραξης. Σε αυτή την περίπτωση η ακτίνα, δυστυχώς αποκλίνει. Σε μια απόσταση από την μηχανή του laser ίση με το μήκος εστίασης, η διάμετρος της ακτίνας γίνεται ίση με την διάμετρο της ακτίνας που προσπίπτει στην οπτική εστίαση και θα έχει ακόμα επικίνδυνη ισχύ πυκνότητας (τυπικά $10\text{W}/\text{mm}^2$). Παρ' όλα αυτά, αναλόγως με την αρχική ισχύ του laser ακόμα και σε αυτό το επίπεδο μπορεί να προκαλέσει καψίματα στο δέρμα και ζημιά στα μάτια (για την αποφυγή του καψίματος από δέρμα και των βλαβών στα μάτια, η ισχύς πυκνότητας από ένα CO_2 laser πρέπει να είναι κάτω του $0,1\text{W}/\text{mm}^2$). Το όλο νόημα είναι ότι, πρέπει να υπάρχει μια επαρκής απόσταση μεταξύ των τοιχών περίφραξης και της μηχανής του laser, ώστε η ισχύ πυκνότητας της ακτίνας όταν χτυπάει στον τοίχο να μην μπορεί να προκαλέσει σε καμία περίπτωση, αρκετή θερμότητα και σαν συνέπεια το λιώσιμο και το κάψιμο της περίφραξης.

Οι περιφράξεις στα παράθυρα των Nd:YAG laser είναι φτιαγμένα από ειδικό υλικό από τον κατασκευαστή του laser και είναι αρκετά ακριβά. Τα γυάλινα και τα ακρυλικά ελάσματα είναι διαπερατά από το $1,06$ μήκους κύματος Nd:YAG laser φωτός, και δεν πρέπει να χρησιμοποιείται, εκτός αν προστεθεί μια ειδική απορροφητική ταινία επικάλυψης. Λόγω του υψηλού κινδύνου βλάβης των ματιών από ένα τέτοιο laser ενδείκνυται ένα κλειστό κύκλωμα τηλεόρασης (εκτός από τα παράθυρα) για την παρακολούθηση της λειτουργίας της συγκόλλησης. Με την προσθήκη όλων των παραπάνω, η συγκόλληση μπορεί να γίνει με απόλυτη ασφάλεια.

Οι περιφράξεις στα παράθυρα των CO_2 laser είναι φτιαγμένα από ακρυλικό υλικό, όπως το περσπέξ (άθραυστος ύαλος). Αν μια πλανώμενη

ακτίνα με επαρκή ισχύ πυκνότητας χτυπήσει αυτό το υλικό, παράγει γρήγορα μαύρο καπνό. Σε αυτή την περίπτωση η κινητοποίηση του χειριστή και του άλλου προσωπικού πρέπει να είναι άμεση. Ένα καλό και επαρκές σύστημα ασφαλείας για το παραπάνω laser, είναι η περιφραξη με διπλό υαλωμένο τζάμι, που περιλαμβάνει 2 ακρυλικά ελάσματα πάχους 6mm, που χωρίζονται από ένα κενό, γεμισμένο με νερό. Αυτά τα τζάμια μπορούν να δεχτούν την ακτίνα για αρκετά λεπτά πριν συμβεί φωτιά στο πρώτο έλασμα. Για ακόμα περισσότερη ασφάλεια, μέσα στο νερό είναι ενσωματωμένος ένας ευαίσθητος αισθητήρας. Έτσι, τη στιγμή που το νερό διαφεύγει από το παράθυρο, αν συμβεί φωτιά στο πρώτο έλασμα, ο αισθητήρας δίνει σήμα στο laser να σταματήσει τη λειτουργία.

Στην εγκατάσταση ενός Nd:YAG laser, είναι απαραίτητη η προσέγγιση της μηχανής laser και η ρύθμιση ανάλογα, όταν χρησιμοποιείται μικρής ισχύς laser. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ακολουθώντας τις γενικές οδηγίες για την προστασία των ματιών, πρέπει το προσωπικό απαραίτητα να προμηθευτεί προστατευτικά γυαλιά.

Όταν τοποθετούνται τα κομμάτια για συγκόλληση με laser είναι ιδιαίτερα σημαντική η εκτίμηση της διεύθυνσης των ανακλάσεων του laser φωτός από το κομμάτι. Επίσης ιδιαίτερη προσοχή χρειάζεται και η κλίση της ζώνης συγκόλλησης σε σχέση με τη θέση των παραθύρων, ώστε τα παράθυρα να μην κείτονται στη δίοδο κάθε ανάκλασης από τη ζώνη συγκόλλησης. Αυτό το φαινόμενο απαιτεί ειδική προσοχή όταν η εργασία γίνεται με υλικά υψηλής ανακλαστικότητας, όπως το αλουμίνιο και ο χαλκός.

Η πρόσβαση στη μηχανή του laser πρέπει να επιτρέπεται σε άτομα που έχουν την αίσθηση του κινδύνου της ακτίνας. Επίσης σαν πρόσθετο μέτρο προστασίας μπορούν να τοποθετηθούν ειδικές πινακίδες που υποδεικνύουν την ύπαρξη ακτίνας και την αναγκαιότητα των γυαλιών προστασίας.

Πεπειραμένοι χειριστές της ακτίνας και προϊστάμενοι πρέπει να επιβλέπουν συνεχώς το νεότερο προσωπικό, την ασφάλεια λειτουργίας και την τακτική συντήρηση όλου του εξοπλισμού.

5.3.2 Ηλεκτρικές προφυλάξεις

(Οι παρακάτω πληροφορίες αναφέρονται μόνο στα laser)

Τα ηλεκτρικά συστήματα των laser δουλεύουν σε τρία επίπεδα τάσεων:

1. Χαμηλή τάση (τυπικά 24V)
2. Μέση τάση (115-450V)
3. Υψηλή τάση (της τάξεως του KV)

Στα δυο τελευταία επίπεδα πρέπει να δοθεί ιδιαίτερη προσοχή. Πάντως, η συντήρηση και η επισκευή όλων των παραπάνω, πρέπει να γίνεται από ειδικούς μηχανικούς στον ηλεκτρισμό σε συνεργασία με τις οδηγίες του κατασκευαστή του laser.

Πριν την επισκευή ή τη συντήρηση του εξοπλισμού, όλο το σύστημα πρέπει πάντα να απομονώνεται από την ηλεκτρική παροχή. Αν είναι δυνατόν, θα ήταν πολύ χρήσιμο το κλείδωμα με λουκέτο του απομονωτήρα στη θέση off ,αλλιώς θα πρέπει να μετακινηθούν οι γενικές ασφάλειες. Τέλος είναι απαραίτητη η βεβαίωση της θέσεως όλων των υψηλών τάσεων συμπυκνωτών και η σύνδεσή τους με τη γη, χρησιμοποιώντας τους κατάλληλους καθετήρες.

Τα καλώδια και οι τελικές συνδέσεις πρέπει να είναι σωστά τοποθετημένα. όταν γίνεται αντικατάσταση τμημάτων, για την αποφυγή της πιθανότητας σχηματισμού τόξου στις συνδέσεις.

Για την κατασκευή του εξοπλισμού και των εξαρτημάτων, μπορεί να κριθεί απαραίτητο η εργασία να γίνεται σε «ζωντανά» κυκλώματα και ακολουθώντας τις οδηγίες του κατασκευαστή. Σε αυτές τις περιπτώσεις, ο μηχανικός δεν πρέπει ποτέ να εργάζεται μόνος και η διαδικασία της εργασίας πρέπει να συζητηθεί και να συμφωνηθεί με τον Υπεύθυνο Ασφαλείας. Ωστόσο πρέπει να τοποθετηθούν ετικέτες προειδοποίησης σε περιοχές με ηλεκτρικούς κινδύνους και όπου κριθεί απαραίτητο, να τοποθετηθούν ειδικές μπάρες απαγόρευσης εισόδου γύρω από τις επικίνδυνες ζώνες.

5.3.3 Προφυλάξεις από χημικά και αναθυμιάσεις

Σε περίπτωση υποψίας θερμικής βλάβης των οπτικών υλικών αρσενικού γαλλίου και σεληνικού ψευδαργύρου (τα οποία όταν θερμανθούν παράγουν επικαθήμενη σκόνη τοξικών οξειδίων), πρέπει να περάσουν ορισμένα λεπτά για την πλήρη καθίζηση των οξειδίων, πριν γίνει κάποια διαδικασία (συντήρηση, επιθεώρηση κ.α.). Για αυτές τις διαδικασίες πρέπει να φορεθούν οπωσδήποτε μάσκα προσώπου και πολυεθυλενικά γάντια. Η καθιζόμενη σκόνη πρέπει να σκουπιστεί καλά με υγρά μαντήλια, για το μάζεμα των οξειδίων. Τα μαντήλια αυτά μετά πρέπει να εκπλυθούν σε νερό για να διασκορπιστεί η σύνθεση της σκόνης οξειδίου σε αυτό.

Σε κάθε διαδικασία που εκτελείται, αν βρεθούν οπτικά υλικά αρσενικού γαλλίου και σεληνικού ψευδαργύρου, που είναι μη ωφέλιμα και τελείως ακατάλληλα, πρέπει να λαμβάνονται σαν τοξικά απόβλητα και να απομακρύνονται αναλόγως.

Όλες οι αναθυμιάσεις των συγκολλήσεων είναι εξαιρετικά επικίνδυνες και πρέπει να χρησιμοποιηθούν συστήματα εξαγωγής και επίσης η ζώνη συγκόλλησης πρέπει να εξαερίζεται επαρκώς (πάντως η εξαέρωση δεν πρέπει να αποσυνθέτει το προστατευτικό αέριο μπροστά από την οπή συγκόλλησης). Υπάρχουν δυο είδη συστημάτων εξαγωγής αυτά που απομακρύνουν μόνο συγκεκριμένα απόβλητα και αυτά που απομακρύνουν όλα τα αέρια και κάποια συγκεκριμένα απόβλητα. Για τις διαδικασίες συγκόλλησης, ο τελευταίος τύπος που χρησιμοποιείται είναι μια επέκταση του πρώτου συστήματος όπου οδηγούνται τα αέρια εξαγωγής έξω από το κτίριο σε υψηλό επίπεδο και μακριά από παράθυρα, από εισαγωγή αέρα και κατοικημένες περιοχές. Η εκλογή του τύπου και του μεγέθους του συστήματος εξαγωγής εξαρτάται από τα υλικά που θα συγκολληθούν, το μέγεθος της παραγωγής και τη συγκέντρωση των παραγόμενων αναθυμιάσεων. Π.χ. οι οδηγίες υγιεινής της Μεγάλης Βρετανίας (Guidance Note EH40), αναφέρει ότι η συγκέντρωση των αναθυμιάσεων συγκόλλησης δεν πρέπει να ξεπερνά το ποσό των $5\text{mg}/\text{m}^3$. Αυτή η εκτίμηση δεν είναι απλή και απαιτεί ειδικό εξοπλισμό για την αντιμετώπισή του.

Κοπή και συγκόλληση μετάλλων με laser – Ασφάλεια στη χρήση laser

Συνεπώς, για την εξασφάλιση όλων των απαιτήσεων που χρειάζονται, πρέπει να ξεκαθαριστεί η κατάσταση της διαδικασίας και να ζητηθεί η συμβουλή του προμηθευτή του συστήματος εξαγωγής των αναθυμιάσεων.



ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

“laser Welding : A Practical Guide” Christopher Dawes

«Εξοικονόμηση ενέργειας. Εφαρμογές των laser στην βιομηχανία» Δρ. Α.

Α. Καράμπελα

“laser Cutting, Process Fundamentals and Troubleshooting Guideline”

David Havrilla Phillip Anthony

“laser Welding Design and Process Fundamentals and Trouble shooting Guideline” David Havrilla

“CO₂ laser Cutting”, Powell, Dr. J Springer-Verlag, 1993

“Understanding laser Technology”, Hiltz, C. B. , Penn Well Books

“laser Cutting Guide for Manufacturing” by Charles L. Caristan (Hardcover - October 2003)

“laser Cutting Machine Market for 2005” by Gardner Publications

“LIA Guide to laser Cutting” by John Powell

“Modern Welding” (9th ed.) by Andrew Daniel Althouse, Carl H. Turnquist, William A. Bowditch, Kevin E. Bowditch

“laser Welding” by W. W. Duley

www.geocities.com/laserinvention/laserGeneral2.htm#D

www.geocities.com/epi2001gr/ergo/laser.htm

www.neo.gr/website/ergasiamathiti/76.htm

www.materials.uoc.gr/courser/fisiki-II/mst73-107.htm