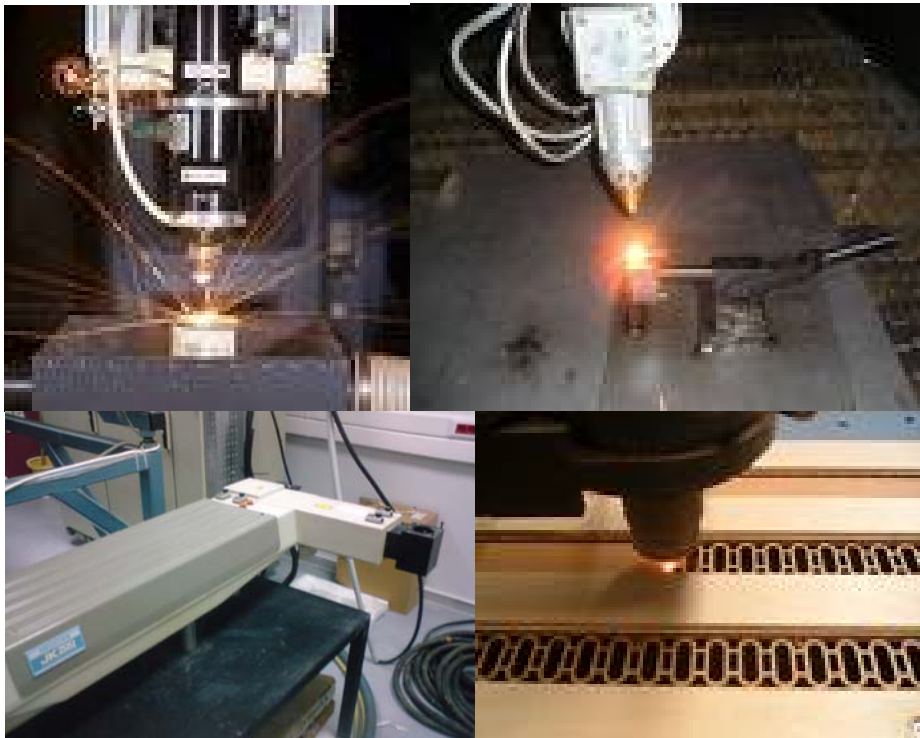




**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΟ
ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ
ΙΔΡΥΜΑ ΚΡΗΤΗΣ**

Τίτλος Πτυχιακής Εργασίας

«Εγκατάσταση και λειτουργία βιομηχανικού συστήματος λέιζερ ισχύος και χρήση του στην κατεργασία μετάλλων»



**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ
ΚΟΥΡΟΥΠΗΣ ΙΩΑΝΝΗΣ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ
κ. ΚΟΥΔΟΥΜΑΣ ΕΜΜΑΝΟΥΗΛ**

ΗΡΑΚΛΕΙΟ 2009

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Κεφ.1 Κατεργασία μετάλλων με κλασικές τεχνικές	
1.1 Εισαγωγή.....	1
1.2 Οι βασικές κατηγορίες υλικών.....	2
1.2.1 Κατεργασιμότητα των υλικών.....	3
1.3 Μηχανουργείο.....	4
1.3.1 Αυτοματοποιημένες εργαλειομηχανές.....	5
1.4 Κατεργασίες με αφαίρεση υλικού.....	7
1.5 Αρχές της κοπής.....	9
1.5.1 Μορφή αποβλήτου.....	9
1.5.2 Θερμοκρασίες κατά την κοπή.....	11
1.6 Τόρνευση.....	13
1.6.1 Τόρνος.....	16
1.7 Φρεζάρισμα.....	17
1.7.1 Φρεζομηχανή.....	19
1.7.2 Κοπτικά εργαλεία.....	21
1.8 Διάτρηση.....	22
1.8.1 Το δράπανο.....	24
1.8.2 Το τρυπάνι.....	24
1.9 Συγκόλληση.....	26
1.9.1 Γενικά για την συγκόλληση.....	26
1.9.2 Είδη ηλεκτροσυγκόλλησης.....	27
1.9.2.1 Χειροκίνητο μεταλλικό τόξο.....	27
1.9.2.2 Συγκόλληση πλάσματος.....	29
1.9.2.3 Συγκόλληση δέσμης ηλεκτρονίων.....	30
1.10 Αρχές υγιεινής και ασφάλειας.....	30
1.10.1 Εισαγωγή.....	30
1.11 Κανόνες ασφαλείας.....	32
1.11.1 Κανόνες ασφαλείας σε διαμορφώσεις μετάλλων.....	32
1.11.2 Κανόνες ασφαλείας σε συγκολλήσεις.....	33
Κεφ.2 Λείζερ	
2.1 Γενικά.....	38
2.2 Αρχή λειτουργίας laser.....	41
2.3 Διάταξη laser.....	42
2.4 Ιδιότητες laser.....	43
2.4.1 Μονοχρωματικότητα.....	43
2.4.2 Συμφωνία.....	44
2.4.3 Κατευθυντικότητα.....	47
2.4.4 Πυκνότητα ενέργειας.....	48
2.4.5 Μήκος κύματος.....	49
2.4.6 Πόλωση.....	50

Κεφ.3 Χρήση λέιζερ σε κατεργασία υλικών	
3.1 Θερμική αλληλεπίδραση λέιζερ-ύλης.....	51
3.2 Κοπή με λέιζερ.....	53
3.2.1 Βασικές αρχές.....	53
3.2.2 Μέθοδοι κοπής με λέιζερ.....	55
3.2.3 Παράμετροι κοπής με λέιζερ.....	58
3.2.4 Ποιότητα κοπής με λέιζερ.....	62
3.2.5 Παραδείγματα κοπής με λέιζερ.....	63
3.3 Συγκόλληση με λέιζερ.....	64
3.3.1 Διαδικασία συγκόλλησης με λέιζερ.....	66
3.3.2 Παράμετροι συγκόλλησης με λέιζερ.....	66
3.3.3 Ποιότητα συγκόλλησης με λέιζερ.....	71
3.3.4 Ατέλειες στη συγκόλληση με λέιζερ.....	72
3.3.5 Παραδείγματα συγκόλλησης με λέιζερ.....	73
3.4 Διάτρηση με λέιζερ.....	74
3.4.1 Βασικές αρχές διάτρησης με λέιζερ.....	74
3.4.2 Εφαρμογές της διάτρησης με λέιζερ.....	76
3.5 Επεξεργασία επιφάνειας με λέιζερ.....	77
3.5.1 Θέρμανση επιφάνειας.....	77
3.5.2 Λιώσιμο επιφάνειας.....	79
3.5.3 Επίστρωση επιφάνειας.....	80
3.5.4 Κραματοποίηση επιφάνειας.....	80
3.6 Εγγραφή σε επιφάνεια με λέιζερ.....	81
3.6.1 Εγγραφή με απομάκρυνση υλικού.....	81
3.6.2 Εγγραφή λόγω αλλαγής της μορφολογίας της επιφάνειας.....	82
3.6.3 Εγγραφή με μάσκα.....	83
3.6.4 Απευθείας εγγραφή με το λέιζερ.....	84
3.6.5 Παραδείγματα εγγραφής με λέιζερ.....	85
Κεφ.4 Λέιζερ σειράς JK700.....	87
Κεφ.5 Λειτουργία λέιζερ	
5.1 Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.....	97
5.2 Ηλεκτρονικά ισχύος.....	97
5.3 Ηλεκτρονικά ελέγχου.....	99
5.4 Σύστημα ψύξης.....	100
5.5 Θάλαμος άντλησης λέιζερ.....	101
5.6 Οπτικά συντονισμού.....	102
5.6.1 Οπτικά συντονισμού LD.....	102
Κεφ.6 Έλεγχος λέιζερ και οπτική ίνα	
6.1 Πίνακας ελέγχου.....	104
6.2 Κεφαλή κατεργασίας.....	105
6.3 T.V κλειστού κυκλώματος.....	106
6.4 Σύστημα ακροφυσίου για αέριο.....	107
6.5 Περίφραξη ασφαλείας.....	108
6.6 Χειροκίνητος έλεγχος φωτοφράκτη.....	109
6.7 Εισαγωγή στις οπτικές ίνες.....	109
6.8 Λειτουργία και ιδιότητες οπτικών ινών.....	111
6.8.1 Αρχή λειτουργίας των οπτικών ινών.....	111

6.8.2 Βασικές πληροφορίες για τις οπτικές ίνες.....	113
6.8.3 Κατασκευή οπτικών ινών.....	115
Κεφ.7 Διαδικασία λειτουργίας	
7.1 Καταχώρηση αρχείων.....	117
7.2 Συντήρηση εξοπλισμού.....	117
7.3 Προσωπική ασφάλεια.....	118
7.4 Διαδικασία ξεκινήματος.....	118
7.4.1 Επεξηγηματικές συμβουλές κατά την λειτουργία.....	120
7.5 Διαδικασία κλεισίματος.....	121
7.6 Διαδικασία ξεκινήματος (κοιλότητας LD).....	121
7.7 Ρύθμιση του ελέγχου BET.....	122
Κεφ.8 Δυνατότητες του λέιζερ στην κατεργασία υλικών	
8.1 Οδηγίες επεξεργασίας υλικών.....	123
8.1.1 Εισαγωγή.....	123
8.1.2 Επιλογή της κοιλότητας συντονισμού λέιζερ.....	123
8.1.3 Τύποι υλικών.....	124
8.1.4 Πάχος υλικών.....	124
8.1.5 Διάτρηση και κοπή.....	125
8.1.6 Οπτικοί παράγοντες.....	125
8.1.7 Ταχύτητα λειτουργίας.....	125
8.1.8 Οφέλη της διαμόρφωσης του παλμού.....	127
Κεφ.9 Στάδια κατά την εγκατάσταση του συστήματος	
9.1 Εισαγωγή.....	128
9.2 Συντήρηση ψυκτικού μέσου.....	128
9.3 Συντήρηση της μονάδας παροχής ηλεκτρικού ρεύματος.....	129
9.4 Συντήρηση λέιζερ και κεφαλής κατεργασίας.....	130
Βιβλιογραφία.....	133

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΥΛΙΚΩΝ ΜΕ ΚΛΑΣΣΙΚΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ

1.1 Εισαγωγή

Ο άνθρωπος, από την αρχή της εμφάνισής του, άρχισε να χρησιμοποιεί διάφορα υλικά με τα οποία έφτιαξε εργαλεία και όπλα που του ήταν απαραίτητα για την επιβίωσή του. Τα πρώτα εργαλεία και όπλα, ήταν είτε από ξύλα, είτε από πέτρες, είτε από κόκαλα. Αυτά ήταν τα πρώτα υλικά που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος και επειδή το πιο σημαντικό ήταν η πέτρα, η εποχή αυτή ονομάστηκε **λίθινη**.

Τα μέταλλα τα ανακάλυψε αργότερα (περίπου 5000 π.Χ.). Μία θεωρία υποστηρίζει ότι μετά από μεγάλες πυρκαγιές, τα μέταλλα που υπήρχαν μέσα σε διάφορα πετρώματα έλιωναν, κι έτσι με αυτό τον τρόπο επιτυγχανόταν η εξόρυξή τους. Έτσι ο άνθρωπος ανακάλυψε το χαλκό (Cu). Η εποχή αυτή χαρακτηρίζεται από την χρήση του χαλκού και ονομάζεται **εποχή του χαλκού** (5000-3000 π.Χ.). Γρήγορα παρατήρησε ότι αυτό το υλικό είχε μια πολύ χρήσιμη ιδιότητα, ήταν εύπλαστο, δηλαδή μπορούσε πολύ εύκολα να το διαμορφώσει σε εργαλείο ή σε όπλο (π.χ. με σφυρηλάτηση), χωρίς αυτό να παρουσιάσει ρωγμές ή να σπάσει.

Τυχαία πάλι, ίσως μετά από κάποια πυρκαγιά, βγήκε από κάποια πετρώματα ένα μεταλλικό υλικό, το οποίο έμοιαζε με το χαλκό, αλλά είχε πολύ καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Το υλικό αυτό ήταν κράμα χαλκού-κασσιτέρου (Cu-Sn) και ονομάστηκε κρατέρωμα (μπρούντζος). Το κράμα αυτό ήταν πιο σκληρό και λιγότερο εύπλαστο από το χαλκό. Έτσι το χρησιμοποίησε ως εργαλείο και όπλο, αντικαθιστώντας το χαλκό. Η εποχή αυτή ονομάστηκε **εποχή του κρατερώματος** (3000-1000 π.Χ.). Ο άνθρωπος έφτιαχνε τον μπρούντζο με ανάμειξη χαλκού και κασσιτέρου και μετά λιώσιμο. Ο κασσίτερος λαμβανόταν από κασσιτερούχα πετρώματα.

Ο σίδηρος (Fe), ανακαλύφθηκε από τον άνθρωπο αργότερα, από τους διάφορους μετεωρίτες που έπεφταν στη γη. Λόγω του μεγάλου σημείου τήξεως του σιδήρου (1538°C) σε σχέση με αυτό του χαλκού (1083°C), η διαμόρφωση του σιδήρου με σφυρηλάτηση παρουσίαζε μεγάλες δυσκολίες. Αυτός ήταν και ο κύριος λόγος για τον οποίο η χρησιμοποίηση του σιδήρου αναπτύχθηκε αργά. Όμως, ο σίδηρος εκτιμήθηκε πολύ, όταν κατά το λιώσιμο σιδηρούχων μεταλλευμάτων που περιείχαν άνθρακα (0,2-0,5%) φτιάχτηκε χάλυβας. Παρατηρήθηκε ότι εργαλεία ή

όπλα (ξίφη) που ήταν κατασκευασμένα από χάλυβα, αποκτούσαν εξαιρετική σκληρότητα, όταν στη ζεστή (850°-900°C) κατάσταση βυθίζονταν σε νερό (βαφή). Η εποχή αυτή ονομάστηκε **εποχή του σιδήρου** (1000 π.Χ. - σήμερα). Έτσι, αναπτύχθηκε σιγά-σιγά η μεταλλουργία του σιδήρου, καθώς και άλλων μετάλλων, όπως του χρυσού (Au), του αργύρου (Ag) και του μολύβδου (Pb).

Ο 19ος αι. χαρακτηρίζεται από μεγάλη πρόοδο της μεταλλουργίας. Σημαντικότερες ανακαλύψεις αυτής της περιόδου ήταν η παραγωγή χάλυβα με τη μέθοδο Bessemer και κατά τα τέλη του 19ου αι. η ανακάλυψη του ελαφρού μετάλλου αλουμινίου (Al), του οποίου τα κράματα αποτέλεσαν τη βάση της Αεροναυπηγικής και της Αυτοκινητοβιομηχανίας. Τα κράματα του αλουμινίου, του τιτανίου και κάποιοι ειδικοί χάλυβες, οδήγησαν σε εκπληκτικά αποτελέσματα την επιστήμης και την τεχνολογία του διαστήματος. Τέλος, υπάρχουν ακόμα πολλές τεχνικές ανάγκες τις οποίες δεν μπορούν να καλύψουν τα μέχρι τώρα μεταλλικά υλικά. Γι' αυτό τον λόγο η έρευνα πάνω στον έλεγχο της δομής των υλικών συνεχίζεται μέχρι και σήμερα.

1.2 Οι βασικές κατηγορίες υλικών

Τα υλικά χωρίζονται στις παρακάτω κατηγορίες με βάση τη δομή τους :

(α) **Μέταλλα - Κράματα.** Τέτοια υλικά είναι ο χαλκός, το αλουμίνιο, ο σίδηρος, ο χάλυβας, κ.λπ..

(β) **Κεραμικά - Γυαλιά.** Παραδείγματα τεχνικών κεραμικών είναι η αλουμίνα (Al₂O₃), το οξείδιο του τιτανίου (TiO₂), το καρβίδιο του πυριτίου (SiC), το καρβίδιο του βολφραμίου (WC), το νιτρίδιο του βορίου (BN), το νιτρίδιο του πυριτίου (Si₃N₄), το διαμάντι, κ.λπ.

(γ) **Πολυμερή ή Πλαστικά.** Παραδείγματα πολυμερών είναι το πολυτετραφθοροαιθυλένιο (PTFE ή Teflon), το πολυαιθυλένιο (PE), το πολυστυρένιο (PS), το πολυβινυλοχλωρίδιο (PVC), το πολυμεθακρυλικό μεθύλιο (PMMA), οι εποξικές ρητίνες, ο βακελίτης, κ.λπ..

(δ) **Σύνθετα υλικά.** Αυτά αποτελούνται από δύο ή περισσότερες κατηγορίες υλικών. Παραδείγματα σύνθετων υλικών αποτελούν το οπλισμένο σκυρόδεμα (τσιμέντο-χαλίκια - βέργες σιδήρου), το fiberglass (πολυμερές ενισχυμένο με ίνες γυαλιού), τα πολυμερή ενισχυμένα με ίνες γραφίτη (άνθρακα). Τα σύνθετα υλικά, εκτός του ότι είναι πολύ ελαφρά, έχουν μεγάλη μηχανική αντοχή.

Για να επιτύχουμε τις επιθυμητές ιδιότητες σε ένα υλικό, πρέπει να επεμβούμε στη δομή του. Τις αλλαγές αυτές στη δομή τις επιτυγχάνουμε με κατάλληλες

κατεργασίες (π.χ., όταν θέλουμε να αυξήσουμε τη σκληρότητα ενός χάλυβα, πρέπει να προκαλέσουμε κάποιες συγκεκριμένες αλλαγές στη δομή του).

1.2.1 Κατεργασιμότητα των υλικών

Η κατεργασία ενός υλικού, είναι μία σύνθετη έννοια, η οποία ορίζεται ως η δυνατότητα (ευκολία ή δυσκολία) που παρουσιάζει ένα υλικό, προκειμένου από αυτό να κατασκευασθούν εξαρτήματα συγκεκριμένης γεωμετρίας. Η κατεργασία αυτή μπορεί να είναι διαμόρφωσης, κοπής, συγκόλλησης ή χύτευσης. Η παραπάνω έννοια της κατεργασιμότητας, ως γενική, μπορεί να διαιρεθεί σε επιμέρους κατηγορίες ανάλογα με το είδος της κατεργασίας που εξετάζουμε :

- **Διαμορφωσιμότητα** καλείται η δυνατότητα ενός υλικού να διαμορφωθεί σε μία συγκεκριμένη γεωμετρία (έλασμα, φύλλο, σύρμα, κ.λπ.), μέσω πλαστικής παραμόρφωσης. Όταν η κατεργασία έχει στόχο την διαμόρφωση ελάσματος, τότε λέγεται ελατότητα, ενώ όταν αφορά τη διαμόρφωση σύρματος, τότε λέγεται ολκιμότητα. Ειδικότερα, όσο μαλακό είναι ένα μέταλλο, τόσο πιο εύκολα μπορεί να διαμορφωθεί σε ελάσματα ή σε σύρματα, δηλαδή αυξάνεται η ελατότητα και η ολκιμότητά του αντίστοιχα.
- **Ευχυτότητα ή χυτευσιμότητα** καλείται η δυνατότητα ενός υλικού να διαμορφωθεί, μέσω χύτευσης, σε εξάρτημα συγκεκριμένης γεωμετρίας. Παράγοντες που επηρεάζουν είναι το σημείο τήξεως του μετάλλου, το ιξώδες και η επιφανειακή τάση του τήγματος του μετάλλου, καθώς και οι διάφορες προσμείξεις.
- **Συγκολλησιμότητα** καλείται η δυνατότητα συγκόλλησης ενός υλικού. Παράγοντες που επηρεάζουν είναι η καθαρότητα του μετάλλου και η χημική σύσταση του κράματος προς συγκόλληση. Π.χ. χάλυβες με μεγάλη περιεκτικότητα σε άνθρακα (> 0,3%) εμφανίζουν ρωγμές κατά τη συγκόλληση και έτσι χαρακτηρίζονται από μικρή συγκολλησιμότητα, ενώ αντίθετα προσθήκες σε μαγγάνιο (Mn) έως 1% και πυρίτιο (Si) έως 0,3% αυξάνουν τη ρευστότητα του τήγματος, καθώς και την αντίστασή του σε οξείδωση υψηλών θερμοκρασιών, αυξάνοντας έτσι τη συγκολλησιμότητα των χαλύβων.
- **Κατεργασιμότητα στην κοπή** καλείται η δυνατότητα διαμόρφωσης, που παρουσιάζει ένα υλικό, μέσω αφαίρεσης υλικού (π.χ. τόννευση, φρεζάρισμα,

πλάνιση, λείανση, κ.λπ.). Και σε αυτή την κατηγορία η χημική σύσταση και η δομή του υλικού παίζουν πρωτεύοντα ρόλο. Οι χάλυβες ελευθέρως κοπής (δηλαδή υψηλής κατεργασιμότητας στην κοπή), που περιέχουν μαγγάνιο (Mn) και θείο (S), παρουσιάζουν μεγάλη ευκολία κατά την κοπή, λόγω της ύπαρξης απομονωμένων σωματιδίων (εγκλεισμάτων) σουλφιδίου του μαγγανίου (MnS).

1.3 Μηχανουργείο

Ένα μηχανουργείο αποτελεί τη βάση μιας παραγωγής βασισμένης σε μηχανολογικά εξαρτήματα. Είναι δυνατόν να υφίσταται σαν ανεξάρτητη παραγωγική μονάδα ή σαν τμήμα μιας ολοκληρωμένης παραγωγικής μονάδας σε ένα εργοστάσιο. Οι βασικές δραστηριότητες με τις οποίες ασχολείται κυρίως ένα μηχανουργείο, είναι οι παρακάτω :

- μελέτη - σχεδίαση προϊόντων,
- προγραμματισμός παραγωγής,
- σχεδίαση εργαλείων - ιδιοσυσκευών,
- διακίνηση υλικών,
- παραγωγή,
- έλεγχος ποιότητας.

Για να ανταποκριθεί ένα μηχανουργείο στους σκοπούς του, θα πρέπει εκτός από το κύριο χώρο του, να περιλαμβάνει αυτόνομα τμήματα για επιμέρους δραστηριότητες. Τέτοια τμήματα είναι :

- Τμήμα συναρμολογήσεως
- Εφαρμοστήριο - Καμινευτήριο - Σιδηρουργείο - Χυτήριο
- Εργαλειοκατασκευαστήριο
- Τμήμα θερμικών κατεργασιών
- Τμήμα μηχανικών δοκιμών, χημικών αναλύσεων και μεταλλογνωσιακών ελέγχων
- Αποθήκη υλικών
- Αποθήκη εργαλείων και μετρητικών οργάνων

Για παράδειγμα προϊόντα που παράγονται από μηχανουργεία, είναι διάφορα μηχανικά εξαρτήματα όπως οδοντωτοί τροχοί, πείροι, ανταλλακτικά διαφόρων

τύπων, κλπ. Όμως το κόστος παραγωγής είναι αρκετά υψηλό, λόγω του κόστους των κατεργασιών κοπής, του κόστους των πρώτων υλών και της χαμηλής παραγωγικότητας. Οι λόγοι που οδηγούν το κόστος παραγωγής σε υψηλά επίπεδα, είναι πολλοί με κυριότερους τους παρακάτω :

- Δεν γίνεται πάντοτε κατάλληλη εκλογή της εργαλειομηχανής που θα χρησιμοποιηθεί και των συνθηκών κατεργασίας για τις κατεργασίες κοπής. Τα μηχανουργεία συχνά λειτουργούν σε αυτόν τον τομέα κυρίως εμπειρικά.
- Το μέγεθος των μηχανουργείων είναι συνήθως μικρό, με αποτέλεσμα να γίνονται απαγορευτικές οι παραγγελίες μεγάλων παρτίδων πρώτων υλών και έτσι δεν επιτυγχάνονται χαμηλές τιμές στην αγορά της πρώτης ύλης.
- Η χαμηλή εξειδίκευση σε επίπεδο παραγωγής.
- Η χαμηλή εξειδίκευση σε επίπεδο προσωπικού.
- Η παλαιά τεχνολογία μεθόδων παραγωγής σε συνδυασμό με την δυσπιστία εκ μέρους των μηχανουργών για την εφαρμογή νέων τεχνολογιών.

Εκτός από αυτά τα προβλήματα, η μικρή δυναμικότητα των περισσότερων μηχανουργείων, έχει σαν αποτέλεσμα την ανυπαρξία μόνιμου τμήματος συντήρησης. Έτσι συχνά δεν υπάρχει προγραμματισμένη για προληπτικούς λόγους συντήρηση, με επακόλουθο την εμφάνιση βλαβών στις εργαλειομηχανές κατά την λειτουργία τους. Η διαχείριση των υλικών επίσης, παρουσιάζει αρκετά προβλήματα μια και η σωστή λειτουργία ενός μηχανουργείου εξαρτάται κατά πολύ από την ύπαρξη αποθηκευτικού χώρου πρώτων υλών και προϊόντων, με δυνατότητα γρήγορης και εύκολης διακίνησής τους.

1.3.1 Αυτοματοποιημένες εργαλειομηχανές

Η αύξηση της παραγωγής βασίστηκε έντονα στις τεράστιες εξελίξεις σε τομείς της επιστήμης, της εκπαίδευσης και της οργάνωσης. Η μικροηλεκτρονική αποτελεί και τη βασική αιτία για τη δημιουργία των νέων συστημάτων αυτοματοποίησης της μηχανουργικής παραγωγής (NC, CNC, DNC, FMS,...). Η προμήθεια και η λειτουργία αυτοματοποιημένων μηχανημάτων, συνδέθηκε με προβλήματα για τα μικρά και μεγάλα μηχανουργεία, που έχουν σχέση με :

- τον **προγραμματισμό** μια και απαιτείται εξειδικευμένο προσωπικό και εκπαίδευση στην συγκεκριμένη εργαλειομηχανή και τον κώδικα καθοδήγησής της,
- το **υψηλό κόστος** κτήσης τους,
- την **ανάγκη εξειδικευμένου προσωπικού** υψηλής στάθμης, όχι μόνον για τον προγραμματισμό, αλλά και για άλλες εργασίες όπως ρυθμίσεις της εργαλειομηχανής, προετοιμασία και έλεγχος εργαλείων, συντήρηση κλπ.

Τα πλεονεκτήματα των εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση έναντι των συμβατικών εργαλειομηχανών, συνοψίζονται στα παρακάτω :

- Υψηλή διασπαστική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής και θέσης.
- Σύγχρονη κίνηση σε πολλούς άξονες, που επιτρέπει την κατεργασία σύνθετων επιφανειών στο χώρο.
- Μείωση των σκάρτων κομματιών και περιορισμός της ανάγκης έλεγχου ποιότητας.
- Ελάχιστο νεκρό χρόνο, ενώ ο χρόνος παραμονής του τεμαχίου στην εργαλειομηχανή μειώνεται σημαντικά.
- Δεν απαιτούνται κατασκευαστικά σχέδια αλλά μορφή που περιγράφεται από μαθηματικές σχέσεις.
- Εύκολος προγραμματισμός και χειρισμός.
- Σαφής έλεγχος της παραγωγής μια και ο χρόνος κατεργασίας είναι με ακρίβεια καθορισμένος.
- Μεγάλη ευελιξία στις κατεργασίες που εκτελούνται.
- Αύξηση της παραγωγικότητας, της ποιότητας των παρεχόμενων υπηρεσιών και κατά συνέπεια της ανταγωνιστικότητας.

Η προμήθεια εργαλειομηχανών με ψηφιακή καθοδήγηση γίνεται ολοένα και πιο σημαντική στα μηχανουργεία, επηρεάζοντας :

- την **παραγωγική διαδικασία** : Στις παραδοσιακές εργαλειομηχανές ο τεχνίτης-χειριστής με βάση τα τεχνικά σχέδια ρυθμίζει την μηχανή, την θέτει σε λειτουργία και τέλος ελέγχει το αποτέλεσμα. Στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές το πρόγραμμα εργασίας μεταβιβάζεται στη μηχανή, μέσω συνδεδεμένου ηλεκτρονικού υπολογιστή ή στην χειρότερη

περίπτωση πληκτρολογείται κατευθείαν στην οθόνη της ίδιας της μηχανής. Με αυτόν τον τρόπο, σε συνδυασμό με το γεγονός ότι ο προγραμματιστής-χειριστής μπορεί να ελέγχει διαδοχικά το πρόγραμμά του μέσω κοπής στον "αέρα" ή με την βοήθεια προσομοιωτών, μειώνονται αισθητά οι πιθανότητες λαθών και ο χρόνος προετοιμασίας της εργαλειομηχανής. Επίσης η χρήση των NC και CNC εργαλειομηχανών συμβάλλει στην συντονισμένη συνεργασία ανάμεσα σε τομείς της επιχείρησης (σχεδιασμός - προγραμματισμός - παραγωγή - ποιοτικός έλεγχος - διάθεση προϊόντων).

- **την οργάνωση εργασίας :** Τα απαιτούμενα, για την χρήση των παραδοσιακών εργαλειομηχανών προσόντα, είναι σε δεύτερη μοίρα. Με τις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, δεν απαιτούνται ιδιαίτερες ικανότητες σε συγκεκριμένες δεξιότητες, αλλά γενικότερες γνώσεις όπως μαθηματικά, γνώσεις δομής και οργάνωσης εργασιών κλπ.
- **την δομή των επαγγελματιών :** Η αγορά προσανατολίζεται στην αναγκαιότητα χρησιμοποίησης ενός ειδικευμένου τεχνικού, καταρτισμένου και ικανού να προγραμματίζει, να χρησιμοποιεί και να ελέγχει σε όλες τις φάσεις λειτουργίας της μια εργαλειομηχανή με ψηφιακή καθοδήγηση. Ο τεχνικός αυτός θα πρέπει απαραίτητως να διαθέτει γνώσεις ηλεκτρονικού υπολογιστή, γενικών μαθηματικών και ξένης γλώσσας. Σήμερα οι περισσότεροι χρήστες τέτοιων εργαλειομηχανών είναι απλοί επιτηρητές των μηχανών κατά την λειτουργία τους, ενώ ο προγραμματισμός τους γίνεται από ελάχιστους ειδικούς.
- **τα προϊόντα :** Παρέχεται η δυνατότητα κατεργασίας ποικιλίας παραγομένων προϊόντων με υψηλή διαστατική ακρίβεια και ακρίβεια μορφής. Αυτό έχει σαν άμεσο αποτέλεσμα τον μεγαλύτερο βαθμό ανταγωνιστικότητας της επιχείρησης, την αύξηση της παραγωγικότητας και του όγκου παραγωγής και αντίστοιχα την μείωση του κόστους παραγωγής.

1.4 Κατεργασίες με αφαίρεση υλικού

Οι βασικότερες κατεργασίες με αφαίρεση υλικού και οι σχετικές εργαλειομηχανές φαίνονται στον παρακάτω πίνακα:

Κατεργασία	Εργαλειομηχανή
Τόρνευση	Τόρνος
Φρεζάρισμα	Φρέζα
Διάτρηση	Δράπανος
Πλάνιση	Πλάνη
Λείανση	Λειαντικός τροχός

Στα σχήματα 1.1 και 1.2 παρουσιάζονται οι βασικότερες κατεργασίες με αφαίρεση υλικού και σχηματικά οι αντίστοιχες χρησιμοποιούμενες εργαλειομηχανές. Οι εργαλειομηχανές κατατάσσονται με διάφορους τρόπους. Οι συνήθεις τρόποι κατάταξης είναι :

- **ως προς το είδος της κατεργασίας**

- **ως προς το είδος της πρωτεύουσας κίνησης**

εργαλειομηχανές με περιστροφική πρωτεύουσα κίνηση,

εργαλειομηχανές με ευθύγραμμη πρωτεύουσα κίνηση,

- **ως προς τον βαθμό εξειδικεύσεως**

εργαλειομηχανές γενικής χρήσεως,

ειδικές εργαλειομηχανές,

εξειδικευμένες εργαλειομηχανές,

εργαλειομηχανές μεταφοράς,

- **ως προς την ακρίβεια κατεργασίας**

εργαλειομηχανές συνήθους ακριβείας,

εργαλειομηχανές ακριβείας,

εργαλειομηχανές μεγάλης ακριβείας,

εργαλειομηχανές υψίστης ακριβείας,

- **ως προς το βάρος**

εργαλειομηχανές ελαφρές (βάρος μικρότερο του 1 tn),

εργαλειομηχανές μέσου βάρους (βάρος μικρότερο των 10 tn),

εργαλειομηχανές βαριές (βάρος μεγαλύτερο των 10 tn),

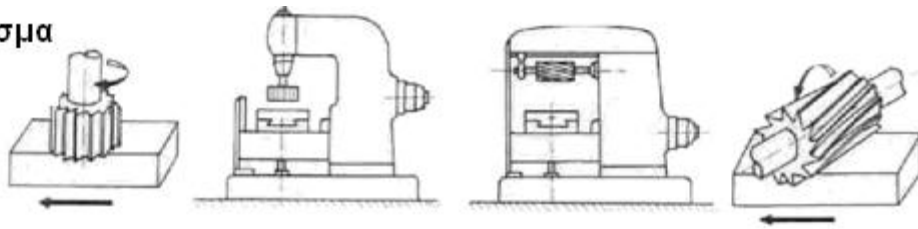
- **ως προς το βαθμό αυτοματισμού**

κοινές εργαλειομηχανές,

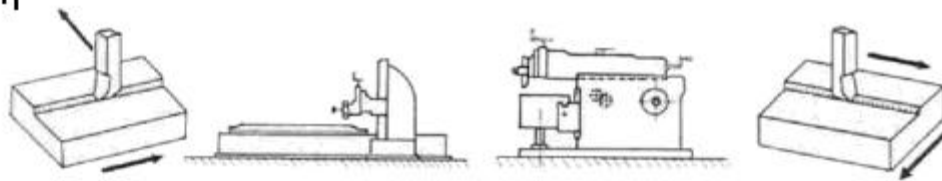
ημιαυτόματες εργαλειομηχανές (οι κινήσεις γίνονται αυτόματα),

αυτόματες εργαλειομηχανές (οι κινήσεις και η τροφοδοσία γίνονται αυτόματα)

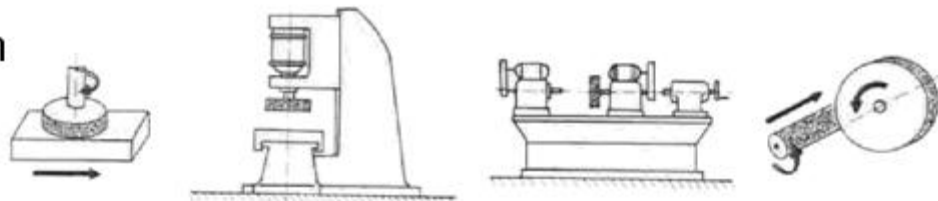
Φρεζάρισμα



πλάνιση

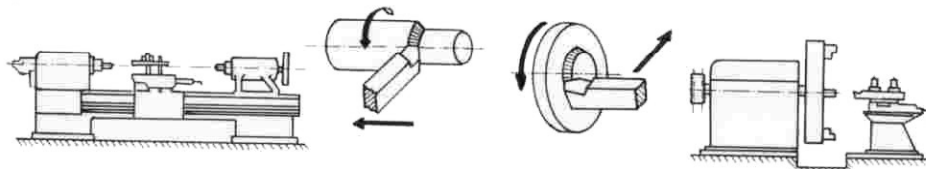


λείανση

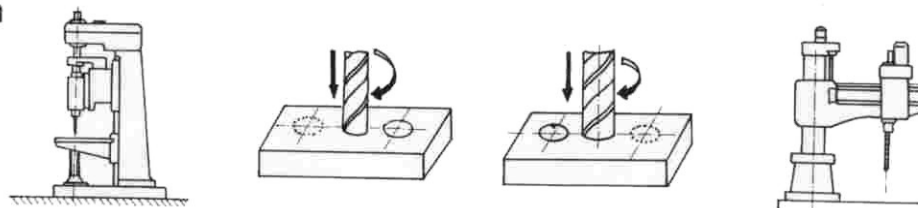


Σχήμα 1.1 Φρεζάρισμα, πλάνιση, λείανση και εργαλειομηχανές κοπής

τόρνευση



διάτρηση



Σχήμα 1.2 Τόρνευση, διάτρηση και εργαλειομηχανές κοπής

1.5 Αρχές της κοπής

1.5.1 Μορφή αποβλήτου

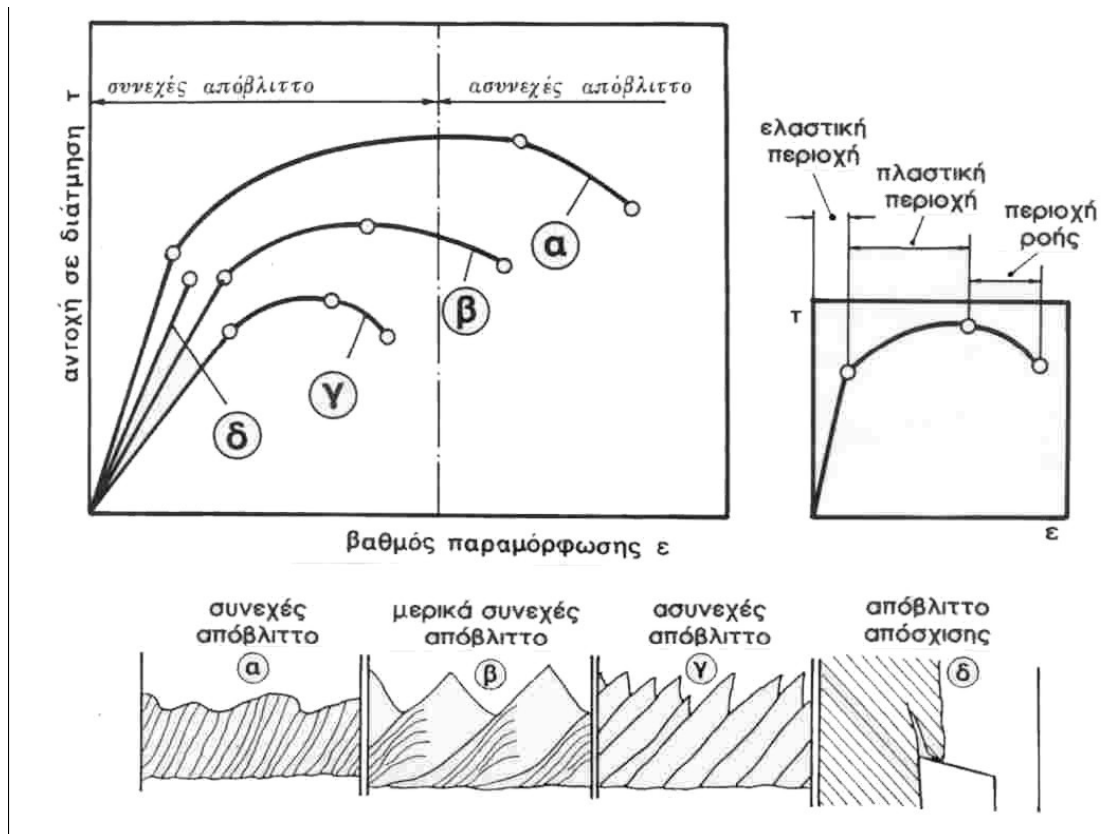
Η αφαίρεση του υλικού στις εργαλειομηχανές επιτυγχάνεται μέσω της διαφορετικής κίνησης του κοπτικού εργαλείου και του κατεργαζόμενου τεμαχίου, με

καθορισμένο βάθος (το οποίο ονομάζεται βάθος κοπής) και προδιαγεγραμμένη ταχύτητα εισχώρησης. Το υλικό που απομακρύνεται λέγεται απόβλητο (γρέζι) και μπορεί, ανάλογα με τις συνθήκες κατεργασίας και το υλικό, να έχει διάφορες μορφές.

Ανάλογα με τον βαθμό παραμορφώσεως ϵ και την αντοχή σε διάτμηση τ του κατεργαζόμενου υλικού, το παραγόμενο απόβλητο μπορεί να είναι συνεχές ή ασυνεχές, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.3. Το συνεχές απόβλητο είναι το επιθυμητό στην πράξη, μια και αφορά με ευνοϊκές συνθήκες κατεργασίας όσον αφορά τις αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής, την καταναλισκόμενη ισχύ, την προκύπτουσα τραχύτητα επιφάνειας του τεμαχίου καθώς και την αναπτυσσόμενη φθορά στο κοπτικό εργαλείο. Το συνεχές απόβλητο δημιουργείται από συνεχή πλαστική παραμόρφωση που προκαλείται στην περιοχή της ζώνης διάτμησης. Το γεγονός αυτό, έχει σαν συνέπεια την διαρροή του υλικού και την ροή του σαν ταινία πάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του κοπτικού εργαλείου. Το ασυνεχές απόβλητο δημιουργείται με την περιοδική θραύση του αποβλήτου κατά την διέλευσή του από την ζώνη διατμήσεως. Τέτοιο απόβλητο συναντάται σε ψαθυρά υλικά όπως ο χυτοσίδηρος ή σε πολύ χαμηλές ταχύτητες κοπής, σε μεγάλες προώσεις ή σε κοπή με εργαλεία με μικρές γωνίες αποβλήτου.

Έτσι ευνοϊκές συνθήκες κοπής όσον αφορά την δημιουργία του αποβλήτου, γενικά επιτυγχάνονται με τις εξής συνθήκες :

- μεγάλη ταχύτητα κοπής
- μικρή πρόωση
- μεγάλη γωνία αποβλήτου



Σχήμα 1.3 Μορφές αποβλήτου σε κατεργασίες με αφαίρεση υλικού

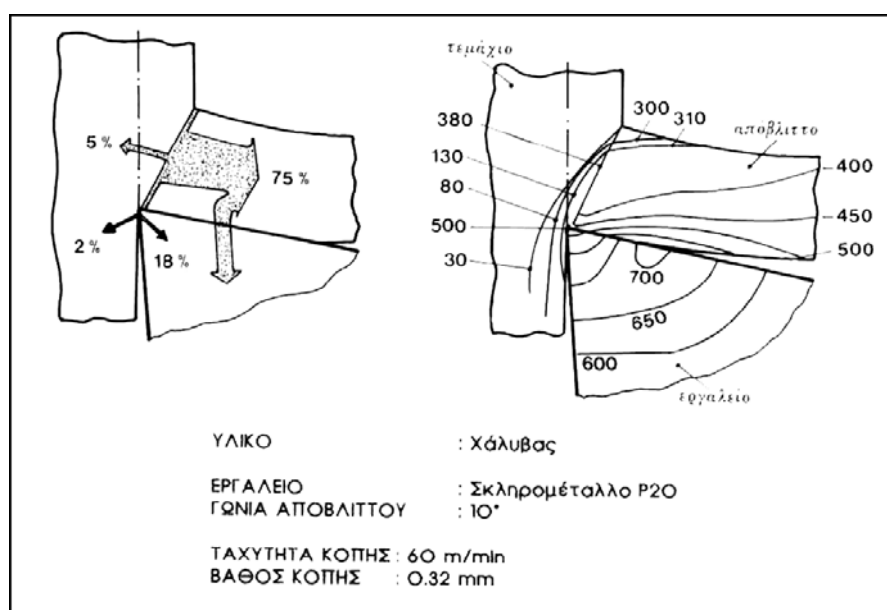
Σε περιπτώσεις που το συνεχές απόβλητο αποκτά μεγάλο μήκος (ιδίως στην κατεργασία όλκιμων υλικών), με αποτέλεσμα να επιφέρει δυσκολίες αλλά και κινδύνους κατά την ώρα της κατεργασίας, χρησιμοποιούνται κατάλληλες διαμορφώσεις του κοπτικού εργαλείου που ονομάζονται γρεζοθραύστες.

1.5.2 Θερμοκρασίες κατά την κοπή

Η συνολική ενέργεια που απαιτείται για να πραγματοποιηθεί η κοπή, καταναλίσκεται σε δύο περιοχές, στη ζώνη διατμήσεως και στη ζώνη τριβής. Πολύ λιγότερη ενέργεια καταναλίσκεται στη θέση τριβής της ελεύθερης επιφάνειας του κοπτικού εργαλείου και της κατεργασμένης επιφάνειας του τεμαχίου. Όλες αυτές οι περιοχές ανάλωσης ενέργειας, αποτελούν και πηγές έκλυσης θερμότητας.

Η παραγόμενη αυτή θερμότητα κατά την κοπή, παράγεται κατά κύριο λόγο στην ζώνη διατμήσεως και κυμαίνεται σε ποσοστό 65% έως 80%. Η υπόλοιπη θερμότητα παράγεται στην ζώνη τριβής του αποβλήτου, πάνω στο κοπτικό εργαλείο,

αλλά και στην θέση που εφάπτεται η ελεύθερη επιφάνεια του εργαλείου με το τεμάχιο. Η συνολική θερμότητα που παράγεται, παραλαμβάνεται από το απόβλητο κατά κύριο λόγο, αλλά και από το κοπτικό εργαλείο και το προς κατεργασία τεμάχιο. Στο σχήμα 1.4 για μια περίπτωση κατεργασίας τόννευσης χάλυβα ($K_f=850 \text{ N/mm}^2$) από κοπτικό εργαλείο σκληρομέταλλο P30 με γωνία αποβλήτου $\gamma=10^\circ$ και ταχύτητα $v=60\text{m/min}$, φαίνονται οι ισοθερμοκρασιακές καμπύλες στο κοπτικό εργαλείο, το απόβλητο και το τεμάχιο καθώς και τα ποσοστά κατανομής της θερμότητας.



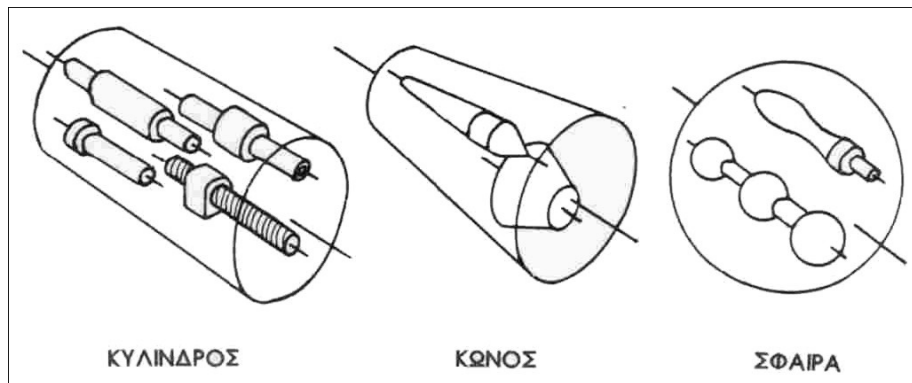
Σχήμα 1.4 Κατανομή θερμοκρασιών στο κατεργαζόμενο τεμάχιο - απόβλητο και κοπτικό εργαλείο

Από το σχήμα γίνεται φανερό πως οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο κοπτικό εργαλείο, είναι πιο υψηλές από τις θερμοκρασίες που αναπτύσσονται στο απόβλητο ή στο τεμάχιο, ενώ η μέγιστη θερμοκρασία του εργαλείου δεν βρίσκεται στην μύτη του εργαλείου αλλά σε θέση που απέχει αρκετά από αυτήν. Το γεγονός αυτό, που έχει σχέση με την ροή του αποβλήτου πάνω στην επιφάνεια αποβλήτου του κοπτικού εργαλείου, οδηγεί σε δημιουργία κοιλάματος ή κρατήρα πάνω στην επιφάνεια αυτή. Αυτή είναι χαρακτηριστική αιτία για την φθορά του κοπτικού εργαλείου. Ταυτόχρονα όμως, οι υψηλές θερμοκρασίες στην περιοχή της κοπής, έχουν και ευνοϊκή επίδραση πάνω στην κατεργαστικότητα του υλικού του τεμαχίου, μια και μειώνεται το όριο διαρροής του. Οι θερμοκρασίες που αναπτύσσονται κατά

την κοπή, αυξάνονται όσο αυξάνεται η ταχύτητα κοπής ή η ειδική αντίσταση κοπής του κατεργαζόμενου μετάλλου.

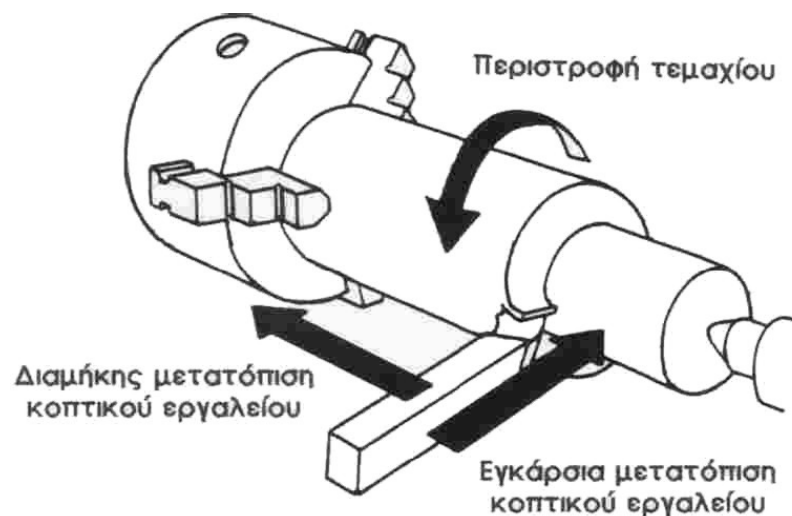
1.6 Τόρνευση

Με την τόρνευση κατεργάζονται τεμάχια συμμετρικά εκ περιστροφής με κυκλική διατομή. Στο σχήμα 1.5 παρουσιάζονται μερικά τεμάχια, τα οποία αποκτούν διαφορετική ποιότητα επιφάνειας στα επί μέρους τμήματά τους, ανάλογα με τις συνθήκες στις οποίες κατεργάζονται. Στο σχήμα αυτό παρουσιάζονται τεμάχια στα οποία τμήματά τους παίρνουν σχήμα κυλίνδρου, κώνου και σφαίρας.



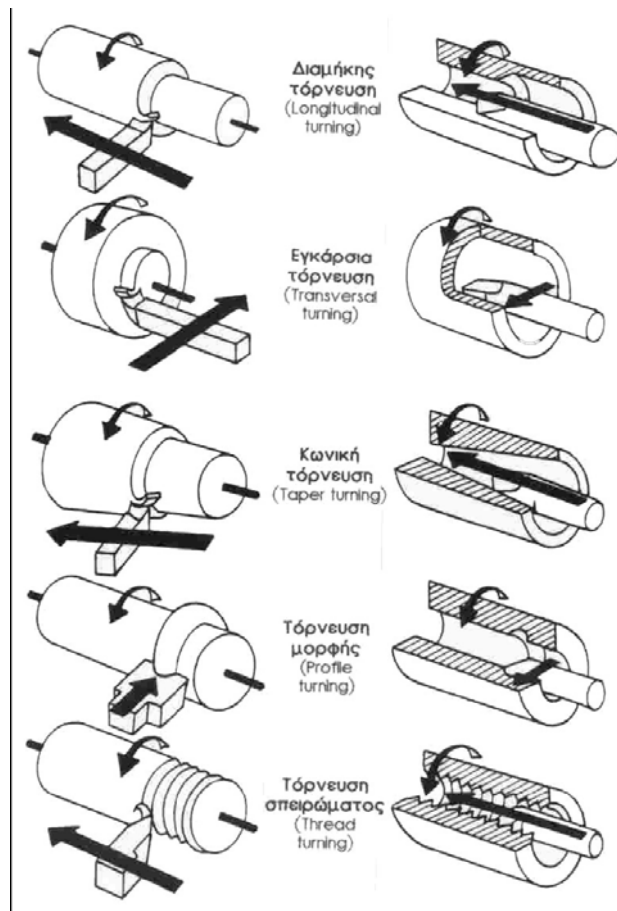
Σχήμα 1.5 Τεμάχια συμμετρικά εκ περιστροφής

Κατά την τόρνευση, το υπό κατεργασία κομμάτι περιστρέφεται γύρω από τον άξονά του, συγκρατημένο στον σφικτήρα (τσοκ) του τόρνου. Με αυτόν τον τρόπο, έρχεται σε επαφή με το κοπτικό εργαλείο, το οποίο έχει δυνατότητα εγκάρσιας και διαμήκους μετακίνησης και έτσι απομακρύνεται υλικό από το κατεργαζόμενο κομμάτι. Οι κινήσεις αυτές κατά την τόρνευση παρουσιάζονται στο σχήμα 1.6. Το εγκάρσιο βάθος εισχώρησης του εργαλείου στο τεμάχιο αποτελεί και το **βάθος κοπής**.



Σχήμα 1.6 Κινηματική τόννευσης

Οι διάφορες μορφές που μπορεί να πάρει το κατεργαζόμενο τεμάχιο με την τόννευση απαιτούν διαφορετικό συνδυασμό κινήσεων, όπως και χρησιμοποίηση κατάλληλου κοπτικού εργαλείου. Το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιείται, εξαρτάται και από το είδος της τελικής επιφάνειας αλλά και από το αν η τόννευση είναι εξωτερική ή εσωτερική στο κομμάτι. Έτσι στο σχήμα 1.7, παρουσιάζονται διάφορα είδη εξωτερικής και εσωτερικής τόννευσης, για την κατεργασία κυλινδρικών, κωνικών επιφανειών, επιφανειών ειδικής μορφής και σπειρωμάτων. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζονται και οι κινήσεις που απαιτούνται κάθε φορά για την συγκεκριμένη κοπή.



Σχήμα 1.7 Είδη εσωτερικής και εξωτερικής τόννευσης

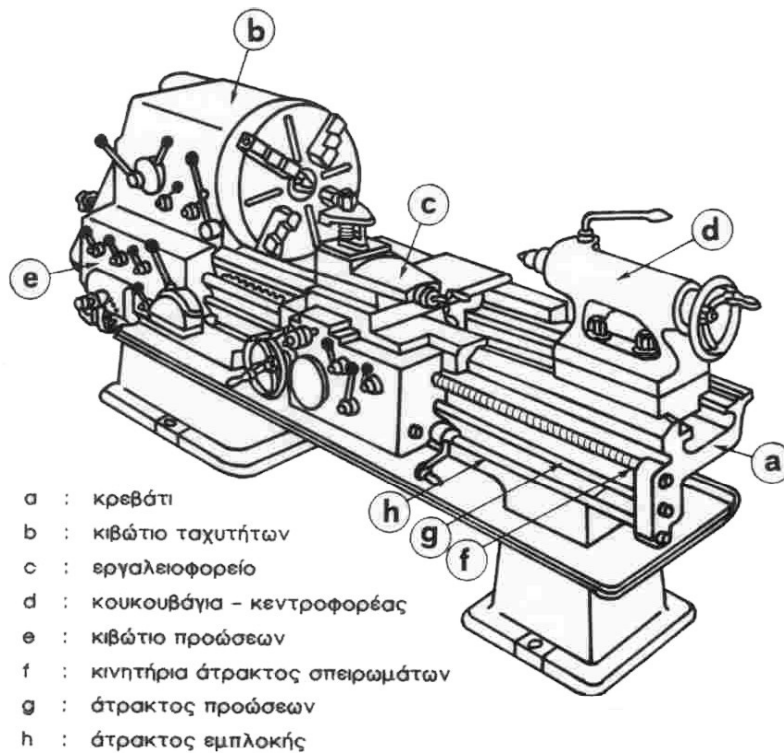
Οι τόννοι, όπως και οι περισσότερες εργαλειομηχανές, μπορεί να είναι απλά, συμβατικοί πράγμα που σημαίνει ότι καθοδηγούνται από τον χειριστή που κάνει όλες τις απαραίτητες κινήσεις και ρυθμίσεις για την κατεργασία. Μπορεί όμως να είναι τόννοι ψηφιακά καθοδηγούμενοι, όπου οι κινήσεις αλλά και οι ρυθμίσεις απαιτούν

πολύ μικρή συμμετοχή του παραδοσιακού χειριστή μια και τις αναλαμβάνει μια ηλεκτρονική μονάδα καθοδήγησης που την χειρίζεται προγραμματιστής.

Η τεχνολογία όμως της κοπής κατά βάση παραμένει η ίδια. Έτσι οι επιλεγόμενες ταχύτητες κοπής, οι προώσεις, τα κοπτικά εργαλεία κ.λπ, καθορίζονται και στις δύο περιπτώσεις αντίστοιχα. Η αυτοματοποίηση αυτή των κατεργασιών που γίνεται τις τελευταίες δεκαετίες δεν μπορεί σε καμία περίπτωση να καταργήσει την αναγκαιότητα γνώσης των υλικών, των καταλλήλων συνθηκών κοπής, της συμπεριφοράς της φθοράς των κοπτικών εργαλείων και γενικά αυτού που ονομάζεται τεχνολογία της κοπής. Οι τόννοι, παραδοσιακοί ή μη, διακρίνονται ανάλογα με την τοποθέτηση του σφικτήρα ή αντίστοιχα την τοποθέτηση του κοπτικού εργαλείου σε μετωπικούς και κάθετους τόννους.

1.6.1 Τόννος

Η εργαλειομηχανή που εξασφαλίζει με ακρίβεια τις κινήσεις του τεμαχίου και του εργαλείου για την τόννευση, λέγεται ο τόννος. Στο σχήμα 1.8 παρουσιάζεται σχηματικά ένας τόννος, όπου διακρίνονται και τα μέρη από τα οποία αποτελείται.



Σχήμα 1.8 Μέρη του τόννου

Ο τόννος αποτελεί μια από τις πιο παραγωγικές εργαλειομηχανές με το 40% περίπου των εργασιών κοπής των μετάλλων να γίνονται σε αυτόν. Οι σύγχρονοι

τόρνοι έχουν δυνατότητα παραγωγής καμπύλων εξαρτημάτων, με μεγάλο αριθμό ακρίβειας και μεγάλες ταχύτητες παραγωγής. Το μέγεθος του τóρνου προσδιορίζεται από δύο χαρακτηριστικά :

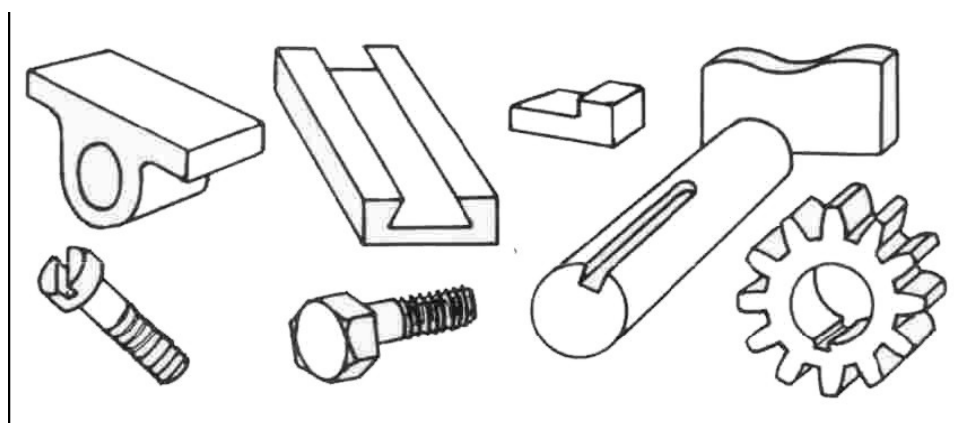
- τη μέγιστη διάμετρος τεμαχίου που μπορεί να δεθεί στους σφικτήρες και να περιστραφεί γύρω από τους οδηγούς,
- το μήκος κρεβατιού.

Το μήκος του κρεβατιού δεν αντιστοιχεί και στο μέγιστο μήκος τεμαχίου προς κατεργασία, καθώς αυτό καθορίζεται από την απόσταση των κέντρων του κιβώτιου ταχυτήτων και του κεντροφορέα. Εκτός των παραπάνω χαρακτηριστικών, σημαντικό ρόλο παίζουν και τα εξής :

- ο μικρότερος και ο μεγαλύτερος αριθμός στροφών που μπορεί να επιτευχθεί,
- το πλήθος των ταχυτήτων,
- η ισχύς του ηλεκτροκινητήρα και
- το συνολικό βάρος του

1.7 Φρεζάρισμα (milling)

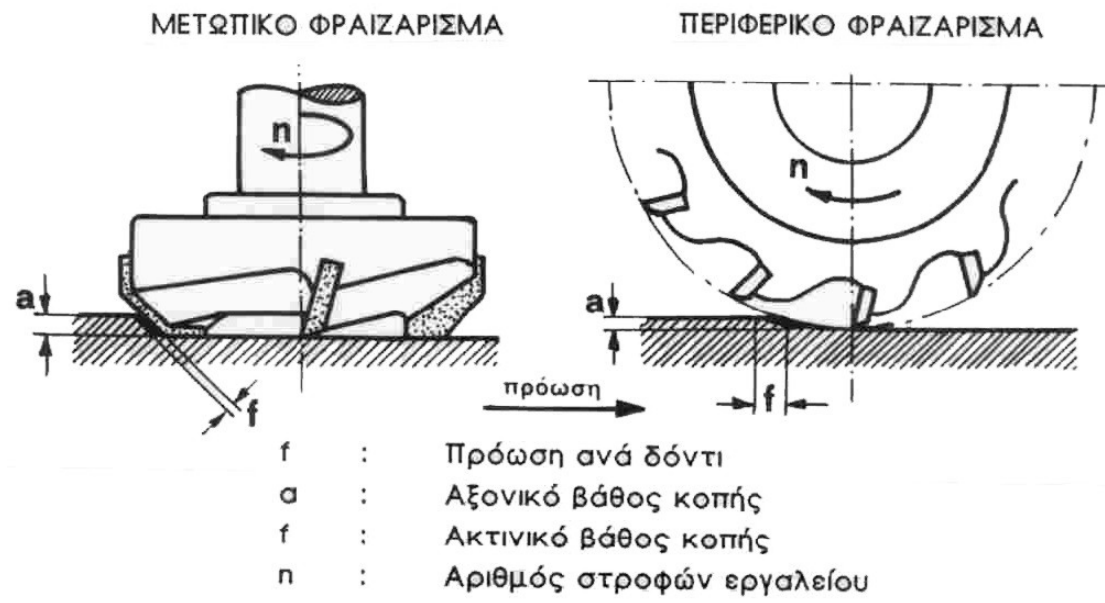
Με το φρεζάρισμα κατεργάζονται τεμάχια από διάφορα υλικά όπως χάλυβας, χυτοσίδηρος, συνθετικά υλικά κ.λπ, με επίπεδες ή καμπύλες επιφάνειες, με εσοχές ή αυλάκια αλλά ακόμα και οδοντωτοί τροχοί, όπως τα παραδείγματα στο σχήμα 1.9. Τα τεμάχια αυτά, εκχονδρίζονται ή φινιρίζονται (αποπερατώνονται), ενώ, όταν απαιτούνται πολύ καλές επιφάνειες, σαν τελική κατεργασία χρησιμοποιείται η λείανση.



Σχήμα 1.9 Τεμάχια κατεργασμένα με φρεζάρισμα

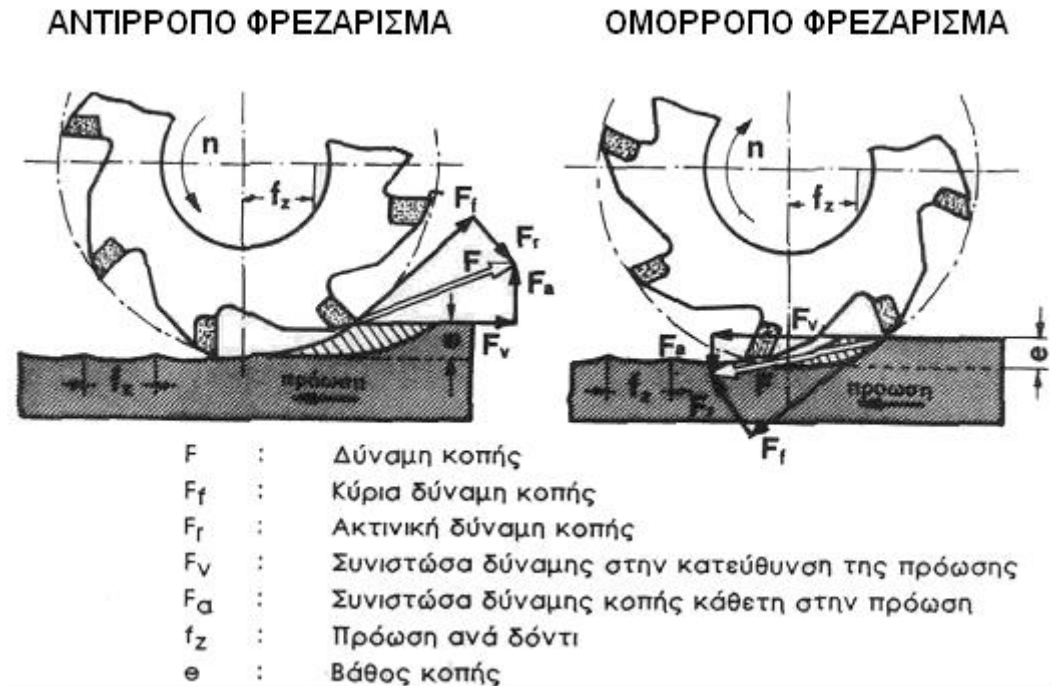
Στο φρεζάρισμα τα απόβλητα απομακρύνονται με ένα περιστρεφόμενο κοπτικό εργαλείο. Το εργαλείο αυτό διαθέτει πολλές κοπτικές ακμές διατεταγμένες σε κύκλο, ενώ για να μπορεί να εισέρχεται το εργαλείο στο κατεργαζόμενο κομμάτι, οι κοπτικές ακμές έχουν την μορφή σφήνας που έχει και το εργαλείο τόννευσης. Η περιστροφή του κοπτικού εργαλείου αποτελεί και την κύρια κίνηση κοπής. Για την συνέχιση της κοπής, το προς κατεργασία κομμάτι, που είναι "δεμένο" στο τραπέζι της εργαλειομηχανής, μετατοπίζεται με προκαθορισμένο ρυθμό που είναι η πρόωση. Κατά την διάρκεια της κοπής, τα κοπτικά δόντια μιας φρέζας (φρέζα ονομάζεται η εργαλειομηχανή, αλλά συχνά φρέζα καλείται και το κοπτικό εργαλείο φρεζαρίσματος), εισέρχονται και εξέρχονται το καθένα από το κομμάτι μέσα σε μια πλήρη περιστροφή του εργαλείου. Αυτό έχει σαν συνέπεια τα κοπτικά δόντια να μπορούν να παράγουν θερμότητα την χρονική περίοδο που δεν κόβουν και έτσι να μην καταπονούνται θερμικά, όπως το εργαλείο της τόννευσης το οποίο εκτελεί συνεχή κοπή. Η κοπή για αυτό τον λόγο στο φρεζάρισμα, λέγεται διακοπτόμενη.

Ανάλογα με την κατεύθυνση του άξονα του κοπτικού εργαλείου ως προς την κατεργαζόμενη επιφάνεια, το φρεζάρισμα διακρίνεται σε **περιφερικό** ή **μετωπικό** φρεζάρισμα. Στο περιφερικό φρεζάρισμα ο άξονας του εργαλείου είναι παράλληλος με την κατεργαζόμενη επιφάνεια και το κοπτικό εργαλείο έχει κυλινδρική μορφή. Τα απόβλητα κόβονται από το τεμάχιο με περιφερειακά διατεταγμένες κοπτικές ακμές και τα προκύπτοντα απόβλητα έχουν σφηνοειδές σχήμα. Αντίστοιχα στο μετωπικό φρεζάρισμα ο άξονας του εργαλείου είναι κάθετος με την προς κατεργασία επιφάνεια και το κοπτικό εργαλείο έχει, εκτός των περιφερειακών κοπτικών ακμών του και κοπτικές ακμές στο μπροστινό πρόσωπό του. Στο σχήμα 1.10 παρουσιάζονται τα δύο είδη φρεζαρίσματος και η κινηματική τους.



Σχήμα 1.10 Περιφερικό και μετωπικό φρεζάρισμα

Στο περιφερικό φρεζάρισμα, η μετακίνηση του τεμαχίου είναι συνήθως αντίθετη στην περιστροφή του εργαλείου αλλά μπορεί και να συμβαίνει το αντίθετο. Η επιλογή αυτή της κίνησης του τεμαχίου διακρίνει το φρεζάρισμα σε ομόρροπο και αντίρροπο. Στο σχήμα 1.11, παρουσιάζεται η κινηματική για τα δύο αυτά είδη φρεζαρίσματος. Από το σχήμα γίνεται φανερό πως στο αντίρροπο φρεζάρισμα, η κοπή ξεκινά από λεπτότερο απόβλητο και καταλήγει σε χοντρό απόβλητο, κάτι που δεν συμβαίνει στο ομόρροπο φρεζάρισμα. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα, στο ομόρροπο φρεζάρισμα το κοπτικό εργαλείο να δέχεται ισχυρές καταπονήσεις κατά την είσοδό του στο τεμάχιο και έτσι να αυξάνει ο κίνδυνος θραύσης του. Αντίστοιχα στο ομόρροπο φρεζάρισμα το κοπτικό εργαλείο, όπως προκύπτει από την κινηματική, "πιέζει" το τεμάχιο στο τραπέζι της εργαλειομηχανής και έτσι η κοπή είναι πιο σταθερή. Το γεγονός αυτό επιβεβαιώνεται και από την κατεύθυνση των δυνάμεων κοπής στα δύο είδη φρεζαρίσματος.



Σχήμα 1.11 Ομόρροπο και αντίρροπο φρεζάρισμα

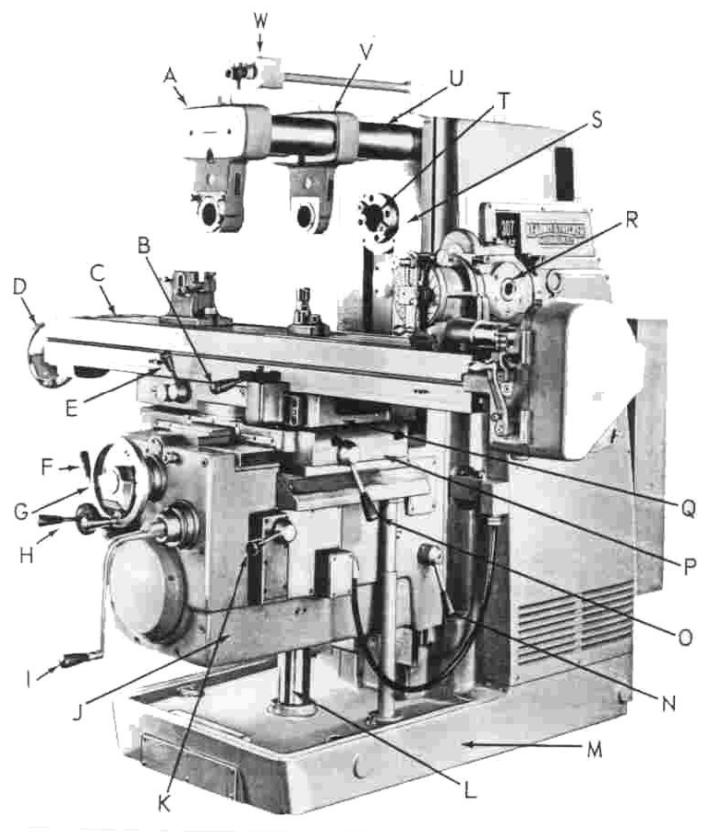
1.7.1 Φρεζομηχανή

Η διαμόρφωση διαφόρων μορφών και τεμαχίων στη φρέζα, απαιτεί και διάφορους τύπους εργαλειομηχανών για οικονομικότερη κατεργασία. Έτσι διακρίνονται οι εξής βασικοί τύποι :

- Οριζόντια φρεζομηχανή
- Κάθετη φρεζομηχανή
- Κέντρο κατεργασίας

Η οριζόντια φρέζα έχει χαρακτηριστικό ότι ο κύριος άξονας που μεταφέρει κίνηση στο εργαλείο είναι οριζόντιος. Μια τέτοια φρέζα παρουσιάζεται στο σχήμα 1.12. Χρησιμοποιείται για γενικές εργασίες σε αντίθεση με την κάθετη φρέζα η οποία χρησιμοποιείται περισσότερο για κατεργασίες αποπεράτωσης. Τέτοιες εργαλειομηχανές ψηφιακά καθοδηγούμενες χαρακτηρίζονται και ονομάζονται από το πλήθος των κατευθύνσεων οι οποίες μπορούν να καθοδηγηθούν από τον ηλεκτρονικό υπολογιστή και το πρόγραμμα καθοδήγησης. Έτσι μια εργαλειομηχανή η οποία μπορεί και κινεί το τραπέζι στο οριζόντιο επίπεδο, αλλά στην κατακόρυφο δεν

υπάρχει αυτόματη καθοδήγηση, είναι μια φρέζα **2 αξόνων**. Αν στην κατακόρυφο υπάρχει καθοδήγηση, αλλά όχι συγχρονισμένη με την καθοδήγηση του οριζοντίου επιπέδου, τότε καλείται **2 1/2 αξόνων**. Αντίστοιχα η ταυτόχρονη καθοδήγηση του τραπεζιού μιας φρέζας και στις τρεις κατευθύνσεις (δύο οριζόντιες και την κάθετη), την κατατάσσει στις φρέζες **3 αξόνων** ή τριαξονικές Τέλος, ανάλογα τις δυνατότητες περιστροφής του τραπεζιού ή της προβοσκίδας με το εργαλείο, μπορεί μια φρέζα να είναι **4,5 ή 6 αξόνων**. Φυσικά όσο οι άξονες αυξάνονται, τόσο η φρέζα παρέχει μεγαλύτερες δυνατότητες και το κόστος της είναι μεγαλύτερο.



Σχήμα 1.12 Μέρη φρεζομηχανής

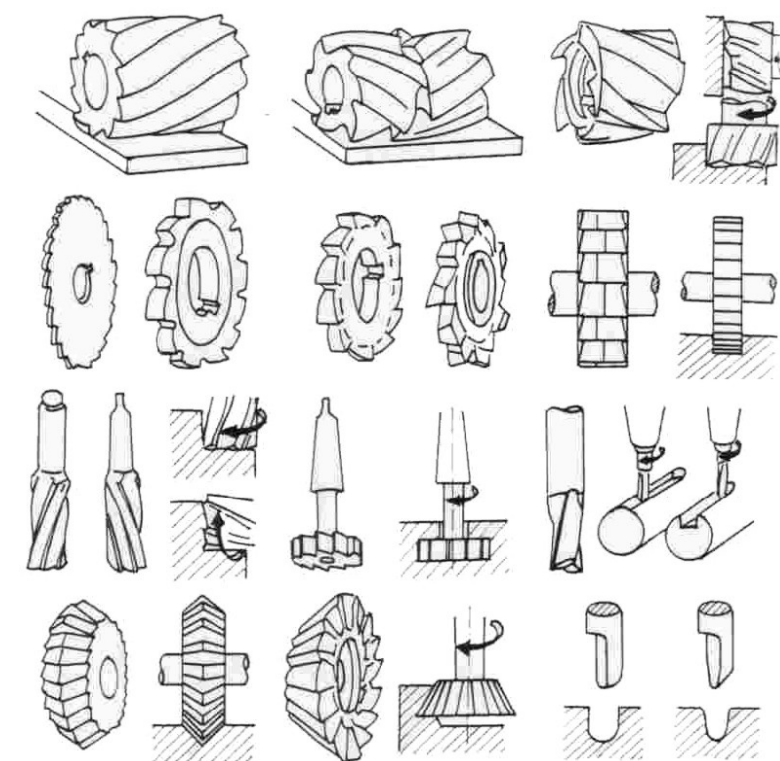
1.7.2 Κοπτικά εργαλεία(cutting tools)

Για τα διάφορα είδη φρεζαρίσματος, χρησιμοποιούνται διαφορετικών μορφών κοπτικά εργαλεία. Στο σχήμα 1.13, παρουσιάζονται διάφορα κοπτικά εργαλεία φρεζαρίσματος. Συνήθως τα εργαλεία αυτά κατασκευάζονται από ταχυχάλυβα επειδή επιτρέπει την χρησιμοποίηση υψηλότερων ταχυτήτων κοπής από τους κοινούς χάλυβες εργαλείων. Πολύ συχνά χρησιμοποιούνται και πλακίδια σκληρομετάλλων (ιδίως στο μετωπικό φρεζάρισμα). Γενικά οι συνήθεις μορφές κοπτήρων είναι :

- κυλινδρικοί,

- δισκοειδείς,
- πριονοειδείς,
- κοπτήρες μορφής,
- κοχλιωτοί,
- κονδύλια

Ανάλογα το αριθμό των κοπτικών πλευρών οι κοπτήρες χαρακτηρίζονται **μιας κόψης, δίκοποι ή τρίκοποι**, ενώ ανάλογα την κατεργασία που προορίζονται διακρίνονται σε **ελαφρού ή βαρέως τύπου**. Υπάρχουν πολλά είδη κοπτήρων διαφόρων ειδικών μορφών, στα σχήματα που ακολουθούν παρουσιάζονται οι συνήθεις από αυτούς.

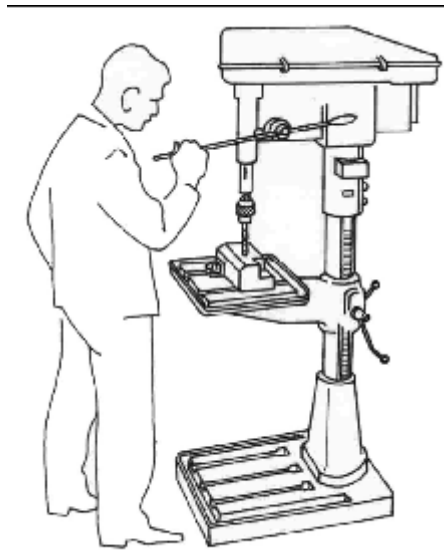


Σχήμα1.13 Κοπτικά εργαλεία φρεζαρίσματος

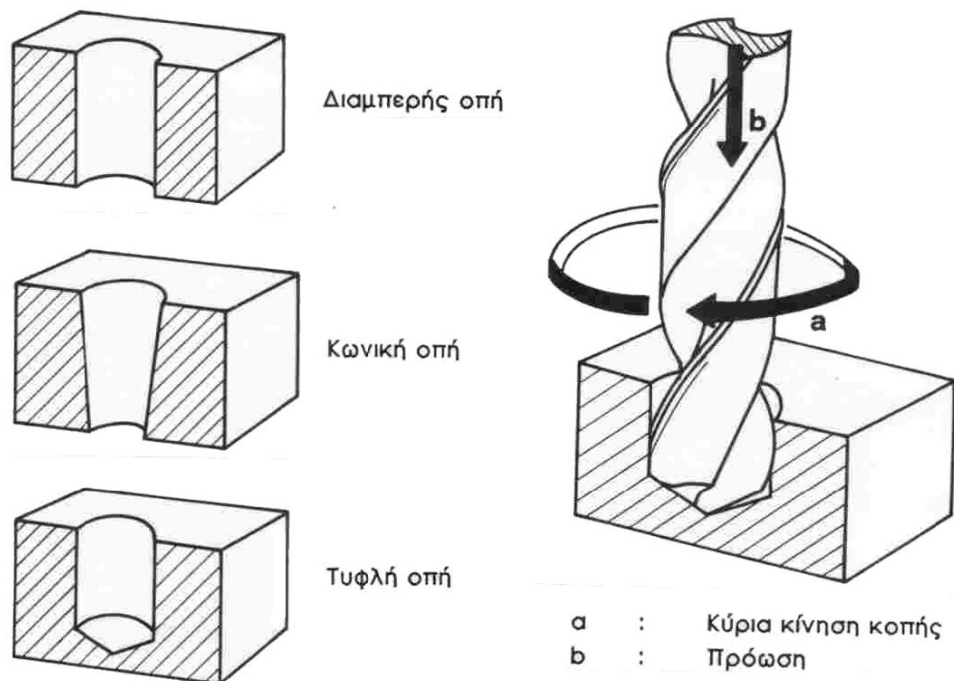
1.8 Διάτρηση (Drilling)

Τα περισσότερα από τα μηχανολογικά εξαρτήματα διαθέτουν τρύπες διαφόρων μορφών και μεγεθών. Τις περισσότερες φορές οι τρύπες επιτυγχάνονται με διάτρηση. Στο σχήμα 1.14 παρουσιάζεται ένα τρυπάνι στήλης με τον χειριστή του. Η διάτρηση σαν κατεργασία χρησιμοποιείται για δημιουργία τρυπών σε αντικείμενα

μεταλλικά ή μη μεταλλικά. Οι τρύπες μπορεί να έχουν διάφορες μορφές, όπως φαίνεται στο σχήμα 1.15. Στο ίδιο σχήμα παρουσιάζεται η βασική διαδικασία της διάτρησης. Το κοπτικό εργαλείο που χρησιμοποιείται για την διάτρηση έχει δύο κοπτικές ακμές ενώ για την εξέλιξη της διάτρησης απαιτείται το κοπτικό αυτό εργαλείο να κάνει ταυτόχρονα δύο κινήσεις. Η κύρια κίνηση κοπής είναι η περιστροφή του τρυπανιού, ενώ σε ειδικές περιπτώσεις όπως το boring, υπάρχει δυνατότητα να περιστρέφεται το κατεργαζόμενο τεμάχιο. Η ταχύτητα κοπής, που εξαρτάται από τον αριθμό στροφών του εργαλείου, εκφράζεται σε [m/min] και λαμβάνει την μεγαλύτερη τιμή της στην περιφέρεια του τρυπανιού, ενώ μειώνεται προς το κέντρο του. Η δεύτερη κίνηση για την διάτρηση είναι η ευθεία μετακίνηση του τρυπανιού προς το κομμάτι. Η κίνηση αυτή ελέγχει το πάχος του παραγόμενου αποβλήτου άρα και τις αντίστοιχες αναπτυσσόμενες δυνάμεις κοπής. Όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα μετακίνησης τόσο μεγαλύτερο είναι και το πάχος του αποβλήτου και αντίστοιχα μεγαλύτερες οι δυνάμεις κοπής. Η ταχύτητα της πρόωσης εκφράζεται σε [mm/rev].



Σχήμα 1.14 Διάτρηση με δρόπανο στήλης



Σχήμα 1.15 Κινηματική της διάτρησης και είδη οπών

1.8.1 Το δρέπανο

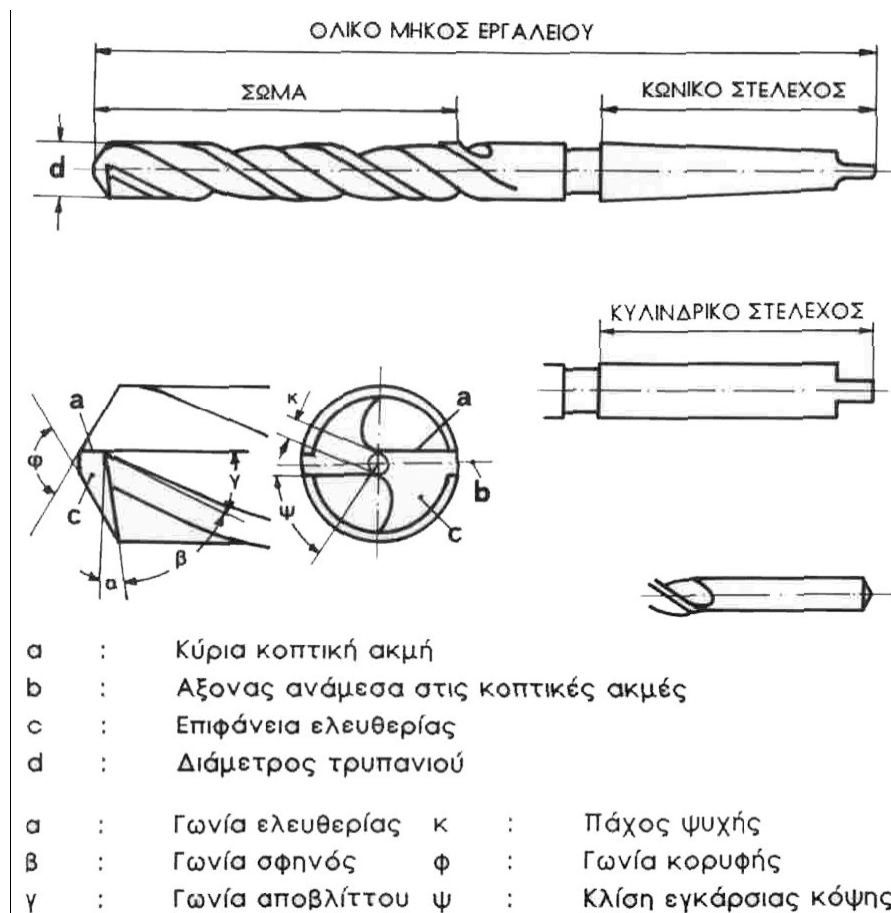
Η εργαλειομηχανή που δίνει την δυνατότητα μετακίνησης και περιστροφής του τρυπανιού και που χρησιμοποιείται για την διάτρηση είναι το **δρέπανο**. Ανάλογα με διάφορα κριτήρια τα δρέπανα διακρίνονται στις παρακάτω κατηγορίες :

ως προς το μέγεθος ή το βάρος :	ελαφρά μέσου μεγέθους βαρέως τύπου
ως προς τη θέση της κυρίας ατράκτου :	κατακόρυφα στήλης οριζόντια
ως προς τον αριθμό των ατράκτων :	μονοάτρακτα πολυάτρακτα
ως προς τον τρόπο κίνησης της ατράκτου :	χειροκίνητα μηχανοκίνητα πεπιεσμένου αέρα
ως προς την ακρίβεια κατεργασίας :	κοινά ακριβείας μεγάλης ακριβείας

1.8.2 Το τρυπάνι

Στο σχήμα 1.16 παρουσιάζεται η γεωμετρία ενός τρυπανιού. Το τρυπάνι χαρακτηρίζεται ως ελικοειδές λόγω των ελικοειδών αυλακιών που φέρει στο ωφέλιμο μήκος του. Τα ελικοειδή αυλάκια εξυπηρετούν τους παρακάτω κυρίως σκοπούς :

- δημιουργούν τις απαραίτητες κοπτικές ακμές,
- οδηγούν τα απόβλητα από την θέση διάτρησης προς τα έξω,
- δίνουν την δυνατότητα στο υγρό κοπής να φτάνει στην θέση κοπής.



Σχήμα 1.16 Γεωμετρία ελικοειδούς τρυπανιού

Το υλικό από το οποίο κατασκευάζονται συνήθως τα τρυπάνια είναι ο ταχυχάλυβας ή σπάνια ο ανθρακούχος χάλυβας και τα σκληρομέταλλα. Για την επιλογή του κατάλληλου για κάθε εργασία εργαλείου πρέπει να λαμβάνονται υπόψη αρκετοί παράγοντες που επηρεάζουν με διαφορετικούς τρόπους αυτή την επιλογή.

Έτσι το μέγεθος της οπής που θα δημιουργηθεί καθορίζει την διάμετρο του τρυπανιού που θα χρησιμοποιηθεί. Η γωνία ελικώσεως και η γωνία σφηνός

εξαρτώνται από το υλικό του τεμαχίου προς κατεργασία. Όσο πιο σκληρό είναι το κατεργαζόμενο υλικό τόσο μικρότερη πρέπει να είναι η γωνία ελικώσεως ενώ η γωνία σφηνός πρέπει να είναι μεγαλύτερη.

Η φθορά που αναπτύσσεται στα τρυπάνια επηρεάζει την κοπτική ικανότητά τους και μπορεί να γίνει αντιληπτή από το στρογγύλεμα που δημιουργείται στις εξωτερικές γωνίες των κύριων κοπτικών ακμών στην μύτη του εργαλείου. Αν το κοπτικό εργαλείο συνεχίσει να κόβει, ιδιαίτερα σε διάτρηση τυφλής οπής, θερμαίνεται σημαντικά λόγω της μεγαλύτερης τριβής με τελικό αποτέλεσμα την θραύση του. Για την αποφυγή του παραπάνω προβλήματος, το κοπτικό εργαλείο πρέπει να τροχίζεται την κατάλληλη στιγμή. Το τρόχισμα του τρυπανιού μπορεί να γίνεται με το χέρι, αλλά για την αποφυγή λαθών, ιδιαίτερα στις κοπτικές γωνίες, προτιμάται να γίνεται με την βοήθεια ειδικής συσκευής, ενώ η χρήση ψυκτικού υγρού κατά το τρόχισμα είναι απαραίτητη για την αποφυγή της υπερθέρμανσης των κοπτικών ακμών.

1.9 Συγκόλληση

1.9.1 Γενικά για την συγκόλληση

Μια μηχανή ηλεκτροσυγκόλλησης λειτουργεί με την ακόλουθη αρχή: Λαμβάνει από το δίκτυο της Δ.Ε.Η. μια παροχή εναλλασσομένου ρεύματος με τάση λειτουργίας 230V ή 400V και μέσα από ηλεκτρικές διατάξεις παρέχει εναλλασσόμενο ή συνεχές ρεύμα συγκόλλησης χαμηλής τάσης 15V-45V και υψηλής έντασης, που χαρακτηρίζεται ως συνεχές ρεύμα συγκόλλησης.

Οι στατές μηχανές έχουν διάταξη μετασχηματιστή, εάν πρόκειται για εναλλασσόμενο ρεύμα συγκόλλησης ή σύστημα μετασχηματιστή-ανορθωτή προκειμένου για συνεχές ρεύμα συγκόλλησης. Αντίθετα, οι περιστροφικές μηχανές χρησιμοποιούν σύστημα ηλεκτρικού κινητήρα γεννήτριας.

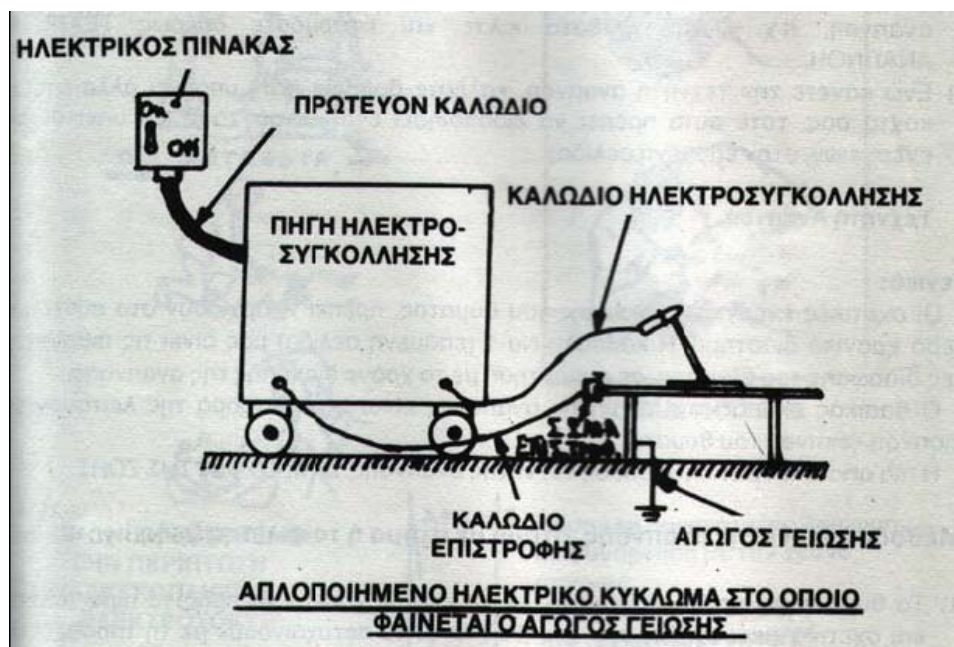
Όταν η μηχανή είναι συνδεδεμένη στο δίκτυο αλλά δεν συγκολλά, τότε στην έξοδό της, δηλαδή μεταξύ της τσιμπίδας του ηλεκτροδίου και της γείωσης, έχουμε μια τάση που καλούμε «τάση εν κενώ» ή ακόμα «τάση ανοιχτού κυκλώματος» που μπορεί να κυμανθεί από 50V έως 100V ανάλογα με το είδος της μηχανής και το ρεύμα συγκόλλησης που παρέχει.

Οι επιτρεπόμενες «τάσεις εν κενώ» είναι:

- 1) Ημιαυτόματες μηχανές συγκόλλησης
 - Εναλλασσόμενο ρεύμα 80V
 - Συνεχές ρεύμα 80V-100V (ανάλογα με την διακύμανση)
- 2) Αυτόματες μηχανές συγκόλλησης
 - Εναλλασσόμενο ρεύμα 100V
 - Συνεχές ρεύμα 100V

Η σχετικά υψηλή αυτή τάση είναι αναγκαία για τη δημιουργία ιονισμού (δηλ. την μετατροπή του αέρα από κακό αγωγό του ηλεκτρισμού σε αγωγίμο μέσο για την κυκλοφορία ηλεκτρικού ρεύματος) στον μεταξύ του ηλεκτροδίου και του προς συγκόλληση σώματος αέρα και στη συνέχεια την τήξη του ηλεκτροδίου, ώστε να αρχίσει το τόξο να λειτουργεί.

Οι μηχανές των ηλεκτροσυγκολλήσεων περιλαμβάνουν δύο ηλεκτρικά κυκλώματα: το πρωτεύον ή εισόδου και το δευτερεύον ή εξόδου. Το πρωτεύον βρίσκεται στην τάση του δικτύου διανομής, κάθε επαφή με το οποίο προκαλεί κίνδυνο ηλεκτροπληξίας. Το ίδιο θα συμβεί και στην περίπτωση επαφής με μη γειωμένο μεταλλικό μέρος της μηχανής που βρέθηκε σε τυχαία επαφή με το πρωτεύον.



Σχήμα 1.17

1.9.2 Είδη ηλεκτροσυγκόλλησης

1.9.2.1 Χειροκίνητο Μεταλλικό τόξο (Manual Metal Arc)

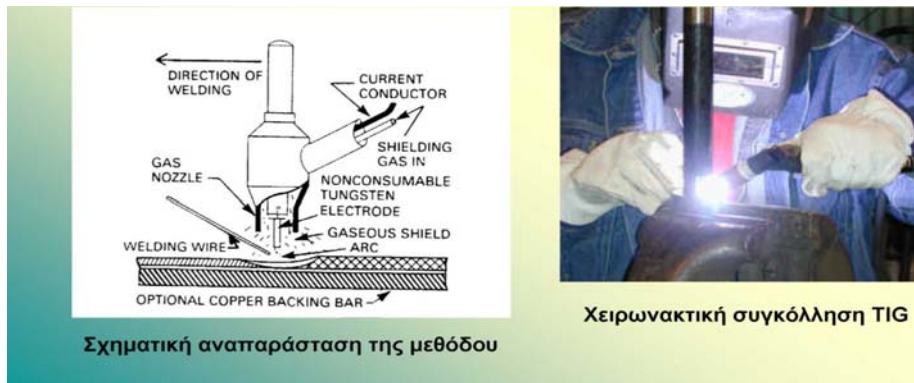
Είναι το είδος της συγκόλλησης που απαντάται στις πιο συνηθισμένες των περιπτώσεων. Η πηγή θερμότητας είναι ένα ηλεκτρικό τόξο μεταξύ ενός αναλώσιμου ηλεκτροδίου και της επιφάνειας εργασίας. Η θερμοκρασία του τόξου λιώνει το ηλεκτρόδιο και το μέταλλο της επιφάνειας εργασίας δημιουργώντας την επιφάνεια συγκόλλησης. Το κάλυμμα, που συνήθως περιβάλλει το υλικό κόλλησης του ηλεκτροδίου δημιουργεί ένα διαλυόμενο προστατευτικό στρώμα αερίων βελτιώνοντας την επιτυχία της συγκόλλησης. Τα χαρακτηριστικά αυτού του τύπου των συγκολλήσεων είναι τα ακόλουθα:

- ❖ Η επιφάνεια στρώσης είναι μικρή και για παχιά στρώματα επιφάνειας απαιτούνται επαναλαμβανόμενες συγκολλήσεις.
- ❖ Μη ικανοποιητική συγκόλληση (ύπαρξη πόρων).
- ❖ Ύπαρξη σκουπιδιών στην κόλληση.
- ❖ Ανεπαρκής έκχυση του συγκολλητικού υλικού.

➤ **Μέθοδος T.I.G. (Tungsten Inert Gas)**

Πρόκειται για μια αυτογενή διαδικασία συγκόλλησης, η οποία δεν απαιτεί καλώδιο γεμίματος, παρότι σε ορισμένες περιπτώσεις μπορεί να χρησιμοποιηθεί. Η πηγή θερμότητας είναι ένα ηλεκτρικό τόξο μεταξύ ενός αναλώσιμου ηλεκτροδίου από βολφράμιο και της επιφάνειας εργασίας. Το ρεύμα που χρησιμοποιούμε σε αυτού του τύπου τις συγκολλήσεις είναι συνεχές. Η θερμοκρασία του τόξου λιώνει το ηλεκτρόδιο και το μέταλλο της επιφάνειας εργασίας, ενώ η συγκόλληση προστατεύεται από ένα αέριο μίγμα από αργό και ήλιο. Τα χαρακτηριστικά αυτού του τύπου της συγκόλλησης είναι τα ακόλουθα:

- ❖ Χρήση κυρίως για συγκολλήσεις επιφανειών μονής πρόσβασης (π.χ. σωλήνες).
- ❖ Καλό για επιφάνειες όπου απαιτείται ποιοτικό φινίρισμα.
- ❖ Απαιτείται αργόν για συγκολλήσεις ανοξείδωτων μετάλλων.



Σχήμα 1.18

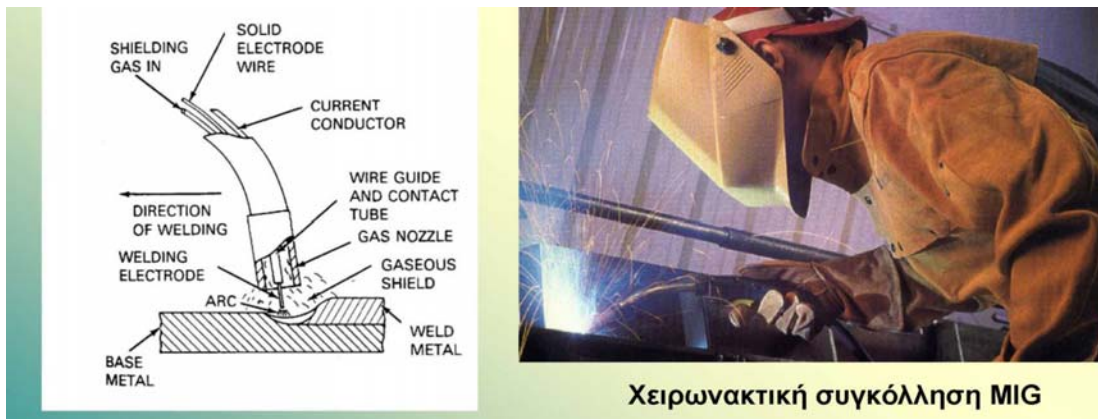
➤ Μέθοδος M.I.G (Metal Inert Gas)

Είναι μια ημιαυτόματη διαδικασία συγκόλλησης, όπου μόνο η ταχύτητα της συγκόλλησης ελέγχεται από το χειριστή. Το τόξο σχηματίζεται μεταξύ της επιφάνειας συγκόλλησης και ενός γυμνού συρμάτινου ηλεκτροδίου. Η τροφοδοσία του σύρματος είναι αυτόματη και ο χειριστής ασχολείται μόνο με την διαδικασία συγκόλλησης των επιφανειών.

Το αναλώσιμο συρμάτινο ηλεκτρόδιο προστατεύεται από αδρανές αέριο, συνήθως μίγμα από Ar/ CO₂ / O₂. Καθαρό CO₂ χρησιμοποιείται σε περιπτώσεις συγκόλλησης σιδηρούχων επιφανειών. Το σύρμα τροφοδοτείται σταθερά για να ελέγχεται το ρεύμα, ενώ το μήκος του τόξου ελέγχεται από την πηγή τροφοδοσίας. Το σύρμα πρέπει να είναι αποξειδωμένο. Τυπικά σφάλματα κατά τις συγκολλήσεις τύπου MIG είναι:

- ❖ Η υπερβολική διασπορά
- ❖ Πορώδης κόλληση
- ❖ Αυτοσυγκόλληση
- ❖ Ραγίσματα

Στην επόμενη σελίδα (σχήμα 1.19) παρουσιάζεται η χειρωνακτική συγκόλληση με την μέθοδο M.I.G.



Χειρωνακτική συγκόλληση MIG

Σχήμα 1.19

1.9.2.2 Συγκόλληση πλάσματος

Για την παραγωγή του πλάσματος χρησιμοποιείται η αρχή του ηλεκτρικού τόξου. Το ηλεκτρικό τόξο δημιουργείται μεταξύ των δύο ηλεκτροδίων (+,-) τα οποία ψύχονται εσωτερικά με νερό. Στο χώρο μεταξύ αυτών των ηλεκτροδίων διοχετεύεται η κύρια παροχή αερίου συνήθως αργού ή αζώτου. Με τον τρόπο αυτό δημιουργείται μία δέσμη αερίου υψηλής θερμοκρασίας σε κατάσταση ιονισμού.

Το ηλεκτρόδιο περιβάλλεται από ένα κέλυφος ηλεκτρικά μονωμένο. Στο χώρο μεταξύ των δύο διοχετεύεται η δευτερεύουσα παροχή αερίου, η οποία συμπαρασύρει και το μέταλλο της κόλλησης σε μορφή σκόνης.

Το μέταλλο αυτό ερχόμενο σε επαφή με την κύρια δέσμη του ιονισμένου αερίου τήκεται, ιονίζεται και εκτοξεύεται με μεγάλη ταχύτητα από το ακροφύσιο. Για την συγκράτηση της δέσμης του πλάσματος χρησιμοποιείται το κέλυφος, στο οποίο διοχετεύεται αέριο προστασίας. Το πλάσμα μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά δύο κυρίως τρόπους:

- Για την κοπή και συγκόλληση υλικών.
- Για την επιμετάλλωση υλικών.

1.9.2.3 Συγκόλληση δέσμης ηλεκτρονίων

Στη μέθοδο αυτή, η θερμότητα προέρχεται από τη μετατροπή σε θερμότητα της κινητικής ενέργειας δέσμης ηλεκτρονίων. Η δέσμη ηλεκτρονίων παράγεται από την υψηλή διαφορά δυναμικού μεταξύ μιας θερμαινόμενης καθόδου και του προς

συγκόλληση αντικειμένου. Η διάταξη δημιουργεί ιδανικές συνθήκες συγκόλλησης για μέταλλα όπως το βολφράμιο , το βηρύλλιο, το τιτάνιο, το μολυβδαίνιο κ.α. τα οποία είναι πολύ δύσκολο να συγκολληθούν με άλλες μεθόδους.

Πάντως, η απαιτούμενη εγκατάσταση είναι πολύπλοκη και η διαδικασία συγκόλλησης δαπανηρή ώστε να δικαιολογείται η χρησιμοποίηση της δέσμης ηλεκτρονίων για την συγκόλληση αντικειμένων που δεν είναι πραγματοποιήσιμη με άλλη μέθοδο. Οι χρησιμοποιούμενες τάσεις είναι της τάξης των 15.000-150.000 V.

1.10 Αρχές Υγιεινής και Ασφάλειας

1.10.1 Εισαγωγή

Η Ασφάλεια Εργασίας περιλαμβάνει όλες εκείνες τις δραστηριότητες που οδηγούν στη απουσία επικίνδυνων καταστάσεων για τη σωματική ακεραιότητα και υγεία κάθε εργαζομένου. Η ασφάλεια εργασίας πρέπει να έχει πρωταρχικό ρόλο σε κάθε δραστηριότητα που αναπτύσσει ο άνθρωπος, είτε ως επαγγελματίας είτε ως ερασιτέχνης.

Η προφύλαξη του εργαζομένου από τους επαγγελματικούς κινδύνους περιλαμβάνει την αποφυγή :

- του εργασιακού ατυχήματος,
- της εμφάνισης επαγγελματικών ασθενειών και
- της πρόωρης φθοράς του ανθρώπινου οργανισμού.

Είναι αντιληπτό ότι σε όλες τις δραστηριότητες του ανθρώπου υπάρχει ο κίνδυνος ατυχήματος. Ιδιαίτερα, η εργασία συνυπάρχει με τον επαγγελματικό κίνδυνο. Ο ρόλος της ασφάλειας σε αυτή την περίπτωση είναι να καταγράψει τους κινδύνους και να εξασφαλίσει την πρόληψη των εργασιακών ατυχημάτων. Το εργασιακό ατύχημα είναι ένα ξαφνικό γεγονός που εμφανίζεται κατά τη διάρκεια της εργασίας ως αποτέλεσμα της. Το εργασιακό ατύχημα μπορεί να γίνει είτε εντός των στενών ορίων πραγματοποίησης της εργασίας (π.χ. ένας συγκολλητής να καεί από τη φλόγα οξυγονοασετυλίνης) είτε και εκτός των στενών ορίων πραγματοποίησης της εργασίας (π.χ. τραυματισμός διερχόμενου από εργοτάξιο).

Η πρόληψη αυτών των ατυχημάτων συνίσταται στη λήψη μέτρων, ώστε να μειώνεται η πιθανότητα εκδήλωσής τους. Το εργασιακό ατύχημα μπορεί να επιφέρει

πόνο, πιθανές μόνιμες σωματικές βλάβες, ψυχική φθορά, απώλεια αμοιβών κ.λπ., αν βέβαια δεν οδηγήσει σε απώλεια ζωής. Εκτός των παραπάνω, το εργασιακό ατύχημα έχει επιπτώσεις και στην επιχείρηση. Τέτοιες επιπτώσεις μπορούν να είναι : το οικονομικό κόστος λόγω αποζημιώσεων, η απώλεια εμπιστοσύνης από τους εργαζομένους, η καταστροφή του εξοπλισμού, διοικητικές κυρώσεις κ.λπ. Οι συνήθεις αιτίες για τις οποίες συμβαίνουν τα εργασιακά ατυχήματα αφορούν τόσο τον ανθρώπινο παράγοντα, όσο και τις συνθήκες του εργασιακού περιβάλλοντος. Στατιστικές μελέτες, έδειξαν πως το 85% περίπου των εργασιακών ατυχημάτων οφείλονται στον ανθρώπινο παράγοντα. Αυτό σημαίνει ότι τα περισσότερα ή σχεδόν όλα από αυτά τα ατυχήματα θα μπορούσαν να μην είχαν γίνει ποτέ.

Οι πράξεις των εργαζομένων που συνήθως γίνονται αιτίες για ένα εργασιακό ατύχημα οφείλονται κυρίως σε :

- απειρία,
- βιασύνη, αφηρημάδα, αμέλεια,
- κακή υγεία,
- άγνοια του κινδύνου, υπερβολική αυτοπεποίθηση.

Οι εργασιακές συνθήκες αντίστοιχα που μπορούν να οδηγήσουν σε εργασιακό ατύχημα μπορούν να είναι :

- ανθυγιεινός χώρος (κακός φωτισμός, κακός αερισμός, έλλειψη θέρμανσης κ.λπ.),
- ελαττωματικές εγκαταστάσεις,
- ελαττωματικά ή φθαρμένα εργαλεία,
- έλλειψη τάξης.

Τέλος, μία κατηγορία εργασιακών ατυχημάτων μπορεί να οφείλεται σε απρόβλεπτα αίτια που προέρχονται κυρίως από φυσικές καταστροφές.

1.11 Κανόνες Ασφαλείας

Η πρόληψη των εργασιακών ατυχημάτων απαιτεί την πειθαρχία των εργαζομένων σε ειδικούς κανόνες, που σχετίζονται με το συγκεκριμένο χώρο της εργασίας τους, αλλά και με την ίδια την εργασία που πραγματοποιούν. Έτσι, οι συνθήκες ασφαλείας διαφοροποιούνται, για παράδειγμα, ανάμεσα σε ένα χυτήριο ή ένα μηχανουργείο, αλλά υπάρχουν και γενικοί κανόνες που ισχύουν σε όλες τις περιπτώσεις. Τέτοιοι γενικοί κανόνες συνοψίζονται παρακάτω :

- Πρέπει να υπάρχει καθαριότητα και τάξη στην εργασία.
- Πρέπει να χρησιμοποιούνται τα ατομικά μέσα προστασίας ανά περίπτωση.
- Πρέπει να χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα εργαλεία κατά περίπτωση εργασίας.
- Πρέπει να αποφεύγεται η χρήση μηχανημάτων ή εξοπλισμού χωρίς γνώση και εμπειρία.
- Πρέπει να τηρούνται πιστά οι οδηγίες στις σημάνσεις των χώρων εργασίας.
- Πρέπει να αποφεύγονται ενέργειες που εγκυμονούν κινδύνους (αστεία, χειρονομίες κ.λπ.).

1.11.1 Κανόνες ασφαλείας σε διαμορφώσεις μετάλλων

Τα ατυχήματα σε μηχανουργεία που πραγματοποιούν εργασίες διαμόρφωσης σχετίζονται κυρίως με τα ατυχήματα που πραγματοποιούνται σε πρέσες. Τα ατυχήματα αυτά είναι τις περισσότερες φορές πολύ σοβαρά και έχουν ως αποτέλεσμα μόνιμες σωματικές βλάβες και ακρωτηριασμούς.

Στις εργασίες με πρέσες πρέπει να λαμβάνονται τα παρακάτω μέτρα ασφαλείας :

- Να τοποθετούνται τα ειδικά προστατευτικά (προφυλακτήρες), που εμποδίζουν τα χέρια του εργαζομένου να πλησιάσουν την περιοχή εργασίας της πρέσας.
- Να τοποθετούνται ειδικές ηλεκτρονικές διατάξεις (φωτοηλεκτρικά κύτταρα), που σταματούν ή εμποδίζουν την κίνηση του εμβόλου της πρέσας, όταν ένα αντικείμενο παρεμβληθεί στο χώρο εργασίας της.
- Να καλύπτονται τα τυχόν κινούμενα μέρη της πρέσας.
- Να χρησιμοποιούνται λαβίδες για την τοποθέτηση των προς κατεργασία τεμαχίων, όπου αυτό είναι δυνατόν, ώστε τα χέρια του χειριστή να είναι μακριά από τη θέση εργασίας.

Στις εργασίες σε στράντζες, κορδονιέρες και γενικά στα μηχανήματα κάμψης ελασμάτων, πρέπει να λαμβάνονται αντίστοιχα μέτρα ασφαλείας με αυτά των πρεσών. Και σε αυτή την περίπτωση τα χέρια του χειριστή, που τοποθετεί τα ελάσματα, πρέπει να προφυλάσσονται από τη θέση κάμψης με κατάλληλους προφυλακτήρες και ταυτόχρονα να είναι ντυμένα με γάντια για την αποφυγή τραυματισμών από τις λαμαρίνες ή τα γρέζια.

Σε εργασίες διαμόρφωσης εν θερμώ ή σε χυτήρια, οι κίνδυνοι αυξάνονται λόγω της μεγάλης θερμότητας που αναπτύσσεται στα προς κατεργασία τεμάχια. Ειδικοί κανόνες ασφαλείας ισχύουν για την προστασία από τα εγκαύματα. Τα θερμά τεμάχια πρέπει να τοποθετούνται σε ειδικούς χώρους και να μεταφέρονται με μεγάλη προσοχή. Ο χώρος όπου θερμαίνονται αντικείμενα για εν θερμώ διαμόρφωση ή λιώνονται υλικά για χύτευση, θα πρέπει να αερίζεται καλά, ώστε να απομακρύνονται τυχόν καπνοί και αέρια. Η ένδυση των εργαζομένων θα πρέπει να περιλαμβάνει ειδικά παπούτσια ασφαλείας για αποφυγή τραυματισμών από πτώσεις αντικειμένων, καθώς και δερμάτινη ποδιά για αποφυγή εγκαυμάτων από εκτοξευόμενα κομμάτια των τεμαχίων (σκουριές, κ.λπ.).

1.11.2 Κανόνες ασφαλείας σε συγκολλήσεις

Ανάλογα με τις εργασίες συγκόλλησης που πραγματοποιούνται, ένας συγκολλητής κινδυνεύει να πάθει εργασιακό ατύχημα κυρίως από :

- Τα αέρια της συγκόλλησης και τη φλόγα για την περίπτωση της οξυγονοκόλλησης.
- Το ηλεκτρικό ρεύμα για την περίπτωση της ηλεκτροκόλλησης.
- Τις ακτινοβολίες που προσβάλλουν τον αμφιβληστροειδή του ματιού και που προέρχονται από τα ηλεκτρικά κυρίως τόξα.

Ειδικά για την περίπτωση συγκόλλησης με φλόγα οξυγονοασετυλίνης πρέπει να λαμβάνονται τα παρακάτω μέτρα :

- Ασφαλής μεταφορά των φιαλών οξυγόνου και ασετυλίνης και τοποθέτησή τους μακριά από πηγές θερμότητας.
- Έλεγχος διαρροών των αερίων, πάντα με σαπουνάδα και ποτέ με φλόγα. Σε περίπτωση διαρροής, που για την ασετυλίνη γίνεται αντιληπτή από την μυρωδιά, πρέπει αμέσως να αερισθεί ο χώρος, μια και η ασετυλίνη με τον ατμοσφαιρικό αέρα δημιουργεί σε ποσοστό 2,3 %, εκρηκτικό μείγμα.
- Έλεγχος με το τέλος κάθε εργασίας αν η παροχή των αερίων είναι κλειστή.
- Συντήρηση και καθαρισμός των μανοεκτονωτών.
- Διατήρηση των σωλήνων των αερίων σε καλή κατάσταση, αντικατάσταση των φθαρμένων και χρησιμοποίηση των ειδικών γι' αυτό το σκοπό σωλήνων με τον κατάλληλο χρωματισμό αναγνώρισης.

- Διατήρηση των μπεκ σε καλή κατάσταση και σωστή χρήση τους για κάθε περίπτωση συγκόλλησης.
- Σωστή ένδυση του οξυγονοκολλητή, που θα αποτελείται από τα σκούρα γυαλιά ασφαλείας, γάντια, δερμάτινη ποδιά, παπούτσια ασφαλείας και κάλυμμα για το κεφάλι.
- Στην ακραία περίπτωση της φλογοεπιστροφής, πρέπει να κλεισθεί αμέσως ή βαλβίδα της ασετυλίνης και μετά η βαλβίδα του οξυγόνου.

Στις εργασίες ηλεκτροκόλλησης πρέπει πρώτα να αποφεύγονται οι κίνδυνοι που προέρχονται από το ηλεκτρικό ρεύμα. Τα ατυχήματα με ηλεκτρικό ρεύμα είναι γενικά σπάνια (ποσοστό 1 έως 2%), απαιτείται όμως ιδιαίτερη προσοχή, γιατί τέτοια ατυχήματα μπορούν να αποβούν μοιραία για τον εργαζόμενο. Έτσι, απαιτείται προσοχή σε όλες τις ηλεκτρικές συνδέσεις και μονώσεις, διατήρηση όλων των καλωδίων σε καλή κατάσταση και απαραίτητα γείωση σε όλους τους ρευματολήπτες και ρευματοδέκτες. Ειδικά για την περίπτωση της ηλεκτροκόλλησης πρέπει να λαμβάνονται τα παρακάτω μέτρα :

- Προσοχή στα φθαρμένα καλώδια, γιατί προκαλούν ηλεκτροπληξία ή φωτιές.
- Προσοχή στη χρήση της τσιμπίδας και την επαφή της με μη μονωτικά υλικά. Η τσιμπίδα πρέπει να τοποθετείται σε μονωτική βάση, όταν δε χρησιμοποιείται.
- Προσοχή στις συσκευές συγκράτησης ή μεταφοράς των προς συγκόλληση τεμαχίων.
- Προσοχή στις αναθυμιάσεις που προκύπτουν από την ηλεκτροκόλληση. Απαιτείται τεχνητός εξαερισμός.
- Χρησιμοποίηση μονωτικών επιφανειών στις βάσεις που στέκεται ο συγκολλητής.
- Σωστή ένδυση του ηλεκτροσυγκολλητή που αποτελείται από την ειδική μάσκα, γάντια, δερμάτινη ποδιά, και παπούτσια ασφαλείας.

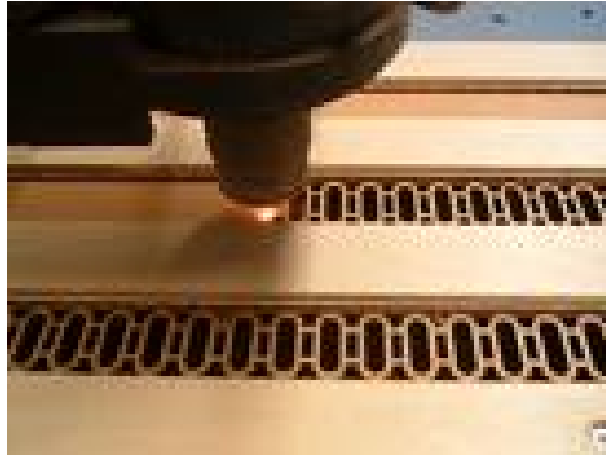
Σε κάθε περίπτωση στους χώρους συγκολλήσεων πρέπει να υπάρχουν τα κατάλληλα πυροσβεστικά μέτρα για την αντιμετώπιση τυχόν πυρκαγιών.

Ολοκληρώνοντας το κεφάλαιο αυτό, ας δούμε εικόνες κατεργασίας υλικών με κλασσικές τεχνικές αλλά και κατεργασίας με λέιζερ.

Αποτελέσματα κοπής



Σχήμα 1.20 Κοπή με τροχό



Σχήμα 1.21 Κοπή με λέιζερ

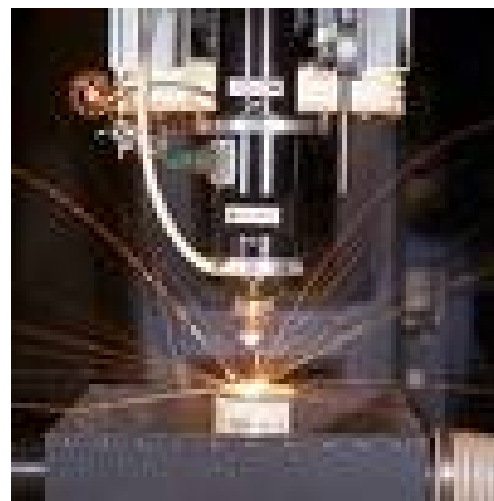


Σχήμα 1.22 Αποτέλεσμα κοπής με λέιζερ

Αποτελέσματα διάτρησης



Σχήματα 1.23 & 1.24 Διάτρηση με δρόπανο

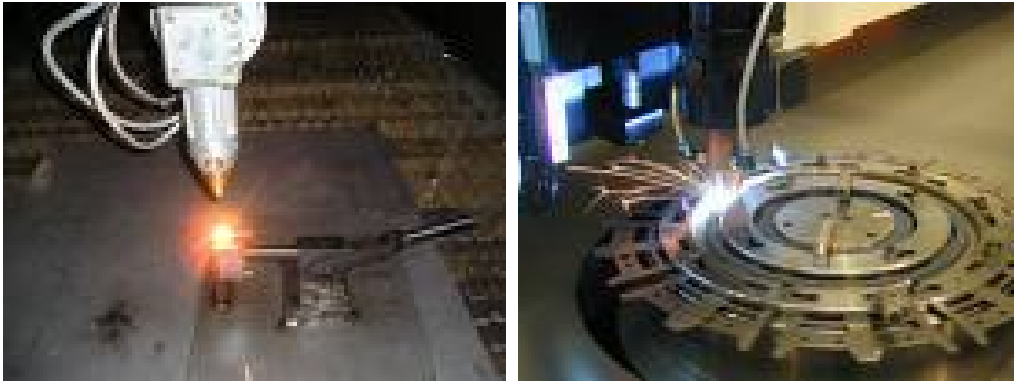


Σχήματα 1.25 & 1.26 Διάτρηση με λέιζερ

Αποτελέσματα συγκόλλησης



Σχήμα 1.27 Χειρωνακτική συγκόλληση



Σχήμα 1.28 & 1.29 Συγκόλληση με λέιζερ

Χρήση λέιζερ για γραφή



Σχήμα 1.30 Γραφή με λέιζερ

ΛΕΙΖΕΡ

2.1 Γενικά

Laser είναι οι διατάξεις που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση και την παραγωγή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε διάφορες περιοχές του φάσματος (ορατό φως, υπέρυθρο, υπεριώδες, ακτίνες X) με τη μέθοδο της εξαναγκασμένης εκπομπής ακτινοβολίας, δηλαδή μ' ένα μηχανισμό διαφορετικό από αυτόν μιας κλασικής πηγής. Ο ορισμός αυτός περιέχεται στην αγγλική ονομασία LASER, που αποτελεί τα αρχικά των λέξεων Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation και η οποία σε ελληνική μετάφραση σημαίνει "ενίσχυση φωτός με εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας". Ο ίδιος όρος χρησιμοποιείται και για το χαρακτηρισμό των ίδιων των ακτινοβολιών που εκπέμπουν οι διατάξεις αυτές (ακτίνες λέιζερ). Η τεχνική παραγωγής ακτίνων λέιζερ βασίζεται στην απορρόφηση φωτονίων από κατάλληλα υλικά (στερεά, υγρά ή αέρια), των οποίων τα άτομα, τα μόρια ή τα ιόντα βρίσκονται σε κατάσταση διέγερσης μέσω της πρόσληψης ενέργειας. Κατά τη μετάβαση των ηλεκτρονίων που περιβάλλουν τα άτομα από μια ανώτερη ενεργειακή στάθμη σε μια κατώτερη (αποδιέγερση), η επί πλέον ενέργεια αποβάλλεται υπό μορφή ακτινοβολίας. Η διαδικασία αυτή δεν γίνεται όμως αυθόρμητα, όπως στις κλασικές πηγές, αλλά με την επίδραση ενός εξωτερικού αιτίου, των φωτονίων που απορροφώνται από το ενεργό υλικό, με αποτέλεσμα τα διεγερμένα άτομα κατά τη στιγμή της αποδιέγερσής τους να εκπέμπουν ακτινοβολία που έχει την ίδια φάση και την ίδια κατεύθυνση διάδοσης με αυτήν που έχουν τα αρχικά φωτόνια. Αυτό έχει ως συνέπεια οι ακτίνες λέιζερ να έχουν μια σειρά από εξαιρετικές ιδιότητες, όπως είναι η ισχυρότατη έντασή και συνακόλουθα η τεράστια ισχύς τους, που μπορεί να φθάσει τα χιλιάδες δισεκατομμύρια Watt, η κατευθυντικότητα, η μονοχρωματικότητα, η διαμορφωσιμότητα (δηλ. η κατά βούληση διαμόρφωση της έντασης, της συχνότητας και της φάσης τους) και η πολύ μεγάλη ικανότητα εστίασής τους. Χάρη στις ιδιότητες αυτές, οι ακτίνες λέιζερ επιτρέπουν την κοπή, τη συγκόλληση, τη διάτρηση, τη λείανση της επιφάνειας και την εγχάραξη όλων σχεδόν των υλικών, συμπεριλαμβανομένων και των μετάλλων, καθώς και τη μετάδοση οπτικών μηνυμάτων χωρίς απώλειες. Ειδικότερα, η πολύ μεγάλη ικανότητα εστίασης που διαθέτουν κάνει δυνατή την εκτέλεση εργασιών σε πολύ μικρές επιφάνειες, όπως π.χ. τη διάτρηση ενός σώματος πάχους δεκάτων του χιλιοστού ή τη συγκόλληση δύο υλικών χωρίς να φαίνεται η ραφή. Τα πρώτα λέιζερ κατασκευάστηκαν το 1960 και

τέσσερα χρόνια αργότερα ο αμερικανός φυσικός Τάουνς (Townes) και οι σοβιετικοί Μπασόφ (Basov) και Προχόροφ (Prokhorov) τιμήθηκαν με το βραβείο Νόμπελ Φυσικής για τις πρωτοποριακές τους έρευνες στον τομέα αυτό. Μετά το 1970, η τεχνική των λέιζερ παρουσιάζει ραγδαία ανάπτυξη και μαζί με την μικροηλεκτρονική θεωρείται ο σημαντικότερος τομέας της σύγχρονης τεχνολογίας από την άποψη των πολυάριθμων και οικονομικά εκμεταλλεύσιμων εφαρμογών της. Κατά το διάστημα αυτό εξάλλου, ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται για την παραγωγή της ακτινοβολίας, έχουν αναπτυχθεί διάφορα είδη λέιζερ, από τα οποία τα σημαντικότερα όσον αφορά την πρακτική τους σπουδαιότητα είναι:

- Τα λέιζερ διοξειδίου του άνθρακα, που χαρακτηρίζονται από ισχυρή ένταση και χρησιμοποιούνται κυρίως στην κατεργασία των μετάλλων και σε διάφορους τομείς της ιατρικής. Χρησιμοποιούνται πολύ στην βιομηχανία για κοπή και συγκόλληση μετάλλων (αυτοκινητοβιομηχανία), πλαστικών και γενικότερα στην επεξεργασία υλικών.

- Τα λέιζερ ιόντων αργού που εκπέμπουν διάφορα μήκη κύματος ταυτόχρονα ή χωριστά, με πιο σημαντικά τα 514.5 nm και τα 488 nm. Είναι το μοναδικό πολυχρωματικό λέιζερ μεγάλης ισχύος στο ορατό αλλά με πολύ χαμηλή απόδοση της τάξης του 0.1%. Τέλος χρειάζεται πολύ υψηλό ρεύμα αλλά και ψύξη.

- Τα λέιζερ ηλίου-νέου, ιστορικά είναι το πρώτο λέιζερ αερίου. Τα μόρια του Ηλίου λειτουργούν ως «μεταφορείς ενέργειας». Διεγείρονται από τα ηλεκτρόνια της ηλεκτρικής διέγερσης και με την σειρά τους διεγείρουν τα μόρια του Νέου, τα οποία εκπέμπουν την ακτινοβολία λέιζερ. Γενικά είναι χαμηλής ισχύος (0.5 – 50 mW). Το λέιζερ ηλίου-νέου που εκπέμπει στα 638.2 nm είναι το πιο συνηθισμένο εργαστηριακό λέιζερ χαμηλής ισχύος.

- Τα λέιζερ ημιαγωγών, που χρησιμοποιούνται στα CD, όπου μια ακτίνα λέιζερ έχει αντικαταστήσει την κλασική βελόνα ανάγνωσης του δίσκου. Άλλες σημαντικές εφαρμογές τους είναι η μετάδοση μηνυμάτων μέσω οπτικών ινών και η κατασκευή μιας νέας γενιάς ταχύτατων και αθόρυβων εκτυπωτών, ενώ πολύ μεγάλες δυνατότητες παρέχουν και στην τρισδιάστατη απεικόνιση αντικειμένων.

- Τα λέιζερ νεοδιμίου, είναι τα πιο δημοφιλή λέιζερ στερεάς κατάστασης. Το μήκος κύματος εκπομπής είναι το $\lambda=1064$ nm (υπέρυθρο) και οι αρμονικές του – 532, 355, 266, 213 nm. Συνήθως είναι παλμικό (Q-switched) αλλά και συνεχές. Η άντληση γίνεται με λυχνίες (παλαιού τύπου λέιζερ) και με διοδικά λέιζερ. Χρησιμοποιούνται κυρίως στην επεξεργασία υλικών (παλμική λειτουργία) και στην χειρουργική (συνεχής και παλμική λειτουργία).

- Τα λέιζερ υγρών χρωστικών. Το ενεργό υλικό είναι οργανικές χρωστικές διαλυμένες σε οργανικούς διαλύτες όπως μεθανόλη και διοξίνη. Είναι τα μοναδικά λέιζερ που το ενεργό υλικό είναι υγρό. Ανάλογα με την χρωστική, μπορεί να επιτευχθεί υπέρυθρη, ορατή ή υπεριώδης ακτινοβολία. Τέλος έχουν μεγάλη απόδοση.

- Τα λέιζερ ελεύθερων ηλεκτρονίων, που έχουν και τη μεγαλύτερη απόδοση εισερχόμενης-εξερχόμενης ακτινοβολού ενέργειας σε σχέση με όλα τα υπόλοιπα. Χρησιμοποιούνται στη χημεία για τη διάσπαση των μορίων σε προκαθορισμένες θέσεις και για τη διερεύνηση των κρυσταλλικών δομών, ενώ είναι ιδανικά για την κατασκευή οπλικών συστημάτων κατευθυνόμενης ενέργειας, που μπορούν μάλιστα να τοποθετηθούν σε τεχνητούς δορυφόρους και να έχουν ως αποστολή την καταστροφή εχθρικών διηπειρωτικών πυραύλων. Σχετικές έρευνες έχουν γίνει στις Ην. Πολιτείες στο πλαίσιο του προγράμματος SDI.

- Τα λέιζερ ακτινών X, που είναι και τα πλέον πρόσφατα και χρησιμοποιούνται κυρίως για τη μελέτη του κυττάρου στη βιολογία και για τη μελέτη των ιδιοτήτων των επιφανειών σε μοριακό επίπεδο στη φυσικοχημεία.

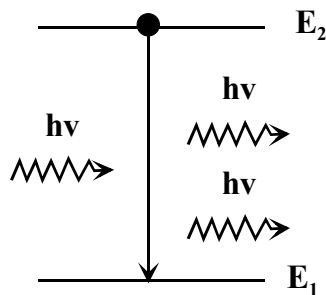
- Τα λέιζερ διεγερμένων διμερών (excimer lasers). Το ενεργό υλικό είναι διμερή μόρια που αποτελούνται από ένα άτομο ευγενούς αερίου και ένα άτομο αλογόνου. Τα μόρια αυτά μπορούν υπάρξουν μόνο κάτω από ειδικές συνθήκες και ο χρόνος ζωής τους είναι μερικά ns. Είναι παλμικά λέιζερ και εκπέμπουν στην περιοχή του υπεριώδους. Το μεγαλύτερο πρόβλημα αυτής της κατηγορίας λέιζερ είναι η επικινδυνότητα των αλογόνων και η οξειδωτική τους δράση. Είναι κατάλληλα για την κοπή και την κατεργασία των πλαστικών και για τη χάραξη μικροηλεκτρονικών κυκλωμάτων.

Σε γενικές γραμμές οι ακτίνες λέιζερ κατακτούν μέρα με τη μέρα ολοένα και μεγαλύτερο τμήμα της επιστημονικής έρευνας (βασικής και εφαρμοσμένης), της βιομηχανικής παραγωγής, αλλά και της αγοράς.

Ιδιότητες laser

2.2 Αρχή λειτουργίας laser

Όπως αναφέραμε και προηγουμένως η λέξη LASER είναι ακρωνύμιο της φράσης Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation, και χρησιμοποιείται λόγω της βασικής αρχής λειτουργίας ενός συστήματος laser που είναι η εξαναγκασμένη εκπομπή ακτινοβολίας από άτομα ή μόρια που βρίσκονται σε διεγερμένη κατάσταση. Η κλασική διαδικασία δημιουργίας φωτός είναι η αυθόρμητη εκπομπή κατά την



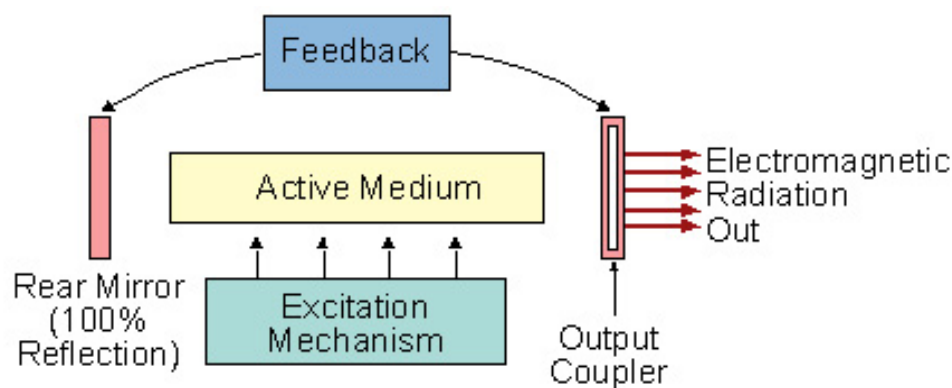
Σχήμα 2.1 Μηχανισμός εξαναγκασμένης εκπομπής

οποία τα διεγερμένα άτομα αποδιεγείρονται ανεξάρτητα το ένα από το άλλο, δίνοντας φωτόνια των οποίων οι ιδιότητες δεν παρουσιάζουν καμία συμφωνία ή συσχέτιση. Επομένως, η ακτινοβολία που εκπέμπεται αυθόρμητα από κλασικές πηγές, αφενός διαδίδεται

προς όλες τις κατευθύνσεις στο χώρο και αφετέρου η κατανομή της συχνότητας της (ή του μήκους κύματος) είναι ιδιαίτερα πλατιά. Αντίθετα, κατά την εξαναγκασμένη εκπομπή (Σχήμα 2.1), η δημιουργία του φωτονίου εξαρτάται από ήδη υπάρχοντα φωτόνια (που δημιουργούνται αρχικά με αυθόρμητη εκπομπή), τα οποία εξαναγκάζουν τα διεγερμένα άτομα να εκπέμψουν φωτόνια πανομοιότυπα με αυτά που ήδη υπάρχουν. Δηλαδή, ο μηχανισμός της εξαναγκασμένης εκπομπής προκαλεί τον πολλαπλασιασμό των φωτονίων, με τα δημιουργούμενα φωτόνια να έχουν όλα ακριβώς τις ίδιες ιδιότητες. Σαν αποτέλεσμα, η δέσμη laser έχει μοναδικές ιδιότητες όπως συμφωνία, μονοχρωματικότητα, κατευθυντικότητα και πυκνότητα ενέργειας, οι οποίες θα αναλυθούν στην συνέχεια. Αρχικά όμως, ας εξετάσουμε τη λειτουργία ενός laser.

2.3 Διάταξη laser

Μία απλοποιημένη διάταξη laser φαίνεται στο σχήμα 2.2. Το laser αποτελείται από το ενεργό υλικό (active medium), τον μηχανισμό άντλησης (excitation mechanism) και την οπτική κοιλότητα που υποστηρίζει τον μηχανισμό ανάδρασης (feedback) και αποτελείται από δύο κάτοπτρα, ένα με ανακλαστικότητα 100% και ένα ημιδιαπερατό από το οποίο εξέρχεται η χρήσιμη ακτινοβολία. Το ενεργό υλικό μπορεί να είναι ένα κατάλληλο στερεό (π.χ. κρύσταλλος ή ημιαγώγιμο υλικό), υγρό (π.χ. διάλυμα οργανικής χρωστικής) ή αέριο (π.χ. He-Ne ή CO₂). Το ενεργό υλικό διεγείρεται μέσω του μηχανισμού άντλησης (που μπορεί να είναι ηλεκτρική, οπτική ή χημική διαδικασία) με αποτέλεσμα την δημιουργία μέσω αυθόρμητης εκπομπής μικρού αριθμού φωτονίων, το μήκος κύματος των οποίων εξαρτάται από τις ενεργειακές στάθμες του ενεργού υλικού που συμμετέχουν στην διαδικασία διέγερσης. Τα φωτόνια αυτά ταξιδεύουν μέσα στο διεγερμένο ενεργό υλικό και πολλαπλασιάζονται μέσω εξαναγκασμένης εκπομπής, με τα δημιουργούμενα φωτόνια να παρουσιάζουν πανομοιότυπες ιδιότητες όπως μήκος κύματος, διεύθυνση διάδοσης και φάση. Ο πολλαπλασιασμός των φωτονίων συνεχίζεται μέσω πολλαπλών διαδρομών μέσα στην οπτική κοιλότητα και όταν ο αριθμός τους υπερβεί κάποιο όριο (υπερβεί τις απώλειες), εξέρχεται δέσμη laser από το ημιδιαπερατό κάτοπτρο.



Σχήμα 2.2 Βασική διάταξη σε σύστημα laser

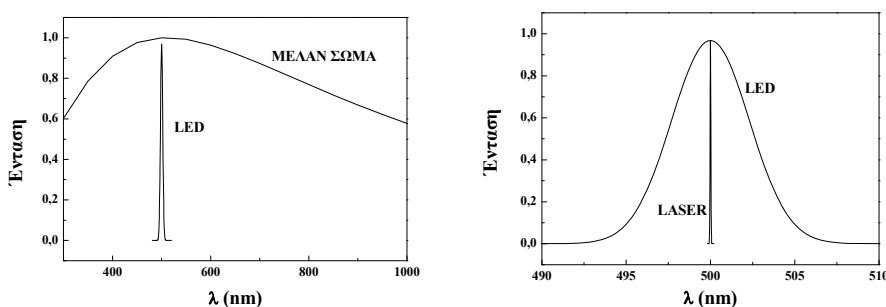
Σήμερα υπάρχει πληθώρα συστημάτων laser τα οποία διαφέρουν ως προς διάφορες λειτουργικές παραμέτρους τους όπως μήκος κύματος εκπομπής, ενέργεια εξόδου, χρονική εξέλιξη της λειτουργίας (παλμική ή συνεχή) κλπ. Οι δυνατότητες τους επεκτείνονται από το υπεριώδες στο υπέρυθρο, από συνεχή λειτουργία έως παλμούς διάρκειας fsec και συστήματα με ενέργεια κατάλληλη για ευθυγράμμιση έως και την κοπή ανοξείδωτου χάλυβα μεγάλου πάχους. Αντίστοιχα, είναι τεράστια η πληθώρα των εφαρμογών όπου τα laser μπορούν να παίξουν ουσιαστικό ρόλο.

Διάφοροι τομείς όπως βιομηχανία, επικοινωνίες, ιατρική, διαγνωστική και φυσική-χημεία, έχουν παρουσιάσει τα τελευταία χρόνια τεράστια εξέλιξη λόγω των νέων οριζόντων που άνοιξαν τα laser.

2.4 Ιδιότητες laser

Όπως ήδη αναφέρθηκε, λόγω της αρχής λειτουργίας του, το laser παρουσιάζει μερικές μοναδικές ιδιότητες οι οποίες το καθιστούν μοναδικό εργαλείο σε μία πληθώρα εφαρμογών. Θα εξετάσουμε στη συνέχεια τις ιδιότητες αυτές και το πως αυτές οδηγούν σε διάφορες εφαρμογές.

2.4.1 Μονοχρωματικότητα



Σχήμα 2.3 Φασματική κατανομή εκπομπής από μέλαν σώμα, LED και LASER

Η φασματική γραμμή εκπομπής από μία πηγή laser είναι ιδιαίτερα λεπτή, μία ιδιότητα την οποία η επιστήμη δεν είχε καταφέρει να επιτύχει με κλασσικές πηγές ακόμα και μετά από προσπάθειες πολλών ετών. Για να γίνει κατανοητή η πρόοδος που πέτυχε το laser, η φασματική γραμμή του βρέθηκε να είναι περίπου ένα εκατομμύριο φορές στενότερη από τα καλύτερα αποτελέσματα των κλασσικών πηγών. Ένα παράδειγμα πλάτους φασματικής γραμμής εκπομπής κοντά στα 500 nm παρουσιάζεται στο Σχήμα 2.3 για μέλαν σώμα (εκπομπή λόγω θερμοκρασίας), LED και laser, όπου είναι εμφανής η τεράστια διαφορά που επιτυγχάνεται με το laser. Ταυτόχρονα βέβαια, αξίζει να σημειωθεί ότι η πολύ στενή φασματική γραμμή συνοδεύεται από μεγάλο αριθμό φωτονίων (όπως θα δούμε στη συνέχεια), συνδυασμός ιδιοτήτων που ήταν αδύνατος χωρίς το laser.

Η ιδιότητα του στενού φασματικού πλάτους προέρχεται από δύο βασικές προϋποθέσεις της λειτουργίας ενός συστήματος laser:

α) στο ενεργό υλικό μπορούν να πολλαπλασιαστούν μόνο τα φωτόνια με συχνότητα $\nu = (E_2 - E_1)/h$, όπου E_2 και E_1 η διεγερμένη και η βασική ενεργειακή κατάσταση αντίστοιχα. Με βάση αυτήν την προϋπόθεση, σε μία ιδεατή κατάσταση όπου οι ενεργειακές καταστάσεις θα είχαν μηδενικό φασματικό πλάτος, το laser θα είχε μία

και μοναδική συχνότητα, δηλαδή μηδενικό φασματικό πλάτος. Στην πράξη όμως, όλες οι ενεργειακές καταστάσεις έχουν μη μηδενικό φασματικό πλάτος, άρα και το φασματικό πλάτος της γραμμής εκπομπής είναι επίσης μη μηδενικό. Επομένως, η φασματική γραμμή εκπομπής ακολουθεί, σε μία πρώτη προσέγγιση, το πλάτος της μετάπτωσης $2 \rightarrow 1$.

β) μέσα στην οπτική κοιλότητα του laser μπορούν να συντηρηθούν μόνο οι συχνότητες συντονισμού αυτής της κοιλότητας. Η τελευταία προϋπόθεση μπορεί να οδηγήσει σε ένα πλάτος γραμμής εκπομπής του laser πολύ στενότερο από το συνηθισμένο πλάτος της μετάπτωσης $2 \rightarrow 1$, όπως αυτό παρατηρείται συνήθως στην αυθόρμητη εκπομπή. Δηλαδή, το πλάτος της φασματικής εκπομπής του laser εξαρτάται από το συνδυασμό (αλληλεπικάλυψη) του φάσματος αυθόρμητης εκπομπής και του φάσματος συχνοτήτων συντονισμού της οπτικής κοιλότητας.

Σχετικά τώρα με την χρησιμότητα της μονοχρωματικότητας μιας πηγής laser και των συνεπαγόμενων εφαρμογών, αξίζει να σημειωθεί εδώ η τεράστια συνεισφορά του στενού φασματικού πλάτους σε μία άλλη πολύ βασική ιδιότητα της ακτινοβολίας laser, την συμφωνία και όλες τις συνεπαγόμενες εφαρμογές της. Ταυτόχρονα όμως, το στενό φασματικό πλάτος αποτελεί ένα ισχυρότατο εργαλείο σε διάφορες διατάξεις σχετικές με στοιχειακή ανάλυση όπως TOF-MS, LIF κλπ. Λόγω της ιδιότητας αυτής, η ακτινοβολία laser μπορεί να διεγείρει επιλεκτικά άτομα ή μόρια και να οδηγήσει στην αναγνώριση τους μέσω του συνεπαγόμενου ιονισμού ή φθορισμού.

2.4.2 Συμφωνία

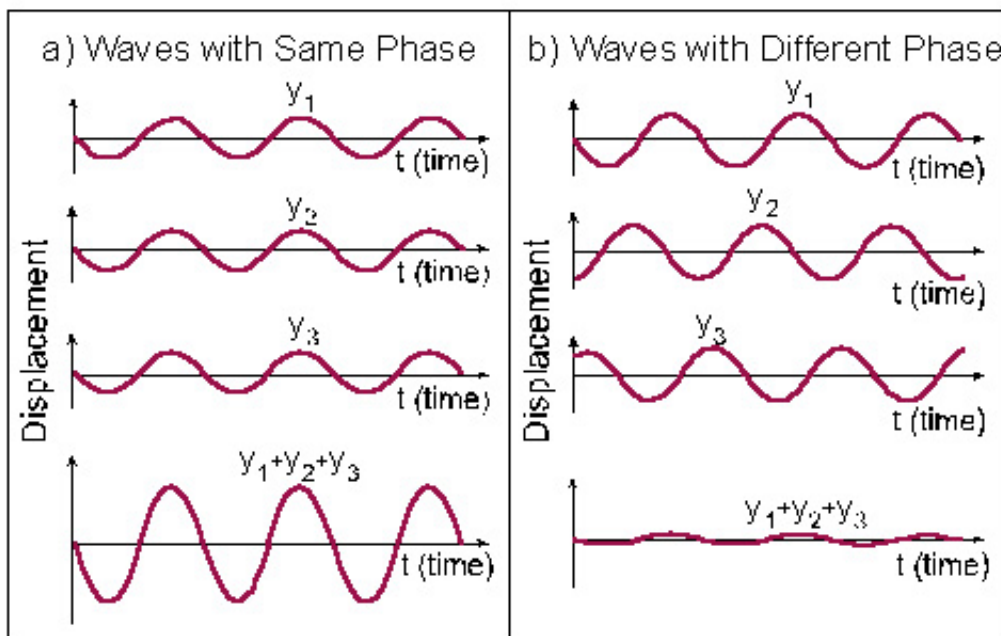
Η άλλη ιδιότητα με τεράστια σημασία είναι η συμφωνία που παρουσιάζει η ακτινοβολία laser. Η συμφωνία σαν έννοια είναι ιδιαίτερα πολύπλοκη και ο απλούστερος τρόπος για να περιγραφεί είναι η θεώρηση των φωτονίων ως επίπεδων ΗΜ κυμάτων οπότε και κάθε ένα από αυτά, για διάδοση στην διεύθυνση z, περιγράφεται από μία εξίσωση της μορφής:

$$y = Ae^{-j(\omega t - kz + \phi)} \quad \text{ή} \quad y = A \cos(\omega t - kz + \phi) \quad (2.1)$$

όπου y η στιγμιαία τιμή του πλάτους του κύματος, A είναι το μέγιστο πλάτος, ω η γωνιακή συχνότητα ($\omega = 2\pi f$ όπου f η συχνότητα), k είναι το κυματόνισμα που ορίζεται ως $k = 2\pi/\lambda$ (με λ το μήκος κύματος), ϕ η αρχική φάση του κύματος (στην πηγή του) και $\omega t - kz + \phi$ η φάση του κύματος για διάφορες τιμές του t και z. Έστω μία κλασσική πηγή φωτός όπου τα κύματα εκπέμπονται μεν με την ίδια φάση αλλά λόγω π.χ. αυθόρμητης εκπομπής των φωτονίων, η γωνιακή συχνότητα τους μπορεί να

διαφέρει σημαντικά. Σαν αποτέλεσμα, ενώ τα κύματα ξεκινούν σε φάση (έχουν δηλαδή την ίδια αρχική φάση ϕ), μετά από χρόνο t σχετικά μεγάλο (ή απόσταση z αντίστοιχα), οι φάσεις των επιμέρους κυμάτων διαφέρουν σημαντικά καθώς θα διαφέρουν τα ω και k (είναι π.χ. $\omega_1 t - k_1 z + \phi$, $\omega_2 t - k_2 z + \phi$, $\omega_3 t - k_3 z + \phi$ κλπ). Επομένως τα κύματα θα έχουν διαφορετική φάση, δηλαδή θα είναι εκτός φάσης. Το πρόβλημα στις κλασσικές πηγές γίνεται ακόμα μεγαλύτερο αν κάποιος λάβει υπόψη ότι συνήθως η αρχική φάση ϕ δεν είναι η ίδια για όλα τα εκπεμπόμενα κύματα.

Σε ένα laser αντίστοιχα, όλα τα φωτόνια είναι πανομοιότυπα, δηλαδή παρουσιάζουν και την ίδια αρχική φάση αλλά και πολύ στενή κατανομή γωνιακών συχνοτήτων και κυματανυσμάτων. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η φάση των Η.Μ κυμάτων να παραμένει περίπου ίδια για μεγάλο χρονικό διάστημα t (ή απόσταση z



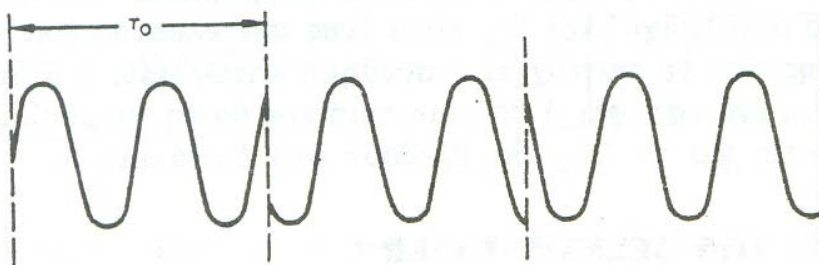
Σχήμα 2.4 Πρόσθεση κυμάτων σε φάση (αριστερά) και εκτός φάσης (δεξιά).

αντίστοιχα), δηλαδή τα φωτόνια παραμένουν σε φάση για μεγάλο χρόνο (αλλά και σε μεγάλη περιοχή του χώρου). Η συνθήκη αυτή καθορίζει την συμφωνία της ακτινοβολίας laser, ιδιότητα η οποία οδηγεί ιδανικά στην ικανότητα μόνιμης γνώσης της φάσης σε μία δέσμη laser με δυνατότητα πρόβλεψης σε σχέση με την μεταβολή του χώρου ή του χρόνου. Επιπλέον οδηγεί σε μερικές μοναδικές εφαρμογές όπως π.χ. η συμβολομετρία ή η ολογραφία, όπου η ύπαρξη συμφωνίας είναι αναγκαία προϋπόθεση. Ταυτόχρονα όμως, εισάγει ένα μοναδικό πλεονέκτημα κατά την ταυτόχρονη διάδοση πολλών Η.Μ κυμάτων, όπως φαίνεται στο Σχήμα 2.4. Αν βρεθούν ταυτόχρονα πολλά κύματα σε ένα σημείο του χώρου, αν τα κύματα είναι εκτός φάσης, το συνολικό επαγόμενο πλάτος θα είναι σχεδόν μηδέν (αποσβετική

συμβολή κυμάτων). Αντίθετα, αν τα κύματα είναι σε φάση, το συνολικό πλάτος θα είναι πολύ μεγάλο (ενισχυτική συμβολή).

Σε πρώτη προσέγγιση, για κάθε Η.Μ. κύμα, μπορούμε να εισαγάγουμε δύο έννοιες συμφωνίας, τη χωρική και τη χρονική συμφωνία. Για να ορίσουμε τη χωρική συμφωνία, ας θεωρήσουμε δυο σημεία του χώρου P_1 και P_2 , τα οποία κατά τη χρονική στιγμή $t=0$, βρίσκονται πάνω στο ίδιο μέτωπο κύματος ενός δεδομένου Η.Μ. κύματος. Τα αντίστοιχα ηλεκτρικά πεδία είναι $E_1(t)$ και $E_2(t)$, με την διαφορά μεταξύ των φάσεων των δύο πεδίων να είναι μηδέν στο χρόνο $t=0$. Αν αυτή η διαφορά παραμένει μηδέν για κάθε χρονική στιγμή $t>0$, θα λέμε ότι υπάρχει τέλεια συμφωνία μεταξύ των δύο σημείων. Εάν αυτό συμβαίνει για κάθε δύο σημεία του Η.Μ. μετώπου κύματος θα λέμε πως το κύμα έχει ιδανική χωρική συμφωνία. Στην πράξη βέβαια, για κάθε σημείο P_1 , το σημείο P_2 πρέπει να βρίσκεται μέσα σε κάποια πεπερασμένη περιοχή γύρω από το P_1 , εάν θέλουμε να έχουμε καλό φασικό συσχετισμό. Σε αυτήν την περίπτωση θα λέμε πως το κύμα έχει μερική χωρική συμφωνία και για κάθε σημείο P μπορούμε να εισαγάγουμε μια κατάλληλα ορισμένη περιοχή συμφωνίας S .

Για να ορίσουμε τη χρονική συμφωνία, θεωρούμε τώρα το ηλεκτρικό πεδίο του Η.Μ. κύματος σε ένα δεδομένο σημείο P σε χρόνους t και $t+\tau$. Εάν για δεδομένη χρονική υστέρηση τ , η διαφορά φάσης μεταξύ των δύο τιμών του πεδίου παραμένει η ίδια για κάθε χρονική στιγμή t , θα λέμε πως υπάρχει χρονική συμφωνία για το χρονικό διάστημα τ . Εάν αυτό συμβαίνει για κάθε τιμή του τ , το Η.Μ. κύμα θα λέγεται πως έχει τέλεια χρονική συμφωνία. Εάν αυτό συμβαίνει μόνο για χρονική υστέρηση τ τέτοια ώστε $0<\tau<\tau_0$, το κύμα θα λέγεται πως έχει μερική χρονική συμφωνία, με χρόνο συμφωνίας ίσο προς τ_0 . Ένα παράδειγμα ενός Η.Μ. κύματος με

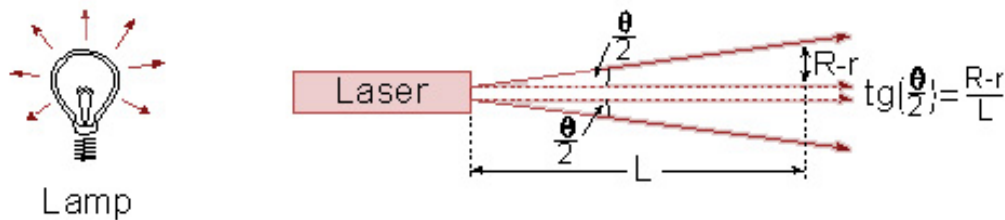


Σχήμα 2.5 . Η.Μ. κύμα με χρόνο συμφωνίας τ_0

χρόνο συμφωνίας ίσο προς τ_0 φαίνεται στο Σχήμα 2.5, όπου το ημιτονοειδές πεδίο υφίσταται φασικά πηδήματα σε χρονικά διαστήματα ίσα προς τ_0 . Αξίζει να τονιστεί

εδώ ότι η έννοια της συμφωνίας συνδέεται άμεσα με τη μονοχρωματικότητα, καθώς ένα Η.Μ. κύμα με χρόνο συμφωνίας τ_0 θα έχει εύρος ζώνης $\Delta\nu = 1/\tau_0$. Τέλος, οι δυο έννοιες της χρονικής και χωρικής συμφωνίας μπορούν να είναι ανεξάρτητες μεταξύ τους καθώς μπορούν να δοθούν παραδείγματα κυμάτων που να έχουν τέλεια χωρική συμφωνία αλλά μόνο περιορισμένη χρονική (ή και αντίστροφα).

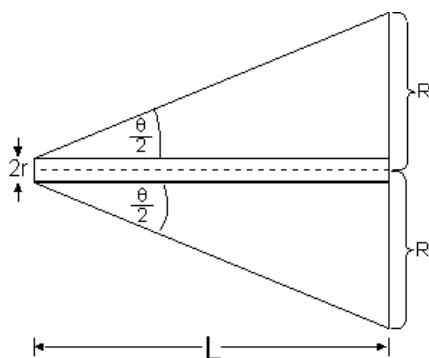
2.4.3 Κατευθυντικότητα



Σχήμα 2.6 Κατευθυντικότητα κλασσικής πηγής και laser.

Ενώ στις κλασσικές πηγές Η.Μ ακτινοβολίας, η εκπεμπόμενη ακτινοβολία διαδίδεται προς όλες τις κατευθύνσεις, η δέσμη από ένα laser εμφανίζει ισχυρή κατευθυντικότητα, η οποία περιγράφεται σαν μία ελάχιστη απόκλιση της δέσμης όπως αυτή διαδίδεται (Σχήμα 2.6). Αυτή η ιδιότητα είναι άμεσο επακόλουθο της διαδικασίας εξαναγκασμένης εκπομπής και της ύπαρξης οπτικής κοιλότητας. Η μεν διαδικασία εξαναγκασμένης εκπομπής προκαλεί την δημιουργία πανομοιότυπων φωτονίων ενώ η οπτική κοιλότητα περιορίζει την ενίσχυση μόνο στα φωτονία που διαδίδονται ακριβώς παράλληλα στον άξονα της.

Με βάση το Σχήμα 2.7 μπορεί να οριστεί η έννοια της απόκλισης μιας δέσμης



Σχήμα 2.7 Ορισμός απόκλισης δέσμης

laser. Έστω μια κυκλική δέσμη εξερχόμενη από laser με διατομή $2r$, η οποία σε απόσταση L γίνει $2R$. Η απόκλιση της δέσμης θ σε rad ορίζεται με βάση την σχέση

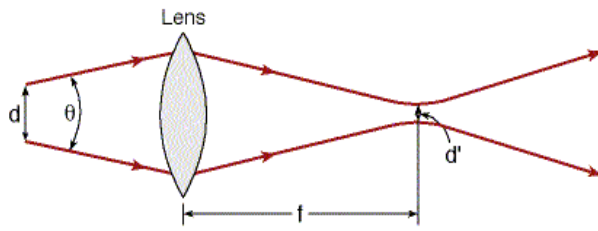
$$\tan \frac{\theta}{2} \approx \frac{\theta}{2} = \frac{R-r}{L},$$

όπου η προσέγγιση έχει

γίνει λαμβάνοντας υπόψη ότι λόγω της μεγάλης κατευθυντικότητας της δέσμης,

$2R \ll L$. Στην πράξη, η γωνία θ έχει τιμές τουλάχιστον της τάξης 1 mrad ή και αρκετά μικρότερες, ειδικά σε συστήματα που χρησιμοποιούνται σε διατάξεις ευθυγράμμισης. Αυτό σημαίνει ότι, δέσμη με αρχική διάμετρο 2 mm, σε απόσταση 10 m έχει διάμετρο 12 mm περίπου.

Γενικά, η κατευθυντικότητα της δέσμης laser σχετίζεται με την ικανότητα της



Σχήμα 2.8 Εστίαση δέσμης laser

δέσμης να μεταφέρει την Η.Μ ακτινοβολία σε μεγάλη απόσταση, χωρίς παρουσία εξασθένησης. Σε αντίθεση, σε μια λάμπα πυρακτώσεως παρατηρείται εξασθένηση της πυκνότητας

ακτινοβολίας σύμφωνα με τον νόμο $1/r^2$. Επομένως, η πυκνότητα ενέργειας της δέσμης laser είναι ιδιαίτερα μεγάλη, με αποτέλεσμα μία πληθώρα εφαρμογών στην βιομηχανία, την ιατρική κλπ. Μάλιστα, η πυκνότητα ενέργειας μπορεί να γίνει πάρα πολύ μεγαλύτερη λόγω της δυνατότητας που προσδίδει η κατευθυντικότητα για ισχυρή εστίαση της δέσμης. Ας υποθέσουμε ότι μία δέσμη laser με αρχική διάμετρο d και απόκλιση θ εστιάζεται με φακό εστιακής απόστασης f . Το μέτρο της διαμέτρου στο εστιακό επίπεδο αποδεικνύεται ότι θα είναι της τάξης $d' = f\theta$, δηλαδή με $\theta = 1 \text{ mrad}$ και $f = 10 \text{ cm}$ έχουμε $d' \approx 10 \mu\text{m}$. Στις διαστάσεις αυτές, οι πυκνότητες ενέργειας είναι τεράστιες, όπως θα δούμε στην επόμενη ενότητα. Επίσης, λόγω της κατευθυντικότητας που παρουσιάζει μία δέσμη laser, υπάρχει η δυνατότητα ανάπτυξης διαφόρων διατάξεων ευθυγράμμισης και τηλεπισκόπισης.

2.4.4 Πυκνότητα ενέργειας

Για να ορίσουμε την ικανότητα μεταφοράς ενέργειας με την ακτινοβολία, έχει οριστεί το μέγεθος πυκνότητα ενέργειας (fluence) με μονάδες J/m^2 , δηλαδή η ενέργεια που μεταφέρεται ανά μονάδα επιφανείας. Αντίστοιχα ορίζεται η πυκνότητα ισχύος ή ένταση ακτινοβολίας με μονάδες W/m^2 (power density ή radiation intensity), όπου σε αυτή την περίπτωση, ιδιαίτερη σημασία παίζει η χρονική εξέλιξη της εξόδου του laser. Όπως αναφέρθηκε στην προηγούμενη ενότητα, μία δέσμη laser παρουσιάζει ισχυρή κατευθυντικότητα. Επομένως, η πυκνότητα ενέργειας που μεταφέρεται όχι μόνο είναι ιδιαίτερα μεγάλη αλλά και σε μία πρώτη προσέγγιση παραμένει σταθερή ανεξάρτητα από την απόσταση. Αντίθετα, σε μία κλασική πηγή όπου έχουμε εκπομπή σε στερεά γωνία 4π (εκπομπή προς όλες τις διευθύνσεις), όχι μόνο η πυκνότητα ενέργειας είναι μικρή αλλά και ελαττώνεται πολύ γρήγορα όπως απομακρυνόμαστε από την πηγή. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα η πυκνότητα ενέργειας που μεταφέρεται από μία δέσμη laser να είναι τεράστια σε σχέση με οποιαδήποτε κλασική πηγή. Χαρακτηριστικά αναφέρεται ότι πρέπει σε κάθε περίπτωση να αποφεύγεται η απ' ευθείας παρατήρηση ενός laser με το μάτι. Μάλιστα τονίζεται ότι

η πυκνότητα ενέργειας από το απλούστερο laser είναι αρκετά μεγαλύτερη από αυτή του ήλιου. Για να γίνει αυτό περισσότερο κατανοητό, ας συγκρίνουμε ένα απλό laser ευθυγραμμίσεων He-Ne ισχύος 5 mW με τον ήλιο, ο οποίος ακτινοβολεί συνολικά $3.8 \cdot 10^{26}$ W με πυκνότητα ισχύος στη γη 1350 W/m^2 . Η διατομή του laser είναι περίπου 2 mm (ακόμα και σε απόσταση 1 m), επομένως η πυκνότητα ισχύος που μεταφέρει η δέσμη του είναι 1600 W/m^2 . Δηλαδή, η πυκνότητα ενέργειας από αυτό το απλό laser είναι μεγαλύτερη από αυτή του ήλιου. Αντίστοιχα, ας συγκρίνουμε το ίδιο laser με λάμπα πυρακτώσεως 100 W (οπτική ισχύ) σε απόσταση 1 m. Λόγω της εκπομπής από την λάμπα προς όλες τις κατευθύνσεις, η ακτινοβολία σε απόσταση r έχει κατανεμηθεί σε σφαίρα επιφάνειας $4\pi r^2$. Άρα, η λάμπα των 100 W σε απόσταση 1 m προσφέρει πυκνότητα ισχύος 8 W/m^2 , 200 φορές μικρότερη από αυτή του laser.

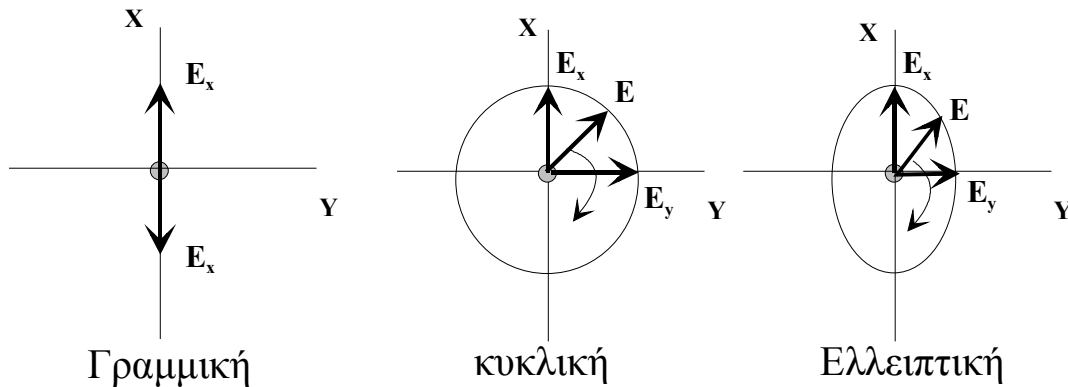
Είναι φανερό επομένως ότι μία δέσμη laser μεταφέρει τεράστια πυκνότητα ενέργειας ή ισχύος αντίστοιχα. Η ιδιότητα αυτή σε συνδυασμό με την κατευθυντικότητα δίνει στο laser τεράστιες δυνατότητες σε σχέση με εφαρμογές μέτρησης απόστασης, radar laser αλλά και συστήματα ευθυγράμμισης, καθώς η δέσμη μπορεί να ταξιδέψει πάρα πολύ μακριά. Ταυτόχρονα όμως, η πυκνότητα αυτή ενέργειας, ειδικά η σχετική με εστιασμένες δέσμες από μεγάλα συστήματα laser, προσφέρει τεράστιες δυνατότητες σε κατεργασία υλικών καθώς δίνει την ικανότητα εφαρμογής τεραστίων ποσοτήτων ενέργειας σε πολύ μικρές διαστάσεις. Σαν παράδειγμα, η εφαρμογή αυτής της πυκνότητας ενέργειας προκαλεί τεράστια αύξηση της θερμοκρασίας άρα και κοπή, διάτρηση ή συγκόλληση ακόμα και μεταλλικών τμημάτων. Οι τεράστιες δυνατότητες φαίνονται ακόμα καλύτερα στην περίπτωση παλμικών laser με πολύ μικρή διάρκεια παλμού (της τάξης 10^{-15} sec). Σε αυτές τις περιπτώσεις οι πυκνότητες ισχύος είναι τόσο μεγάλες ώστε το σχετιζόμενο ηλεκτρικό πεδίο υπερβαίνει κατά πολύ αυτό που συγκρατεί τα ηλεκτρόνια στα άτομα.

2.4.5 Μήκος κύματος

Όπως έχει ήδη αναφερθεί, τα laser εκπέμπουν στην περιοχή γύρω από το ορατό. Λαμβάνοντας υπόψη και την μεγάλη κατευθυντικότητα της δέσμης laser, αυτή αποτελεί μία τέλεια ορατή γραμμή πολύ μεγάλου μήκους. Δηλαδή, είναι το τέλειο εργαλείο για ευθυγραμμίσεις. Ταυτόχρονα, το μήκος κύματος είναι της τάξης μm. Επομένως, αν η ακτινοβολία χρησιμοποιείται σε σύστημα αντίστοιχο του radar, η διακριτική της ικανότητα είναι της τάξης μm (σε αντίθεση με cm έως m σε κλασσικά radar). Η ιδιότητα αυτή δίνει την δυνατότητα π.χ. παρακολούθησης των ανέμων μέσω της μετακίνησης αερολυμάτων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα. Τέλος, αξίζει να

σημειωθεί ότι τα μήκη κύματος αυτά είναι ιδανικά για την διέγερση υλικών (ηλεκτρονικές μεταπτώσεις), οπότε μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε τεχνικές στοιχειακής ανάλυσης αλλά και για χρήσεις σε οπτικές ίνες.

2.4.6 Πόλωση



Σχήμα 2.9 Διάφορα είδη πόλωσης

Γενικά, η πόλωση καθορίζεται από τις συνιστώσες του ηλεκτρικού πεδίου. Για ένα Η.Μ κύμα που διαδίδεται στον άξονα z, αν το E έχει μόνο μία συνιστώσα (x ή y) τότε έχουμε γραμμική πόλωση και το E ταλαντώνεται πάντα στο ίδιο επίπεδο (Σχήμα 2.9). Αν όμως το ηλεκτρικό πεδίο έχει δύο μη μηδενικές συνιστώσες, x και y αντίστοιχα, οι οποίες είναι της ίδιας συχνότητας, τότε η πόλωση ονομάζεται ελλειπτική και το διάνυσμα του E περιστρέφεται κατά τη διάδοση του Η/Μ κύματος. Αν $E_x = E_y$ και η διαφορά φάσης μεταξύ τους είναι $\pi/2$, τότε η πόλωση είναι κυκλική. Γενικά, κάθε Η/Μ κύμα θα έχει δύο συνιστώσες και θα ισχύει:

$$E_x = E_1 \sigma \nu (\omega t - kz) \quad E_y = E_2 \sigma \nu (\omega t - kz + \delta) \quad \mu\epsilon \quad \vec{E} = \hat{x}E_x + \hat{y}E_y$$

Για $E_2=0$ έχω γραμμική πόλωση, για $E_1=E_2$ και $\delta=\pi/2$ έχω κυκλική πόλωση, ενώ για $E_1 \neq E_2$ και $\delta \neq \kappa$, με κ τυχαίο έχω ελλειπτική πόλωση.

Γενικά, στις κλασσικές πηγές η ΗΜ ακτινοβολία δεν είναι πολωμένη και το φως ονομάζεται φυσικό. Σίγουρα όμως υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας πόλωσης στο φυσικό φως, όμως η διαδικασία αυτή είναι σε βάρος άλλων ιδιοτήτων όπως η ενέργεια. Αντίθετα, η οπτική κοιλότητα ενός συστήματος laser μπορεί πολύ εύκολα να υποστηρίξει την δυνατότητα εκπομπής πολωμένης ακτινοβολίας. Σήμερα υπάρχουν διάφορες μέθοδοι, όπως η χρήση παραθύρου εξόδου υπό γωνία Brewster, οι οποίες προσφέρουν δέσμη με πολύ καλά χαρακτηριστικά πόλωσης.

Αναφορικά με τις δυνατότητες που προσφέρει η πόλωση, εκτός από την ανάπτυξη ειδικών εφαρμογών όπως οι αισθητήρες πεδίων, διευκολύνει την πολύ καλή ποιότητα λειτουργίας των συμβολομετρικών διατάξεων.

ΧΡΗΣΗ ΛΕΙΖΕΡ ΣΕ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΥΛΙΚΩΝ

3.1 ΘΕΡΜΙΚΗ ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗΣ ΛΕΙΖΕΡ-ΥΛΗΣ

Ένα από τα βασικά χαρακτηριστικά του λέιζερ είναι η ικανότητα του να δράσει σαν ισχυρή πηγή θερμότητας. Σαν παράδειγμα, ένα CO₂ λέιζερ ισχύος 2 kW αν εστιαστεί σε ακτίνα διατομής στο σημείο εστίασης 100 μm, η πυκνότητα ενέργειας (ή η ένταση ακτινοβολίας) που παρέχει είναι περίπου 6.5 MW/cm². Η τιμή αυτή είναι αρκετά μεγαλύτερη από την πυκνότητα ενέργειας που παρέχει ένα ηλεκτρικό τόξο (54 kW/cm²) και συγκρίνεται μόνο με αυτή που παρέχει η δέσμη ηλεκτρονίων σε βιομηχανικές εφαρμογές. Αν επιπλέον ληφθούν υπόψη και τα υπόλοιπα χαρακτηριστικά του λέιζερ όπως η ικανότητα ισχυρή εστίασης (σε πολύ μικρές διαστάσεις), η ευκολία διαχείρισης και αυτοματοποίησης κάθε είδους διαδικασίας αλληλεπίδρασης λέιζερ με ύλη και η δυνατότητα λειτουργίας του σε κάθε περιβάλλον, το λέιζερ αποτελεί την ιδανικότερη πηγή θερμότητας. Αυτός άλλωστε είναι ο λόγος που οδήγησε στην ύπαρξη σήμερα πληθώρας βιομηχανικών εφαρμογών όπως κοπή, συγκόλληση, διάτρηση, επεξεργασία επιφάνειας και εγγραφή σε επιφάνεια.

Στη γενική περίπτωση, κάθε υλικό μπορεί να επεξεργαστεί με λέιζερ. Τα βασικά συστήματα λέιζερ που χρησιμοποιούνται στις βιομηχανικές εφαρμογές είναι τα CO₂, Nd και λέιζερ διεγερμένων διμερών, όπου το τελευταίο σε πολλές περιπτώσεις δρα χημικά, λόγω της μεγάλης ενέργειας των φωτονίων του, οπότε η αλληλεπίδραση ονομάζεται «κρύα». Στις βιομηχανικές εφαρμογές, η διαδικασία αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας λέιζερ με τα υλικά μπορεί να περιγραφεί ως εξής: όταν η ακτινοβολία προσπέσει στη επιφάνεια του υλικού, ένα μέρος της ανακλάται ενώ το υπόλοιπο απορροφάται. Επομένως η πρώτη παρατήρηση είναι ότι η δυνατότητα επεξεργασίας ενός υλικού με λέιζερ εξαρτάται (μεταξύ άλλων) από την απορρόφηση το υλικού (ή αντίστοιχα τη ανάκλαση του). Η απορροφούμενη ενέργεια μπορεί είτε να χρησιμεύσει στη συγκεκριμένη περιοχή σαν θερμική ενέργεια και να συμμετάσχει στη επεξεργασία του υλικού, είτε να μεταφερθεί σε γειτονική περιοχή με διάχυση είτε να χαθεί π.χ. λόγω επαναεκπομπής. Η θερμική ενέργεια που συμμετέχει στη διαδικασία, μπορεί απλώς να ζεστάνει το υλικό, ή να το λειώσει ή ακόμα και να το εξατμίσει. Η ακριβής απόκριση του υλικού καθορίζεται κυρίως από το είδος του (τις ιδιότητες του) και την ένταση της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Επομένως, η διαδικασία αλληλεπίδρασης της ακτινοβολίας με τη ύλη κατά τις βιομηχανικές εφαρμογές είναι μία σχετικά περίπλοκη διαδικασία που συχνά δεν είναι εύκολο να περιγραφεί από ένα απλό μοντέλο.

Γενικά, η φυσική διαδικασία που θα πραγματοποιηθεί κατά την αλληλεπίδραση ενός υλικού με λέιζερ εξαρτάται από την ένταση της εισερχόμενης ακτινοβολίας, το μήκος κύματος και τις ιδιότητες του υλικού. Για εντάσεις ακτινοβολίας έως και 10³ W/cm², το ποσοστό της απορροφούμενης ακτινοβολίας εξαρτάται από το μήκος κύματος, το υλικό και τη κατάσταση της επιφάνειας του υλικού και περιγράφεται πολύ καλά από την απορρόφηση του υλικού. Η κατάσταση αυτή αντιστοιχεί σε διαδικασίες επεξεργασίας επιφάνειας όπως σκλήρυνση. Σε εντάσεις 10³-10⁵ W/cm², το υλικό στην περιοχή αλληλεπίδρασης αρχίζει να λειώνει και η απορρόφηση του αρχίζει να εξαρτάται από τη θερμοκρασία. Η περίπτωση αυτή αντιστοιχεί σε συγκόλληση επαφής. Σε εντάσεις ~10⁶ W/cm² παρουσιάζεται εξάτμιση και στο σημείο αλληλεπίδρασης αρχίζει να σχηματίζεται μία οπή (keyhole) με διαστάσεις στο μέγεθος της διατομής του λέιζερ. Η ύπαρξη της οπής

έχει σαν αποτέλεσμα την αλματώδη αύξηση της απορρόφησης μέσα της, λόγω πολλαπλών ανακλάσεων (μέλαν σώμα) και το ποσοστό της εισερχόμενης ακτινοβολίας που συμμετέχει στην διαδικασία δεν εξαρτάται πλέον από τη απορρόφηση του υλικού και το μήκος κύματος. Η κατάσταση αυτή αντιστοιχεί σε κοπή, διάτρηση και συγκόλληση βάθους. Τέλος, σε εντάσεις $\sim 10^7$ W/cm² ή και μεγαλύτερες παρουσιάζεται εξαέρωση αλλά και έντονος ιονισμός που έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πλάσματος πάνω από την οπή. Το δημιουργούμενο πλάσμα μπορεί να απορροφήσει μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας και να ελαττώσει το ποσοστό της ενέργειας που φτάνει στο υλικό. Σε αυτή την περίπτωση είναι καλύτερη η χρήση μικρών μηκών κύματος γιατί η απορρόφηση τους από το πλάσμα είναι μικρότερη.

Οι δυνατότητες του λέιζερ σαν βασικό βιομηχανικό εργαλείο υπερβαίνουν κατά πολύ κάθε συμβατική τεχνική, ειδικά αν εκτός από τις τεράστιες δυνατότητες του λέιζερ σαν πηγή θερμότητας ληφθούν υπόψη και η ευκολία διαχείρισης και αυτοματοποίησης κάθε βιομηχανικής εφαρμογής με λέιζερ,. Είναι χαρακτηριστική η μεγάλη ευκολία μεταφοράς της δέσμης του λέιζερ με σύστημα κατόπτρων ή οπτική ίνα, η μεγάλη ταχύτητα μεταφοράς του σε μεγάλη απόσταση (ταχύτητα του φωτός), η μεγάλη ευκολία διαχείρισης και κίνησης της δέσμης του (π.χ. με ένα ρομποτικό βραχίονα ή γαλβανόμετρα) και η δυνατότητα λειτουργίας πολλαπλών σταθμών εργασίας ταυτόχρονα. Επιπλέον, κάθε βιομηχανική εφαρμογή είναι δυνατόν να λειτουργεί πλήρως αυτοματοποιημένα μέσω υπολογιστή και με δυνατότητα ελέγχου πραγματικού χρόνου (on-line monitoring) όλων των απαραίτητων παραμέτρων. Ιδιότητες όπως ισχύς, διατομή της δέσμης, θέση εστίασης, ταχύτητα κίνησης υλικού, θερμοκρασία και ποιότητα τελικού προϊόντος μπορεί να ελέγχονται συνεχώς και σε πραγματικό χρόνο ώστε να υπάρχει πλήρης καθοδήγηση της επεξεργασίας κάποιου υλικού.

Στις επόμενες παραγράφους θα περιγραφούν οι βασικότερες βιομηχανικές εφαρμογές των λέιζερ. Ιδιαίτερη έμφαση θα δοθεί στη κοπή και στη συγκόλληση καθώς αυτές αφενός είναι οι κύριες εφαρμογές και αφετέρου οι διαδικασίες αλληλεπιδράσεις και οι σχετικοί παράμετροι που τις περιγράφουν καθορίζουν πλήρως και τις υπόλοιπες εφαρμογές.

3.2 ΚΟΠΗ ΜΕ ΛΕΙΖΕΡ

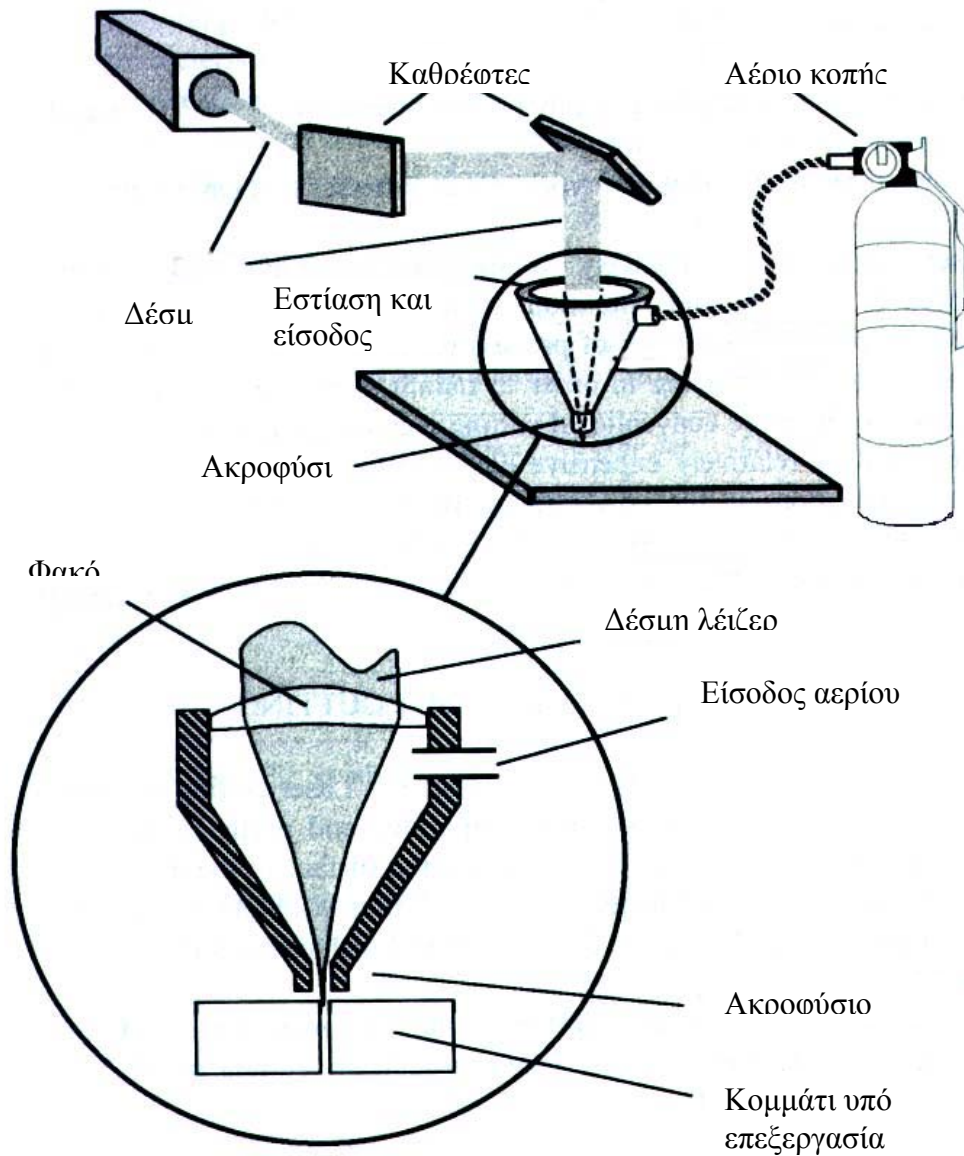
Η κοπή με λέιζερ υπήρξε η πρώτη βιομηχανική διεργασία στην οποία χρησιμοποιήθηκαν τα λέιζερ και σήμερα αποτελεί μία από τις πλέον διαδεδομένες εφαρμογές τους στη βιομηχανία. Οι βασικοί λόγοι που οδήγησαν στην πληθώρα εφαρμογών κοπής με λέιζερ είναι η ταχύτητα και η ποιότητα κοπής. Αναλυτικότερα, τα πλεονεκτήματα της κοπής λέιζερ σε σχέση με συμβατικές τεχνικές κοπής είναι:

α) το πλάτος κοπής είναι πολύ μικρό που συνεπάγεται οικονομία υλικού. Οι άκρες είναι καλά τετραγωνισμένες, ομαλές και καθαρές γεγονός που αφενός αποτρέπει την ανάγκη περαιτέρω επεξεργασίας. Επιπλέον, μπορεί να ακολουθήσει άμεσα συγκόλληση αν χρειαστεί. Τέλος η ζώνη που επηρεάζεται από τη θερμότητα είναι πολύ μικρή επομένως οι παραμορφώσεις του γειτονικού υλικού ελάχιστες.

β) η διαδικασία είναι ταχύτερη, με ελάχιστο θόρυβο, μπορεί εύκολα να αυτοματοποιηθεί, η επιλογή και η αλλαγή διεύθυνσης είναι πανεύκολη και δεν απαιτούνται επιπλέον εργαλεία.

γ) απαιτείται μόνο οπτική επαφή με το υλικό και σχεδόν όλα τα υλικά μπορούν να κοπούν με λέιζερ.

3.2.1 Βασικές αρχές. Η βασικές αρχές κοπής με λέιζερ φαίνονται στο Σχ. 3.1. Τα βασικά τμήματα της διάταξης είναι το λέιζερ, ένα οπτικό σύστημα καθοδήγησης-εστίασης της δέσμης και ένα σύστημα ελεγχόμενης μετακίνησης είτε της δέσμης είτε του δείγματος που υπόκειται σε επεξεργασία. Συστήματα λέιζερ που χρησιμοποιούνται στην κοπή είναι τα CO₂, Nd και λέιζερ διεγερμένων διμερών. Το σύστημα καθοδήγησης της δέσμης αποτελείται από κάτοπτρα υψηλής ανακλαστικότητας ή ειδικά για τα Nd λέιζερ μπορεί να είναι οπτική ίνα. Το σύστημα εστίασης μπορεί να αποτελείται από διαπερατά ή ανακλαστικά οπτικά. Τα διαπερατά οπτικά είναι φακοί κουάρτς στην περίπτωση των λέιζερ Nd και διεγερμένων διμερών και φακοί από ZnSe, GaAs ή CdTe για το CO₂ λέιζερ. Αντίστοιχα, τα ανακλαστικά οπτικά αποτελούνται από παραβολικά κάτοπτρα.



Σχήμα 3.1 Αρχές λειτουργίας στην κοπή με λέιζερ

Η εστιασμένη δέσμη οδηγείται στο υλικό συνήθως ομοαξονικά με κάποιο αέριο. Ανάλογα με το υλικό υπό κοπή, το λέιζερ υπό χρήση και τη διαδικασία που ακολουθείται, το αέριο μπορεί να λειτουργεί είτε για ενίσχυση της διαδικασίας είτε για αδρανοποίηση του υλικού που κόβεται. Η ενίσχυση της διαδικασίας κοπής επιτυγχάνεται είτε με αδρανές είτε με ενεργό αέριο. Στην πρώτη περίπτωση, το αέριο είναι πεπιεσμένος αέρας/αέριο που μέσω της ισχυρής ροής απομακρύνει από το σημείο κοπής το λειωμένο υλικό και τους δημιουργούμενους ατμούς,

ενισχύοντας αφενός την απορρόφηση και βοηθώντας αφετέρου την ευκολότερη είσοδο της δέσμης στα βαθύτερα στρώματα. Στη δεύτερη περίπτωση, η οποία εφαρμόζεται σε μεταλλικά δείγματα όπως σίδηρο, η χρήση οξυγόνου έχει σαν αποτέλεσμα την ενίσχυση της θερμικής διαδικασίας και κατ' επέκταση της ταχύτητας κοπής λόγω της δημιουργούμενης εξώθερμης αντίδρασης.

Η αδρανοποίηση του υλικού είναι επιθυμητή στα μεταλλικά δείγματα και σχετίζεται με τη ελαχιστοποίηση των οξειδώσεων. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιείται αργό ή άζωτο. Τέλος η ροή αερίου σε κάθε περίπτωση λειτουργεί προστατευτικά για τα οπτικά εστίασης καθώς απομακρύνει από αυτά τους ατμούς και το πλάσμα.

3.2.2 Μέθοδοι κοπής με λέιζερ. Ανάλογα με το υπό κοπή υλικό και το λέιζερ υπό χρήση, υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι κοπής των υλικών. Αυτές είναι κυρίως θερμικές όπως η εξάτμιση, το λιώσιμο σε συνδυασμό με απομάκρυνση του λειωμένου υλικού και το λιώσιμο σε συνδυασμό με καύση και απομάκρυνση του λειωμένου υλικού. Επιπλέον, σε ειδικές περιπτώσεις μπορεί να εφαρμοστεί η κοπή με σπάσιμο λόγω θερμικής τάσης, η χάραξη και η «κρύα κοπή». Αναλυτικότερα η κάθε μέθοδος κοπής λειτουργεί ως εξής:

α) Κοπή με εξάτμιση. Είναι η συνήθης μέθοδος κοπής με παλμικά λέιζερ και για υλικά που δεν λειώνουν όπως ξύλο, άνθρακας και μερικά πλαστικά. Η βασική αρχή αυτής της διαδικασίας είναι ότι η ένταση της εισερχόμενης ακτινοβολίας είναι αρκετή ώστε η επιφάνεια του υλικού να θερμανθεί σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από το σημείο βρασμού. Επομένως το υλικό της επιφάνειας εξατμίζεται και δημιουργείται μία οπή (keyhole-κλειδαρότρυπα). Το μέγεθος της οπής αυξάνεται γρήγορα λόγω της αύξησης της απορρόφησης του υλικού εξαιτίας των πολλαπλών ανακλάσεων μέσα στην οπή. Η αύξηση της απορρόφησης αυξάνει τον ρυθμό εξάτμισης και το υλικό υπό μορφή ατμών απομακρύνεται από το εσωτερικό της οπής. Επιπλέον, κατά τη διάρκεια της απομάκρυνσης τους, οι ατμοί σταθεροποιούν τα τυχόν λειωμένα γειτονικά τοιχώματα.

Ο ρυθμός διείσδυσης της δέσμης μέσα στο υλικό και ο χρόνος που απαιτείται για να προκληθεί εξάτμιση εξαρτάται από το είδος του υλικού. Τυπικές τιμές των δύο

αυτών παραμέτρων εμφανίζονται στον Πίνακα 3.1 όπου οι τιμές αντιστοιχούν σε λέιζερ 2 kW εστιασμένο σε ακτίνα διατομής 0.1 mm. Σχετικά με τη ζώνη που επηρεάζεται από τη θερμότητα, για την περίπτωση του σιδήρου και κατά τη διάρκεια των 0.3 μsec που απαιτούνται για να προκληθεί εξάτμιση, η αναπτυσσόμενη θερμότητα έχει εισχωρήσει σε περιοχή περίπου 2 μm μόνο γύρω από το σημείο αλληλεπίδρασης.

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.1 Ρυθμός διείσδυσης της δέσμης και χρόνος εξάτμισης διαφόρων υλικών

Υλικό	Ρυθμός διείσδυσης (m/sec)	Χρόνος εξάτμισης (μsec)
Βολφράμιο	0.64	3
Αλουμίνιο	1.9	0.6
Σίδηρος	1	0.3
Τιτάνιο	1.1	0.09
Ανοξείδωτος χάλυβας	0.97	0.4

Η ποιότητα της κοπής εξαρτάται από το ποσοστό λειωμένου υλικού που δημιουργείται και το οποίο προκαλεί γραμμώσεις στην επιφάνεια του υλικού και στα τοιχώματα της κοπής. Επομένως είναι απαραίτητο η θερμοκρασία βρασμού να προσεγγίζεται σε όσο το δυνατόν μικρότερο χρόνο. Σε αυτή τη περίπτωση αποφεύγονται και τα φαινόμενα τάσης στην επιφάνεια.

β) Κοπή με λιώσιμο και απομάκρυνση. Η ένταση ακτινοβολίας είναι μικρότερη από αυτή που απαιτείται για να προκληθεί εξάτμιση στο υλικό, η θερμοκρασία αυξάνεται έως το σημείο τήξης του υλικού και το υλικό που λειώνει απομακρύνεται από την τομή που προκαλεί το λέιζερ (cut kerf) με ισχυρή ροή αερίου. Επομένως η δέσμη του λέιζερ έρχεται συνεχώς σε επαφή με νέο υλικό και η διαδικασία λιώσιμο υλικού-απομάκρυνση υλικού συνεχίζεται μέχρι το υλικό να κοπεί. Το κυριότερο πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας είναι η χρήση πολύ μικρότερης ισχύος, περίπου το ένα δέκατο, από αυτή που απαιτείται στην κοπή με εξάχνωση.

γ) Κοπή με λιώσιμο, καύση και απομάκρυνση. Αν το αέριο που χρησιμοποιείται για την απομάκρυνση του λειωμένου υλικού μπορεί να αλληλεπιδράσει εξώθερμα με το υπό κοπή υλικό, μία επιπλέον ποσότητα θερμότητας προστίθεται στην όλη διαδικασία. Ειδικότερα, αν το αέριο είναι καθαρό οξυγόνο ή μείγμα οξυγόνου, η ροή

του στη τομή του υλικού δεν απομακρύνει απλώς το λειωμένο υλικό αλλά ταυτόχρονα υπάρχει αλληλεπίδραση και προκαλείται καύση. Η επιπλέον εκλυόμενη θερμότητα κάνει την κοπή περισσότερο αποδοτική και αυξάνει την ταχύτητα κοπής. Το ποσοστό που συμμετέχει η διαδικασία καύσης στην συνολική ποσότητα θερμότητας που παρέχεται στην κοπή του υλικού εξαρτάται από το είδος του υλικού. Σαν παράδειγμα υπάρχει 40% και 80% ενεργειακή συμμετοχή της καύσης στην κοπή σιδήρου και τιτανίου αντίστοιχα, που συνεπάγεται τουλάχιστο διπλασιασμό της ταχύτητας κοπής.

Το μειονέκτημα το οποίο μπορεί να παρουσιαστεί κατά την παραπάνω διαδικασία κοπής είναι οι πιθανές χημικές αλλαγές του υλικού κυρίως λόγω οξείδωσης. Σε μερικά υλικά όπως ο σίδηρος δεν δημιουργούνται προβλήματα από την οξείδωση εκτός από την ύπαρξη μικρού στρώματος οξειδίου στην επιφάνεια. Σε άλλα όμως υλικά όπως το τιτάνιο, η ύπαρξη οξειδίου στην επιφάνεια του έχει σαν αποτέλεσμα την σκλήρυνση του υλικού και την ευκολότερη θραύση του.

δ) Κοπή με θραύση λόγω θερμικής τάσης. Αν σε ένα εύθραυστο υλικό με ευπάθεια σε θερμική θραύση δημιουργηθεί ένα ραγίσμα με λέιζερ, το ραγίσμα αυτό μπορεί να κινηθεί με τη βοήθεια του λέιζερ σε καθορισμένη διεύθυνση και το υλικό να κοπεί. Το αρχικό ραγίσμα καθώς και η κίνηση του ραγίσματος βασίζονται στη διαστολή του τμήματος του υλικού που θερμαίνεται λόγω απορρόφησης της ακτινοβολίας του λέιζερ. Η διαστολή δημιουργεί τάσεις στην γύρω περιοχή που προκαλούν την θραύση

Υλικό	Πάχος (mm)	Παρεχόμενη ισχύς (W)	Ρυθμός διαχωρισμού (m/sec)
Γυαλί	0.7	7	0.3
	1	16	0.08
Γυαλί με Na, Ca	1	10	0.3
Ζαφείρι	1.2	12	0.08
Κουάρτς	0.8	3	0.61

ΠΙΝΑΚΑΣ 3.2 Ρυθμός διαχωρισμού κατά την κοπή με θραύση

του υλικού. Η ταχύτητα κίνησης της ρωγμής στο υλικό εξαρτάται από το υλικό όπως φαίνεται στο Πίνακα 3.2.

Η κοπή με θραύση παρουσιάζει θαυμάσια αποτελέσματα σε διάφορα είδη γυαλιού όπου η ακρίβεια κοπής και η ποιότητα των άκρων είναι πολύ καλή κυρίως για κοπές σε ευθεία γραμμή. Πρόβλημα παρουσιάζεται μόνο στις κοπές κυρτών σχημάτων και σχετίζεται με το κλείσιμο του σχήματος.

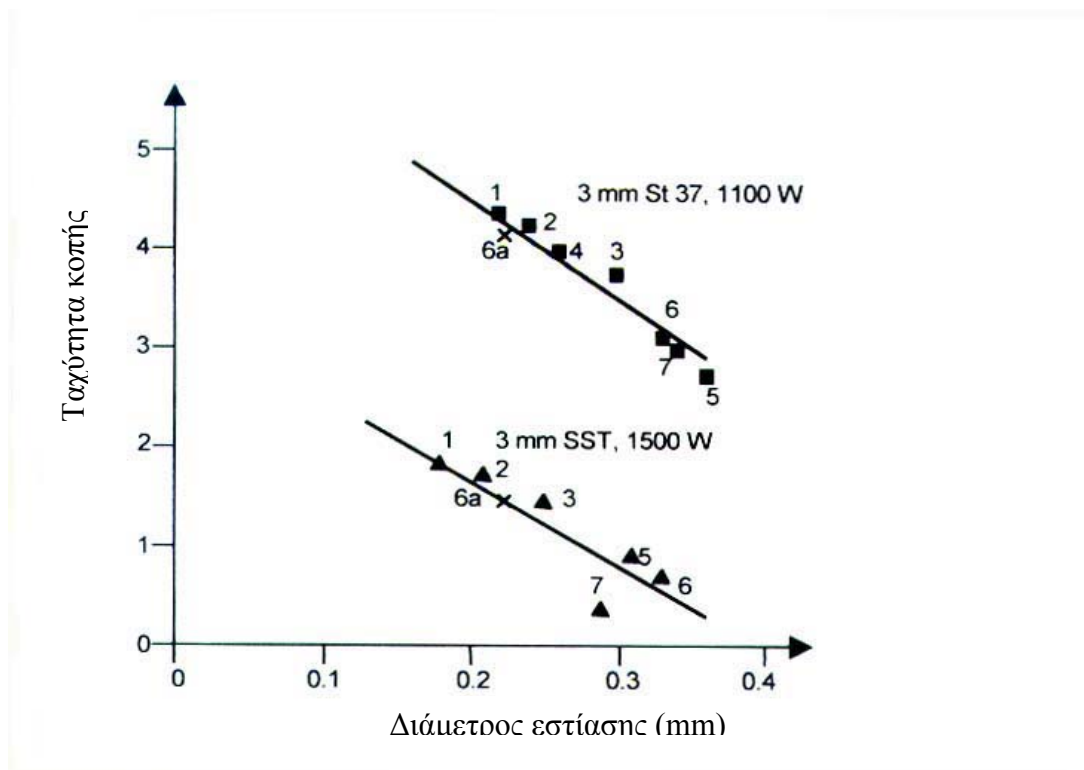
ε) Κοπή με χάραξη. Αν σε μία περιοχή ενός υλικού δημιουργηθεί με χρήση λέιζερ είτε μία σειρά από τρύπες είτε μία αυλακιά, η περιοχή αυτή θα παρουσιάσει εξασθένηση και θα υπάρχει αυξημένη δυνατότητα μηχανικής θραύσης του υλικού. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για κοπή λεπτών φύλλων πυριτίου και αλουμινίου και η ποιότητα κοπής εξαρτάται αφενός από τη ύπαρξη η όχι υπολειμμάτων υλικού (debris) και το μέγεθος της ζώνης του υλικού που επηρεάζεται από τη θερμοκρασία. Επομένως κατά την κοπή με χάραξη πρέπει να αποφεύγεται η χρήση ισχυρής έντασης ακτινοβολίας.

ζ) Κρύα κοπή. Η χρήση φωτονίων μεγάλης ενέργειας (π.χ. υπεριώδη φωτόνια από λέιζερ διεγερμένων διμερών) έχει σαν αποτέλεσμα την διάσπαση των χημικών δεσμών σε οργανικά υλικά καθώς η ενέργεια ανά φωτόνιο υπερβαίνει την ενέργεια του δεσμού. Επομένως, αν οργανικά υλικά όπως πλαστικά ακτινοβοληθούν με λέιζερ διεγερμένων διμερών, το υλικό αποδομείται χημικά και απομακρύνεται χωρίς να αυξηθεί τοπικά η θερμοκρασία. Έτσι επιτυγχάνεται «κρύα κοπή» καλής ποιότητας με λεία επιφάνεια κοπής χωρίς καταστροφή στις άκρες.

3.2.3 Παράμετροι κοπής με λέιζερ.

Υπάρχουν πολλές παράμετροι που επηρεάζουν την κοπή με λέιζερ και η επίδραση κάθε μίας από αυτές εξαρτάται αφενός από το υπό κοπή υλικό και αφετέρου από τη διαδικασία που ακολουθείται:

α) Ιδιότητες δέσμης λέιζερ. Οι ιδιότητες της δέσμης που επηρεάζουν την κοπή είναι η διατομή της δέσμης στο σημείο εστίασης και το σημείο αλληλεπίδρασης (αν είναι διαφορετικά), η ισχύς, η πόλωση και το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Κατ' αρχάς, το μέγεθος της διατομής της δέσμης επηρεάζει διπλά την κοπή καθώς μία μικρή διατομή (π.χ. 100 μm) συνεπάγεται αφενός μεγάλη ένταση ακτινοβολίας που επιτρέπει μεγάλες ταχύτητες κοπής (Σχ.3.2) και αφετέρου προκαλεί κοπές ακριβείας. Επιπλέον, η ποιότητα της κοπής επηρεάζεται αρκετά και από το ρυθμό ταλάντωσης του λέιζερ (mode). Η κοπή με TEM₀₀ λέιζερ είναι άριστης ποιότητας αλλά ακόμα και λέιζερ που λειτουργούν σε ανώτερους ρυθμούς ταλάντωσης επιτρέπουν ποιότητα κοπής τουλάχιστον συγκρίσιμη με αυτήν από πλάσμα. Σχετικά με την ισχύ της ακτινοβολίας, αυτή επηρεάζει και την ταχύτητα κοπής αλλά και το είδος της



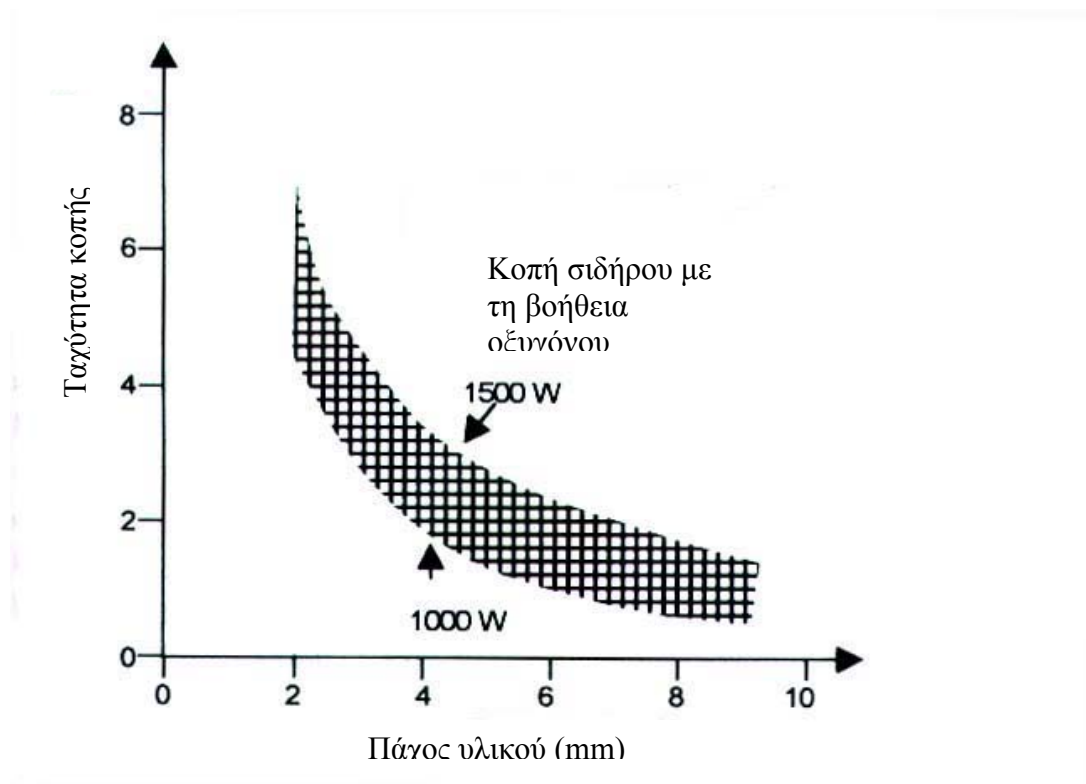
Σχήμα 3.2 Ταχύτητα κοπής σαν συνάρτηση της εστίασης του λέιζερ

διαδικασίας που ακολουθείται (Σχ.3.2). Η πόλωση της δέσμης επηρεάζει την κοπή κυρίως λόγω της επίδρασης της στην απορρόφηση του υλικού. Είναι γνωστό ότι οι δέσμες με επίπεδο πόλωσης κάθετο στο επίπεδο πρόσπτωσης (s-πόλωση) υφίστανται μεγαλύτερη ανάκλαση ενώ δέσμες πολωμένες παράλληλα στο επίπεδο πρόσπτωσης (p-πόλωση) μεγαλύτερη απορρόφηση. Επομένως κατά την κοπή είναι προτιμότερο η δέσμη να είναι πολωμένη παράλληλα στο επίπεδο πρόσπτωσης. Όμως, επειδή πολλές φορές είναι δύσκολο να ελεγχθεί και να διατηρηθεί η γραμμική πόλωση της δέσμης, η επιλογή μίας κυκλικής πόλωσης είναι αποδοτικότερη.

Τέλος το μήκος κύματος της ακτινοβολίας επηρεάζει επίσης διπλά την κοπή με λέιζερ. Μικρά μήκη κύματος ευνοούν αφενός την ισχυρή εστίαση και αφετέρου την απορρόφηση της ακτινοβολίας ειδικά για τις μεταλλικές επιφάνειες. Όμως σε κάθε περίπτωση πρέπει να λαμβάνεται υπόψη ότι υπάρχει εξάρτηση της τελικής εστίασης και από άλλους παράγοντες (όπως το ρυθμό ταλάντωσης του λέιζερ) και της απορρόφησης από το είδος του υλικού και τα δημιουργούμενα πλάσμα, ατμούς και οξειδία.

β) Ιδιότητες συστήματος μεταφοράς και εστίασης της δέσμης. Η ταχύτητα κοπής πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά και με κριτήρια την καλή ποιότητα κοπής και την απουσία οξειδίων και τραχύτητας στην επιφάνεια. Για να γίνει αυτό εφικτό πρέπει να

υπάρξει μία εξισορρόπηση μεταξύ της εισερχόμενης ισχύος και της ταχύτητας κοπής λαμβάνοντας ταυτόχρονα υπόψη το πάχος του υλικού. Σαν παράδειγμα κατά την κοπή σιδήρου υπό σταθερή ισχύ, η μικρή ταχύτητα κοπής δημιουργεί αρκετή



Σχήμα 3.3 Ταχύτητα κοπής σαν συνάρτηση του πάχους του υλικού για διάφορες ισχύεις

ταχύτητα στην επιφάνεια ενώ σε πολύ μεγάλη ταχύτητα εμφανίζονται οξείδια καθώς η ενέργεια που προσφέρεται στο σύστημα δεν είναι αρκετή.

Για τη εστίαση της δέσμης στις διαδικασίες κοπής συνήθως χρησιμοποιείται φακός που επιτρέπει ισχυρότερη εστίαση και μικρότερες διατομές της δέσμης στο σημείο εστίασης. Παράμετροι που επηρεάζουν την κοπή είναι η εστιακή απόσταση του φακού καθώς και η θέση του εστιακού επιπέδου σε σχέση με την επιφάνεια. Η εστιακή απόσταση του φακού επηρεάζει διπλά την κοπή καθώς καθορίζει αφενός τη διατομή της δέσμης στο σημείο εστίασης και αφετέρου το βάθος εστίασης (περιοχή στη διαδρομή της δέσμης όπου η ένταση ακτινοβολίας διατηρεί μεγάλη τιμή). Σαν παράδειγμα, φακός μικρής εστιακής απόστασης προκαλεί μικρή διατομή της δέσμης στο σημείο εστίασης αλλά και μικρό βάθος εστίασης, επομένως είναι καλός για την κοπή υλικών μικρού πάχους. Αντίθετα, στα υλικά μεγαλύτερου πάχους, το βάθος εστίασης πρέπει να αυξηθεί και απαιτείται φακός μεγαλύτερης εστιακής απόστασης.

Η θέση της εστίασης σε σχέση με την επιφάνεια επηρεάζει την ποιότητα κοπής, όμως δεν υπάρχει κάποιος γενικός κανόνας που πρέπει να ακολουθείται και πρέπει να

γίνονται προκαταρτικές δοκιμές για όλα τα υλικά. Συνήθως η εστίαση γίνεται προς το εσωτερικό του υλικού και το ακριβές βάθος εξαρτάται από το υλικό και το πάχος. Σαν παράδειγμα, στην περίπτωση του σιδήρου, η θέση εστίασης επιλέγεται σε βάθος μεταξύ του 1/3 και 1/2 του πάχους του υλικού.

γ) Ιδιότητες αερίου. Όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η χρήση του αερίου σχετίζεται γενικά με την απομάκρυνση του λειωμένου υλικού, των ατμών και του πλάσματος. Επομένως, όσο μεγαλύτερη είναι η ταχύτητα του αερίου τόσο ταχύτερα γίνεται αυτή η απομάκρυνση και η αλληλεπίδραση του λέιζερ με νέο υλικό θα γίνεται ευκολότερα. Αντίθετα, σε μικρές ταχύτητες όπου η απομάκρυνση του υλικού είναι αργή υπάρχει αυξημένη παραγωγή οξειδίων.

Η καλή ευθυγράμμιση της δέσμης του λέιζερ με την δέσμη αερίου βοηθά σε καλή κοπή με ελάχιστη τραχύτητα και ελάχιστη παραγωγή οξειδίων. Ταυτόχρονα, η απόσταση του ακροφυσίου από την επιφάνεια του υλικού πρέπει να είναι σχετικά μικρή (~1 mm) καθώς σε μεγαλύτερες αποστάσεις δημιουργούνται στροβιλισμοί και μεγάλες ανομοιομορφίες στην πίεση που λειτουργούν αρνητικά στη διαδικασία κοπής. Στην περίπτωση που χρησιμοποιείται οξυγόνο (ή μείγμα που περιέχει οξυγόνο) σαν επιπλέον πηγή θερμότητας, η πίεση του αερίου καθορίζει την περιοχή της επιφάνειας που επηρεάζεται από τη θερμότητα. Επιπλέον, μεγάλη πίεση οξυγόνου μπορεί να αυξήσει την τραχύτητα της επιφάνειας κοπής λόγω μεγάλης καύσης.

δ) Ιδιότητες υλικού. Οι οπτικές και θερμικές ιδιότητες του υπό κοπή υλικού παίζουν ουσιαστικότατο ρόλο στη απόδοση και την ποιότητα της κοπής με λέιζερ. Σαν παράδειγμα, η απορρόφηση (ή η ανάκλαση) του υλικού καθορίζει το ποσοστό της εισερχόμενης ενέργειας που θα συμμετέχει στη διαδικασία κοπής όμως η ακριβής τιμή της απορρόφησης εξαρτάται και από τα δημιουργούμενα οξείδια και το πλάσμα. Ταυτόχρονα, το σημείο τήξεως, το σημείο βρασμού, η ειδική θερμότητα και η σταθερά διάχυσης της θερμότητας του υλικού καθορίζουν τη εξέλιξη της διαδικασίας κοπής. Σε κάθε περίπτωση τα βασικά σημεία προσοχής είναι: η απορροφούμενη ισχύς να είναι αρκετή για να προκληθεί η διαδικασία κοπής και ταυτόχρονα η ισχύς αυτή να μην καταστρέφει το υλικό.

3.2.4 Ποιότητα κοπής με λέιζερ.

Το κυριότερο χαρακτηριστικό των τομών από θερμική κοπή με λέιζερ είναι η ύπαρξη γραμμώσεων στην τομή. Πολλά μοντέλα έχουν προταθεί για να εξηγηθεί η ύπαρξη τους όμως δεν είναι ακόμα γνωστός ο ακριβής μηχανισμός της δημιουργία

τους. Σε κάθε περίπτωση όμως η δομή των γραμμώσεων σχετίζεται στενά με την ποιότητα κοπής, την τραχύτητα της επιφάνειας και την ύπαρξη οξειδίων.

Η τραχύτητα της τομής είναι συνήθως ελάχιστη κυρίως για υλικά μικρού πάχους (Σχ.3.4). Για παράδειγμα, στο σίδηρο η τραχύτητα κυμαίνεται από 20 μm έως 60 μm για πάχος υλικού 1 mm έως 8 mm αντίστοιχα. Γενικά, για υλικά πάχους λίγων mm η τραχύτητα δεν υπερβαίνει τα 20 μm . Όμως παρουσιάζεται αρκετά ενισχυμένη κατά την κοπή με συνεχές λέιζερ παρουσία οξυγόνου. Σχετικά με την περιοχή του υλικού που επηρεάζεται από τη θερμοκρασία, αυτή εξαρτάται από το υλικό και την ισχύ της εισερχόμενης ακτινοβολίας. Γενικά όμως είναι σχετικά μικρή (για τον σίδηρο είναι έως 0.25 mm).

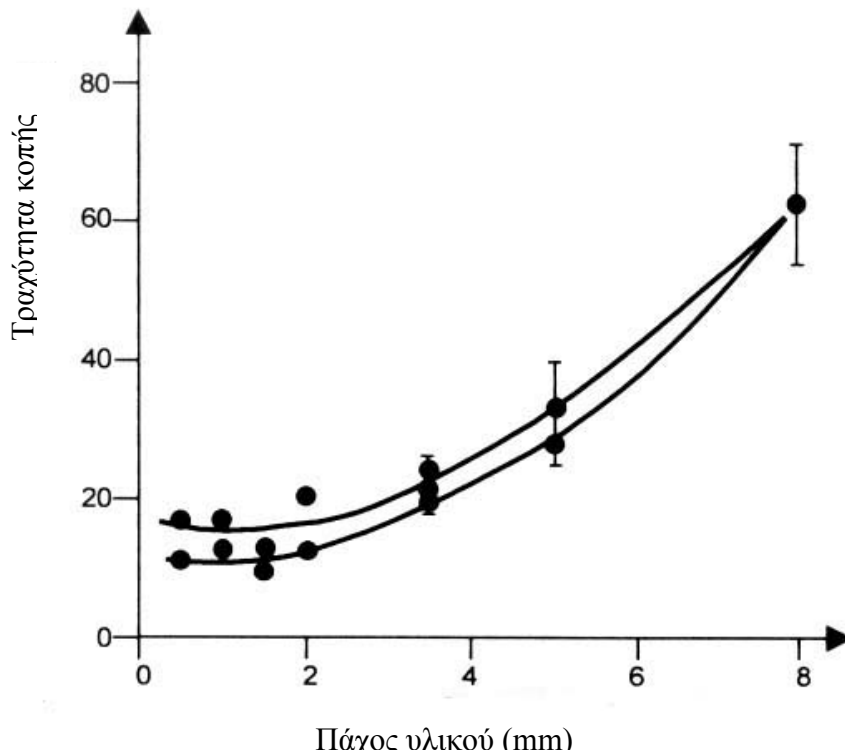
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.3 Παραδείγματα κοπής υλικών.

υλικό	Δυνατότητα κοπής	πάχος (mm)	Ταχύτητα κοπής για πάχος 2 mm (m/min)
Σίδηρος	+++++	<15	6
Ατσάλι	++++	<10	5
Αλουμίνιο	++	<6	3.5
Τιτάνιο	+++	<10	8
Νικέλιο	++	<3	2
Χαλκός	+	<3	0.5
Κεραμικά	+++++	<5	-
Ακρυλικά	+++++	<25	5
Νάυλον	+++++	<20	-
Ξύλο	++++	<25	2
Γυαλί	++++	<5	2
Λάστιχο	+++	<5	3.5
Δέρμα	+++++	<12	-
Χαρτί	+++++	<6	25

Τέλος, σχετικά με τις δυνατότητες του λέιζερ σε κοπή διαφόρων υλικών, στο Πίνακα 3.3 παρουσιάζεται μία σειρά αποτελεσμάτων κοπής από λέιζερ CO₂ όπου όσο περισσότεροι σταυροί υπάρχουν σε ένα υλικό τόσο ευκολότερα κόβεται με λέιζερ. Όπως φαίνεται σχεδόν όλα τα υλικά κόβονται με το λέιζερ με πολύ καλή έως ικανοποιητική απόδοση.

3.2.5 Παραδείγματα κοπής με λέιζερ.

Τα παραδείγματα κοπής με λέιζερ είναι πάρα πολλά καθώς όπως αναφέρθηκε νωρίτερα, η κοπή αποτελεί την κυριότερη βιομηχανική εφαρμογή των λέιζερ. Το

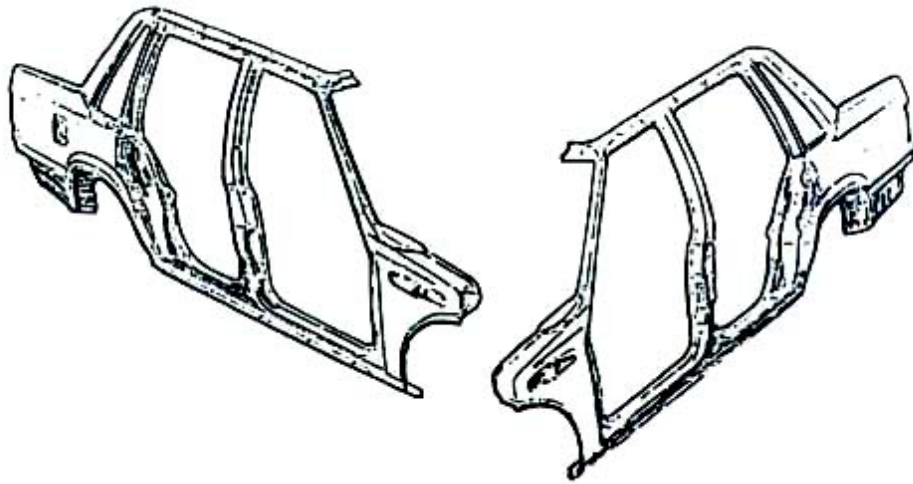


Σχήμα 3.4 Τραχύτητα επιφάνειας κοπής σε συνάρτηση με το πάχος του υλικού

βασικό πρόβλημα που παρουσιάζεται στην ανάπτυξη μονάδων κοπής με λέιζερ είναι συνήθως το μεγάλο κόστος των μηχανημάτων δηλαδή του λέιζερ. Όμως, η ελαχιστοποίηση του χρόνου που απαιτείται για την ολοκλήρωση ενός κύκλου παραγωγής, η ποιότητα κοπής που επιτυγχάνεται και η δυνατότητα κοπής σε μη φιλικά περιβάλλοντα αποτελούν τα μεγάλα πλεονεκτήματα που οδήγησαν την κοπή με λέιζερ σε μεγάλη ανάπτυξη.

Μερικές από τις κυριότερες εφαρμογές κοπής με λέιζερ είναι:

- α) Κοπή σωλήνων κουάρτς για την κατασκευή λαμπών αλογόνου για τα αυτοκίνητα. Τα οφέλη της χρήσης λέιζερ είναι αφενός η μεγάλη εξοικονόμηση υλικού, 4 μέτρα σωλήνα σε μία ώρα κοπής, και αφετέρου η ελαχιστοποίηση ατμών και σκόνης που σε συμβατικές τεχνικές απαιτούν τεράστια συστήματα εξαερισμού.
- β) Κοπή υφασμάτων στην αυτοκινητοβιομηχανία όπως μοκέτες δαπέδου, καλύμματα καθισμάτων.
- γ) κοπή ραδιενεργών υλικών τα οποία βρίσκονται σε απομονωμένο μέρος και η απαιτούμενη πρόσβαση είναι μόνο οπτική
- δ) κοπή πλαστικών όπου όμως απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή λόγω των αναθυμιάσεων
- ε) κοπή τρισδιάστατων κομματιών από ατσάλι και κραμάτων τιτανίου στην βιομηχανία αεροπλάνων όπου η οικονομία σε ανθρωποώρες είναι τεράστια



Σχήμα 3.5 Κοπή τμημάτων αυτοκινήτου με λέιζερ

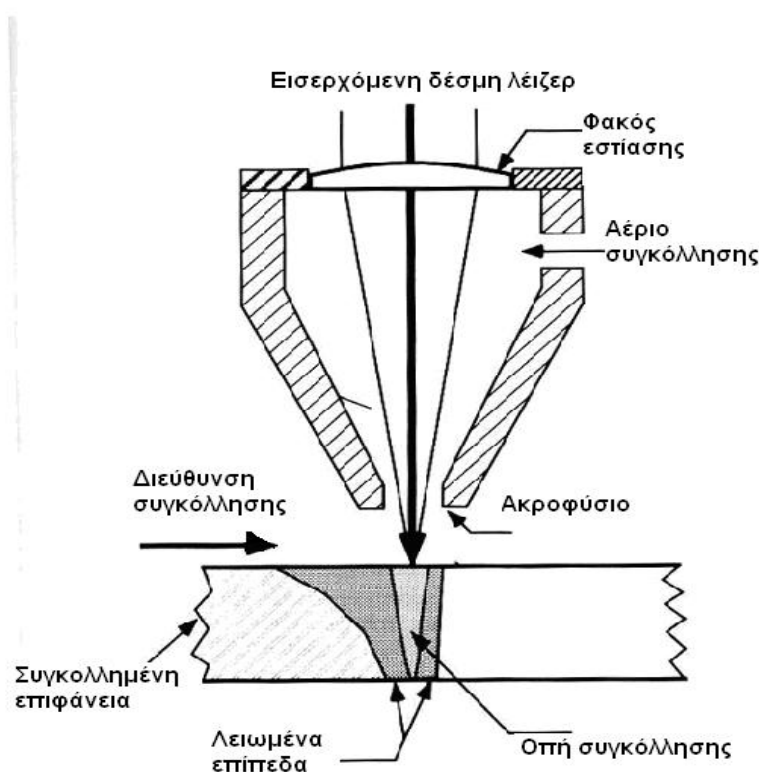
- ζ) κοπή σκληρών και εύθραυστων κεραμικών όπως SiN με ταχύτητα κοπής 10 φορές μεγαλύτερη από αυτή με διαμάντι
- η) κοπή κραμάτων αλουμινίου με εξοικονόμηση 60-70% σε κόστος
- θ) κοπή μεταλλικών κομματιών αυτοκινήτων με μεγάλη εξοικονόμηση σε κόστος και χρόνο (Σχ.3.5).

3.3 ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΜΕ ΛΕΙΖΕΡ

Παράλληλα με τις πρώτες βιομηχανικές χρήσεις των λέιζερ σε κοπή έγιναν προσπάθειες να επεκταθεί η χρήση τους και στη συγκόλληση. Οι πρώτες εκτιμήσεις σε σχέση με την δυνατότητα συγκόλλησης με λέιζερ ήταν αρνητικές, καθώς η διαθέσιμη ισχύς των λέιζερ δεν ήταν αρκετή. Όμως, μετά το 1970 και τη χρήση λέιζερ CO₂ ισχύος αρκετών kW ανακαλύφθηκε το φαινόμενο κλειδαρότρυπας (keyhole) το οποίο έδωσε μεγάλη ώθηση στη χρήση του λέιζερ σε εφαρμογές συγκόλλησης. Σήμερα οι εφαρμογές της συγκόλλησης με λέιζερ επεκτείνονται σε διάφορα πεδία όπως αυτοκινητοβιομηχανία, άμυνα, μεταφορές, ηλεκτρικές συσκευές και ενέργεια. Οι βασικές ιδιότητες των λέιζερ που έδωσαν την μεγάλη ώθηση στις εφαρμογές συγκόλλησης είναι:

- α) η μεγάλη ένταση ακτινοβολίας. Με τη χρήση λέιζερ Nd και CO₂ συνεχούς λειτουργίας και ισχύος 10^5 - 10^7 W/cm² είναι εφικτές θερμοκρασίες έως και 20000 K. Σαν αποτέλεσμα, η ικανότητα και η ποιότητα συγκόλλησης μπορεί να συγκριθεί μόνο με αυτήν της συγκόλλησης με δέσμη ηλεκτρονίων. Ταυτόχρονα η συνολικά απαιτούμενη ποσότητα ενέργειας για τη δημιουργία της συγκόλλησης είναι πολύ μικρότερη από αυτή που απαιτείται σε άλλες συμβατικές μεθόδους.
- β) ευελιξία στη μεταφορά δέσμης. Η δέσμη του λέιζερ μπορεί να μεταφερθεί εύκολα (με σύστημα κατόπτρων ή οπτική ίνα) και με μεγάλη ταχύτητα (ταχύτητα του φωτός) σε διάφορα σημεία και σε μεγάλη απόσταση. Επομένως είναι δυνατόν να λειτουργούν ταυτόχρονα ή παράλληλα πολλοί σταθμοί εργασίας.
- γ) έλεγχος στην υπό εφαρμογή ένταση ακτινοβολίας. Με κατάλληλη οπτική διάταξη και σύστημα υπολογιστή μπορεί να επιλεγεί και να εφαρμοστεί ακριβώς η απαιτούμενη ένταση ακτινοβολίας και το επιθυμητό μέγεθος της δέσμης στο

σημείο συγκόλλησης. Επιπλέον η κατάλληλη οπτική διάταξη κάνει αφενός εφικτή την πρόσβαση σε δύσκολα σημεία και αφετέρου βοηθά στην μεταβολή των παραμέτρων συγκόλλησης (π.χ. το βάθος).



Σχήμα 3.6 Διαδικασία συγκόλλησης με λέιζερ

3.3.1 Διαδικασία συγκόλλησης με λέιζερ.

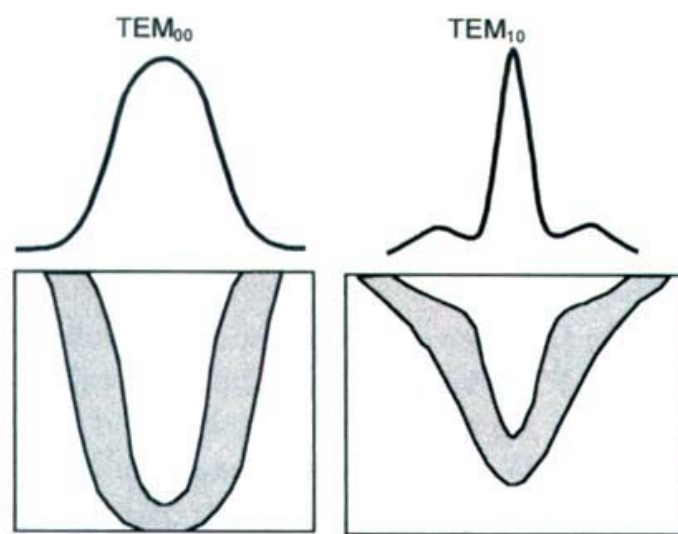
Η συγκόλληση με λέιζερ είναι βασικά θερμική διαδικασία. Αν δύο υλικά τοποθετηθούν σε επαφή και υπάρξει αλληλεπίδραση του λέιζερ με αυτά στο κοινό τους σημείο, τα υλικά θα λειώσουν μέσα σε μερικά εκατοστά του δευτερολέπτου (Σχ.3.6). Όταν η δέσμη του λέιζερ απομακρυνθεί από τη περιοχή, το λειωμένο υλικό επαναστεροποιείται και δημιουργείται η συγκόλληση των δύο υλικών. Υπάρχουν δύο είδη συγκόλλησης με λέιζερ, η βάθους (ή οπής-keyhole) και η επαφής. Στην πρώτη περίπτωση τα υλικά έρχονται σε επαφή και το σύστημα λέιζερ παρέχει ενέργεια αρκετή για αύξηση της θερμοκρασίας πάνω από το σημείο βρασμού. Με τη απομάκρυνση ατμών υλικού δημιουργείται μία οπή που προκαλεί αύξηση της απορρόφησης και το λιώσιμο προχωρά βαθύτερα. Μετά την επαναστεροποίηση, δημιουργείται μία συγκόλληση μεγάλου βάθους που είναι πολύ ισχυρή. Στην περίπτωση συγκόλλησης επαφής, αφού έρθουν σε επαφή τα υλικά, τους παρέχεται ενέργεια αρκετή μόνο για το λιώσιμο τους σε μικρό βάθος. Μετά την επαναστεροποίηση, δημιουργείται συγκόλληση σχεδόν επιφανειακή η οποία όμως δεν παρουσιάζει την ίδια ποιότητα με τη συγκόλληση βάθους.

3.3.2 Παράμετροι συγκόλλησης με λέιζερ.

Η ποιότητα, το σχήμα, η σταθερότητα και η αντοχή της συγκόλλησης με λέιζερ είναι συνάρτηση διαφόρων παραμέτρων όπως τα χαρακτηριστικά της δέσμης, τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας και τη μορφή της σύνδεσης. Αναλυτικότερα:

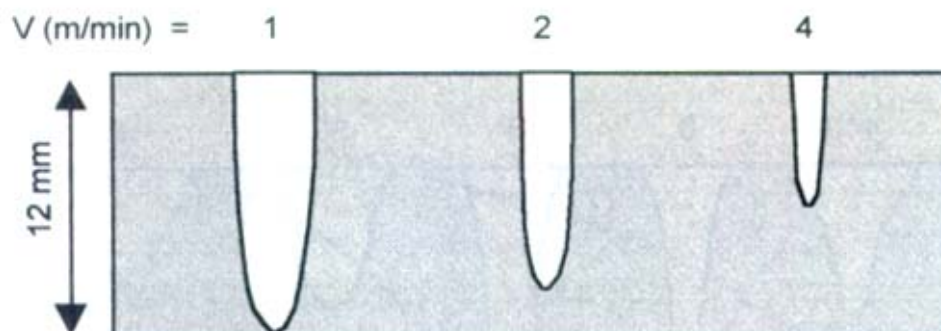
α) χαρακτηριστικά της δέσμης. Τα χαρακτηριστικά του λέιζερ που επηρεάζουν τη συγκόλληση είναι η ισχύς και η πόλωση της δέσμης, το μήκος κύματος της

ακτινοβολίας και η κατανομή της ενέργειας στη διατομή της δέσμης. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, για την συγκόλληση με λέιζερ απαιτείται αρκετά μεγάλη ισχύς η οποία μπορεί να προέλθει είτε από συνεχές είτε από παλμικό λέιζερ. Για τα συνεχή λέιζερ πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην ταχύτητα συγκόλλησης (κίνηση του υλικού) καθώς αυτή σχετίζεται με το βάθος συγκόλλησης. Μεγάλες ταχύτητες απαιτούν πάντοτε μεγάλη ισχύ η οποία όμως μπορεί να προκαλέσει δημιουργία πλάσματος και λιγότερο αποδοτική συγκόλληση. Κατά τη χρήση των παλμικών λέιζερ, η συγκόλληση είναι συνήθως σημειακή (spot welding) και η ραφή των υλικών επιτυγχάνεται με αλληλοεπικάλυψη των σημειακών συγκολλήσεων. Υπάρχουν όμως δύο επιπλέον παράμετροι που πρέπει να ληφθούν υπόψη: ο ρυθμός επανάληψης λειτουργίας του λέιζερ (repetition rate) και η αλληλοεπικάλυψη των σημείων συγκόλλησης.



Σχήμα 3.7 Εξάρτηση της μορφής της ραφής της συγκόλλησης από το ρυθμό ταλάντωσης του λέιζερ

Το μήκος κύματος επηρεάζει διπλά τη διαδικασία συγκόλλησης, με τη απορρόφηση και με την εστίαση. Η επίδραση του μήκους κύματος στην απορρόφηση του υλικού είναι ουσιαστική μόνο στα πρώτα στάδια καθώς μετά τη δημιουργία της οπής, η απορρόφηση αυξάνεται ανεξάρτητα από το μήκος κύματος. Όσο αφορά την εστίαση, τα μικρότερα μήκη κύματος βοηθούν την ισχυρότερη εστίαση άρα επιτρέπουν μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας. Σχετικά με την πόλωση, οι δέσμες με επίπεδο πόλωσης κάθετο στο επίπεδο πρόσπτωσης (s-



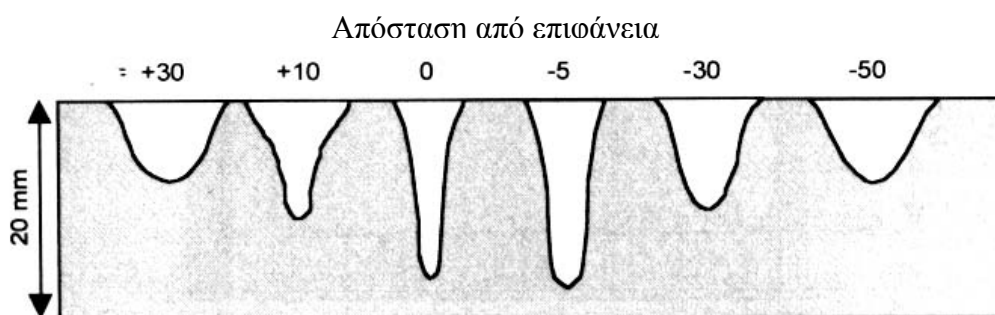
Σχήμα 3.8 Εξάρτηση της μορφής της ραφής της συγκόλλησης από την ταχύτητα κίνησης

πόλωση) προκαλούν πλατύτερες συγκολλήσεις από αυτές των δεσμών που είναι πολωμένες παράλληλα στο επίπεδο πρόσπτωσης (p-πόλωση).

Τέλος, η επίδραση της κατανομής της ισχύος στη διατομή του λέιζερ (ή ο ρυθμός ταλάντωσης του λέιζερ) στη συγκόλληση είναι μικρότερη από αυτήν στην κοπή. Όμως και σε αυτή την περίπτωση, η συγκόλληση με δέσμη TEM₀₀ είναι καλύτερης ποιότητας όπως φαίνεται στο Σχ.3.7.

β) χαρακτηριστικά της διαδικασίας. Η ταχύτητα συγκόλλησης πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά καθώς καθορίζει το βάθος διείσδυσης όπως φαίνεται στο Σχ.3.8. Μικρές ταχύτητες προκαλούν βαθιές και ισχυρές συγκολλήσεις όμως η ακριβής εξάρτηση του βάθους διείσδυσης από την ταχύτητα είναι συνάρτηση και της παρεχόμενης ισχύος. Ταχύτητες μεγαλύτερες από 1.5-2 μέτρα ανά δευτερόλεπτο ελαχιστοποιούν τα προβλήματα που προκαλεί το δημιουργούμενο πλάσμα. Ιδιαίτερη προσοχή όμως απαιτείται στις πολύ μεγάλες ταχύτητες καθώς μπορεί να προκαλέσουν ασυνέχειες και ανομοιογένειες μέσα στο επαναστερεοποιούμενο υλικό. Τέλος, σε κάθε περίπτωση, η ταχύτητα της συγκόλλησης με λέιζερ είναι κατά πολύ μεγαλύτερες από αυτές που επιτρέπουν όλες οι συμβατικές τεχνικές.

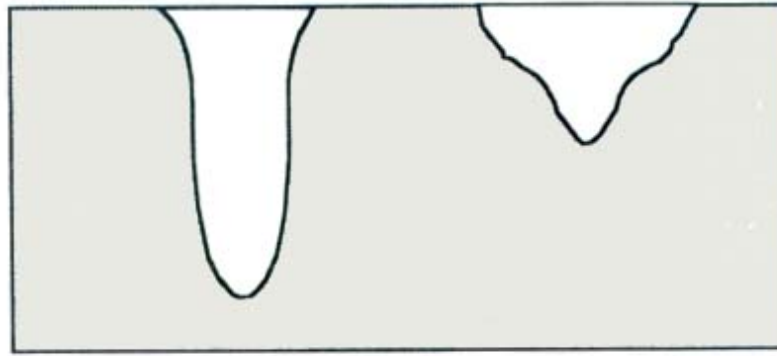
Σοβαρή είναι όμως και η επίδραση της θέσης του σημείου εστίασης σε σχέση με την επιφάνεια του υλικού καθώς και το βάθος εστίασης της δέσμης. Για υλικά με πάχος μικρότερο από 5 mm το σημείο εστίασης μπορεί να είναι στη επιφάνεια του



Σχήμα 3. 9 Εξάρτηση της μορφής της ραφής της συγκόλλησης από την απόσταση

υλικού, όμως, για υλικά με πάχος μεγαλύτερο από 10 mm το σημείο εστίασης πρέπει να είναι λίγο μέσα στο υλικό όπως φαίνεται στο Σχ.3.9. Όσον αφορά το βάθος εστίασης, αυτό δεν επηρεάζει επιφανειακές συγκολλήσεις επαφής ή συγκολλήσεις λεπτών υλικών, όμως πρέπει να λαμβάνεται σοβαρά υπόψη σε συγκολλήσεις βάθους με μήκος συγκόλλησης μεγαλύτερο από 5 mm.

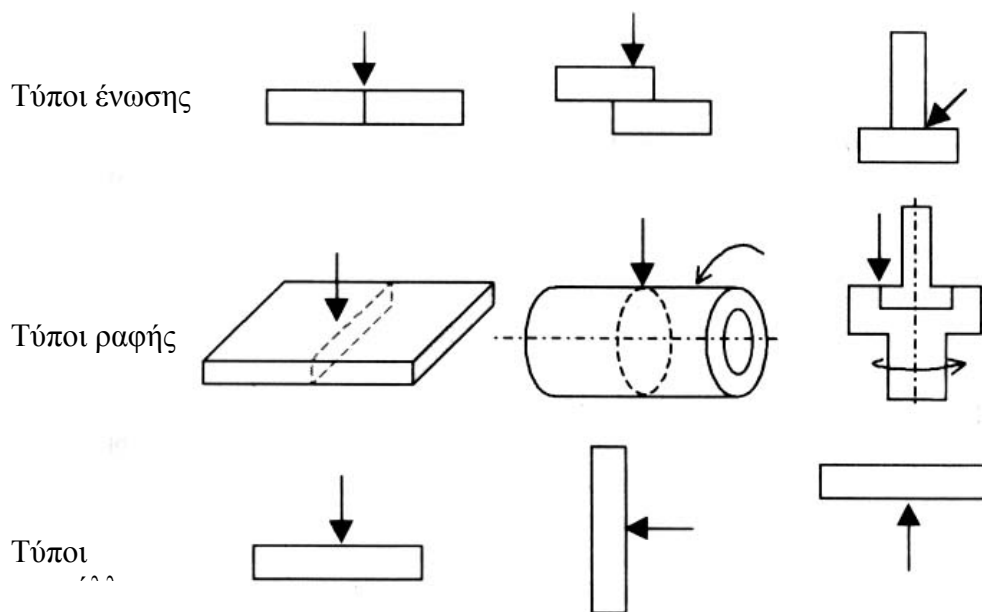
Τέλος, η προστασία του λειωμένου υλικού από τη οξείδωση είναι μία παράμετρος που βοηθά στην κατασκευή ισχυρών και καλής ποιότητας συγκολλήσεων. Αυτό επιτυγχάνεται με τη χρήση ροής αερίου Ηλίου ή Αργού. Τα αέρια αυτά όμως, εκτός από την παροχή προστασίας επηρεάζουν και την μορφή της συγκόλλησης. Το μεν Ήλιο προκαλεί βαθύτερες συγκολλήσεις, ενώ το Αργό πλατύτερες (Σχ.3.10). Ένα επιπλέον σημείο στο οποίο μπορούν να έχουν ουσιαστικό ρόλο τα αέρια είναι η απομάκρυνση του πλάσματος από το σημείο αλληλεπίδρασης. Αυτό γίνεται εφικτό με τη χρήση κατάλληλου ακροφυσίου υπό κατάλληλη γωνία σε σχέση με τη δέσμη λέιζερ και το υλικό. Ιδιαίτερη προσοχή



Σχήμα 3. 10 Εξάρτηση της μορφής της ραφής της συγκόλλησης από το αέριο

πρέπει να δίνεται όμως στην αποφυγή διαταραχής του λειωμένου υλικού στο σημείο συγκόλλησης.

γ) μορφές σύνδεσης. Υπάρχουν διάφοροι τρόποι κατάταξης του είδους της σύνδεσης των δύο υλικών στη συγκόλληση με λέιζερ (Σχ.3.11). Τα δύο υλικά κατά τη συγκόλληση μπορεί να είναι το ένα δίπλα στο άλλο (butt weld), το ένα επάνω στο άλλο (lap weld) ή τα δύο υλικά να σχηματίζουν ένα τάυ (T weld). Η ραφή της συγκόλλησης μπορεί να είναι γραμμική (τα υλικά κινούνται σε ευθεία) ή κυκλική (το υλικά περιστρέφονται). Η συγκόλληση μπορεί να είναι συνεχής ή σημειακή ή αλληλοεπικάλυψη σημειακών συγκολλήσεων. Ο άξονας της δέσμης μπορεί να είναι οριζόντιος ή κατακόρυφος, η συγκόλληση μπορεί να είναι σε δύο ή τρεις διαστάσεις και να διαπερνά τελείως ή όχι τα υλικά. Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή της σύνδεσης πρέπει να καθορίζεται από την τελική χρήση, το πάχος και το σχήμα των υλικών. Αν η συγκόλληση γίνει με το ένα υλικό επάνω στο άλλο, η μηχανική αντίσταση της συγκόλλησης δεν είναι η καλύτερη δυνατή και υπάρχουν τάσεις αποκόλλησης. Η επίπεδη συγκόλληση είναι πρακτική και δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για πάχη συγκόλλησης έως 10 mm. Για μεγαλύτερα πάχη είναι προτιμότερη η κατακόρυφη συγκόλληση. Οι κυκλικές αξονικές συγκολλήσεις αν και είναι πρακτικές στη συγκόλληση αξόνων δημιουργούν προβλήματα γωνιακών αποκλίσεων και ραγισμάτων. Επομένως είναι προτιμότερες οι κυκλικές ακτινικές συγκολλήσεις. Τέλος, ανάλογα με την εφαρμογή μπορεί να είναι προτιμότερη η συνεχής ή η διακοπτόμενη συγκόλληση. Κλασσικό παράδειγμα είναι τα τμήματα του σκελετού του αυτοκινήτου. Η συνεχής συγκόλληση δίνει συμπαγή δομή η οποία δεν παρουσιάζει ελαστικότητα κατά την σύγκρουση και είναι επικίνδυνη για τους επιβάτες. Αντίθετα, η διακοπτόμενη συγκόλληση προσφέρει την απαιτούμενη ελαστικότητα.



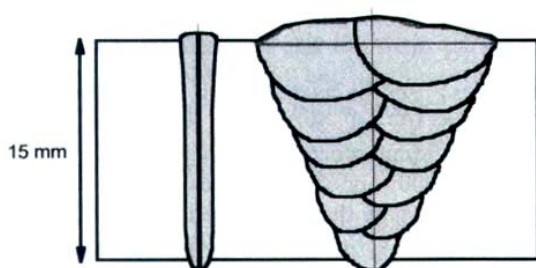
Σχήμα 3. 11 Τύποι ένωσης, ραφής και συγκόλλησης

Άλλες παράμετροι των συνδέσεων που επηρεάζουν την συγκόλληση είναι το κενό μεταξύ των δύο υλικών και η ευθυγράμμιση τους πριν την συγκόλληση. Για συγκολλήσεις στο πλάι (butt welding), το κενό πρέπει πάντοτε να είναι μικρότερο από το $1/10$ του πάχους του υλικού και σε κάθε περίπτωση μικρότερο από 1 mm. Για συγκολλήσεις με το ένα υλικό επάνω στο άλλο (lap welding), το κενό δεν πρέπει να υπερβαίνει το $1/5$ του πάχους των υλικών. Τέλος για συγκολλήσεις σε σχήμα ταυ, το κενό πρέπει να είναι μεγαλύτερο αλλά πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στην αποφυγή γωνιακών αποκλίσεων στην συγκόλληση. Σε κάθε περίπτωση η ευθυγράμμιση των δύο υλικών πρέπει να είναι πολύ καλή με μέγιστη επιτρεπόμενη απόκλιση $1/3$ του πάχους των υλικών.

3.3.3 Ποιότητα συγκόλλησης με λέιζερ.

Γενικά, η ποιότητα της συγκόλλησης εξαρτάται από τη μεταλλουργική δομή της ένωσης και τις ατέλειες που περιέχει. Σε κάθε περίπτωση όμως, η ποιότητα της συγκόλλησης με λέιζερ παρουσιάζεται κατά πολύ ανώτερη από αυτή άλλων συμβατικών τεχνικών. Κύριες ιδιότητες της που έχουν ενδιαφέρον σε σχέση με τις εφαρμογές είναι η ελαστικότητα, η σκληρότητα, η αντοχή και η καλή αντίσταση στην κόπωση. Είναι χαρακτηριστικό ότι για τα περισσότερα μέταλλα, το υλικό στη συγκόλληση παρουσιάζει σκληρότητα μεγαλύτερη από αυτή των βασικών υλικών.

Εκτός από την καλή ποιότητα της συγκόλλησης με λέιζερ και τις καλές ιδιότητες της ένωσης, υπάρχουν αρκετά πλεονεκτήματα στη χρήση του λέιζερ στη συγκόλληση όπως:



α) στενή συγκόλληση. Το φαινόμενο κλειδαρότρυπας στη συγκόλληση έχει σαν αποτέλεσμα την εμφάνιση στενών συγκολλήσεων. Ο λόγος βάθος συγκόλλησης /πλάτος συγκόλλησης έχει αρκετά μεγάλες

Σχ 3.12 Συγκόλληση με λέιζερ (αριστερά) και με

τιμές (περίπου 5 που φτάνει έως και 10) σε σχέση με άλλες συμβατικές μεθόδους συγκόλλησης όπως φαίνεται στο παράδειγμα στο Σχ.3.12. Επιπλέον το πλάτος της περιοχής που επηρεάζεται από τη θερμότητα είναι πολύ στενό με αποτέλεσμα ελάχιστες παραμορφώσεις (π.χ. 10 φορές μικρότερο από αυτό στην συγκόλληση βολφραμίου).

β) παραγωγικότητα. Η μεγάλη ταχύτητα συγκόλλησης που επιτυγχάνεται με το λέιζερ, και η ευελιξία στη μεταφορά της δέσμης έχει σαν αποτέλεσμα μεγάλους ρυθμούς παραγωγής. Αυτό συνεπάγεται κόστος παραγωγής συγκρίσιμο με άλλων μεθόδων παρόλο το μεγάλο κόστος επένδυσης του συστήματος.

γ) ποιότητα και αναπαραγωγή. Λόγω της σταθερότητας της ενέργειας του λέιζερ και το απόλυτο έλεγχο στην εστίαση και τη κατεύθυνση της δέσμης επιτυγχάνεται σταθερή ποιότητα και επαναληψιμότητα στη συγκόλληση. Επιπλέον η δυνατότητα αυτοματοποίησης της διαδικασίας βοηθά στον πλήρη έλεγχο των παραμέτρων της συγκόλλησης.

Τέλος, η ικανότητα συγκόλλησης των διαφόρων υλικών παρουσιάζεται στον Πίνακα 3.4 όπου όσο περισσότεροι σταυροί εμφανίζονται, τόσο μεγαλύτερη η ευκολία συγκόλλησης.

3.3.4 Ατέλειες στη συγκόλληση με λέιζερ.

Οι ατέλειες στις συγκολλήσεις με λέιζερ κατατάσσονται κυρίως σε τρεις κατηγορίες: τις ρωγμές, τους πόρους και τις γεωμετρικές ανωμαλίες εσωτερικές ή εξωτερικές στη συγκόλληση (Σχ.3.13). Σχετικά με τα ραγίσματα, αυτά οφείλονται σε θερμικές τάσεις κατά την ψύξη των υλικών και εξαρτώνται κυρίως από το ρυθμό ψύξης και τη χημική σύσταση του υλικού. Επιπλέον επηρεάζονται από τη ταχύτητα και το σχήμα της συγκόλλησης. Οι μικρές ταχύτητες και οι ραφές συγκόλλησης ευθείας γραμμής οδηγούν σε δομές συγκόλλησης που αντέχουν τις τάσεις κατά τη στερεοποίηση.

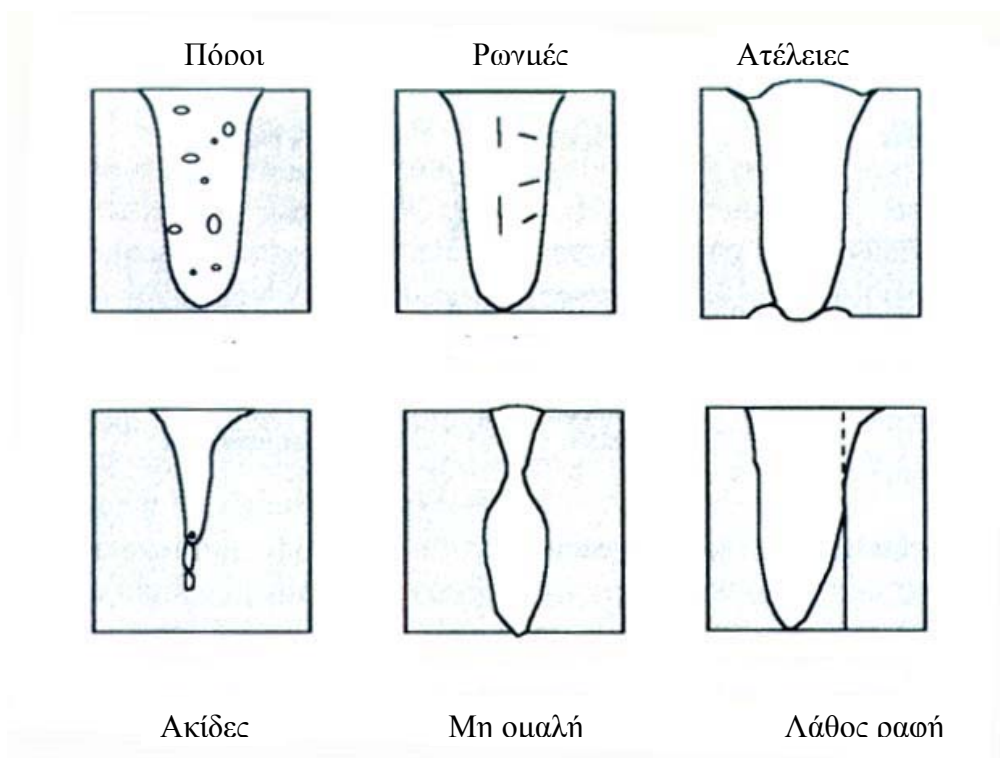
ΠΙΝΑΚΑΣ 3.4 Ικανότητα συγκόλλησης υλικών

Υλικό	CO ₂ λέιζερ	Nd λέιζερ
Σίδηρος	+++	++
Κράματα αλουμινίου	+	++
Χαλκός	+	++
Κράματα νικελίου	++	++
Τιτάνιο	++	+++
Κράματα ζirkονίου	+	++
Χρυσός/άργυρος	-	+++

Η δημιουργία πόρων σχετίζεται με την παραμονή αερίου παγιδευμένου στο μέταλλο κατά την στερεοποίηση. Το αέριο αυτό μπορεί να προέρχεται είτε από

κατάλοιπα της επιφάνεια όπως λάδια, νερό η αλοιφές, είτε από αέρια που υπήρχαν στο αρχικό υλικό όπως O_2 και N_2 ή τέλος μέρος από το αέριο που υποβοηθά τη διαδικασία. Η ελαχιστοποίηση της δημιουργίας πόρων γίνεται εφικτή αφενός με προσεκτική προεπιλογή και προετοιμασία του υλικού και αφετέρου με κατασκευή συγκολλήσεων κωνικού σχήματος που βοηθούν απομάκρυνση των αερίων.

Τέλος, οι ανωμαλίες στη συγκόλληση σχετίζονται κυρίως με λάθη είτε στην επιλογή των παραμέτρων είτε στη διαδικασία συγκόλλησης. Στην περίπτωση που η δέσμη λέιζερ δεν είναι καλά ευθυγραμμισμένη με την ένωση, η διάχυση στη συγκόλληση είναι μονόπλευρη και επομένως η συγκόλληση κακής ποιότητας. Αν κατά την έναρξη της συγκόλλησης η ενέργεια είναι ισχυρή εμφανίζονται ατέλειες (υπερυψώματα ή λακκούβες) γύρω από την ραφή οι οποίες στη συνέχεια πρέπει να επεξεργαστούν για να ξαναγίνει η επιφάνεια λεία. Αν η επιλογή της ενέργειας και της εστίασης δεν είναι σωστή, στο εσωτερικό της συγκόλλησης εμφανίζονται πόροι με μορφή ακίδων (spikes) οι οποίες ελαττώνουν το χρόνο ζωής σε σχέση με την κόπωση. Τέλος, είναι δυνατόν να δημιουργηθούν ανομοιομορφίες στο σχήμα και τα εξωτερικά τμήματα της συγκόλλησης οι οποίες ελαττώνουν την ποιότητα και την αντοχή της. Σε κάθε περίπτωση, η επιλογή των παραμέτρων της συγκόλλησης πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά ώστε όλες αυτές οι γεωμετρικές



Σχήμα 3. 13 Ατέλειες κατά τη συγκόλληση με λέιζερ

ανωμαλίες να αποφεύγονται ή τουλάχιστον να ελαχιστοποιούνται.

3.3.5 Παραδείγματα συγκόλλησης με λέιζερ.

Οι εφαρμογές της συγκόλλησης με λέιζερ καλύπτουν σήμερα ένα τεράστιο φάσμα βιομηχανιών και σχετίζονται με:

α) αυτοκινητοβιομηχανία. Συστήματα μετάδοσης κίνησης (γρανάζια, πιστόνια), σκελετός αυτοκινήτου (συγκόλληση λαμαρίνας σκελετού, πόρτες, οροφές)

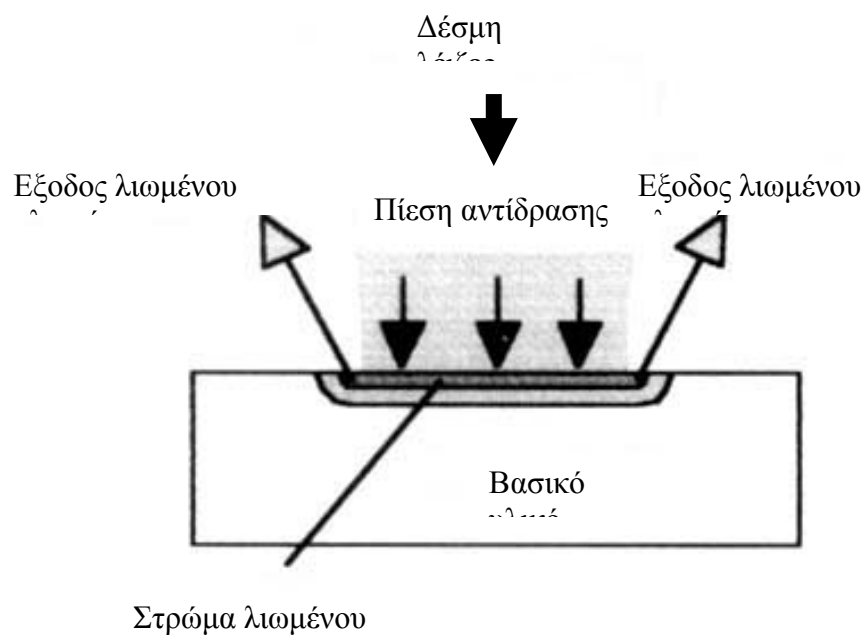
- β) συγκόλληση σκελετού οικιακών συσκευών όπως πλυντήρια
- γ) συγκόλληση σκελετού πλοίων
- δ) συγκόλληση τμημάτων των τεθωρακισμένων αρμάτων
- ε) συγκόλληση ηλεκτρονικών σε συσκευές όπως τηλεοράσεις
- ζ) συγκόλληση σωλήνων μεγάλου πάχους
- η) συγκόλληση τμημάτων πυρηνικών αντιδραστήρων όπου απαιτείται μόνο οπτική επαφή

3.4 ΔΙΑΤΡΗΣΗ ΜΕ ΛΕΙΖΕΡ

Η διάτρηση με λέιζερ είναι μία λιγότερο διαδεδομένη βιομηχανική εφαρμογή με έμφαση κυρίως στην βιομηχανία αεροτουρμπίνων, την αεροδιαστημική και την μικροηλεκτρονική. Οι βασικές αρχές της διάτρησης με λέιζερ είναι ακριβώς οι ίδιες με αυτές της κοπής με λέιζερ.

3.4.1 Βασικές αρχές διάτρησης με λέιζερ

Η δέσμη του λέιζερ εστιαζόμενη παράγει ισχυρές εντάσεις ακτινοβολίας οι οποίες στην επιφάνεια ενός υλικού προκαλούν έντονα θερμικά φαινόμενα. Αν η ένταση της ακτινοβολίας είναι αρκετή, το υλικό θα λειώσει και θα αρχίζει να εξατμίζεται ενώ ταυτόχρονα, οι δημιουργούμενοι ατμοί αυξάνουν την απορρόφηση του υλικού και



Σχήμα 3. 14 Διαδικασία διάτρησης με λέιζερ

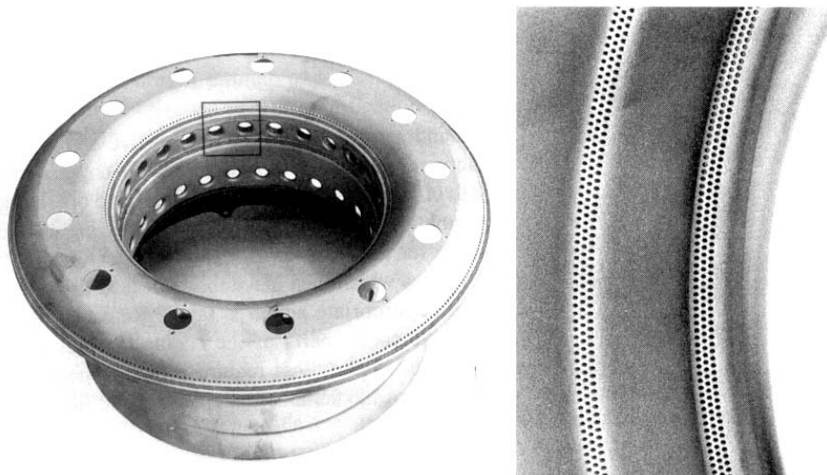
ενισχύουν την διαδικασία. Μέρος του υλικού απομακρύνεται λόγω είτε εξάτμισης του

υλικού είτε εκδίωξης του λειωμένου υλικού προς τα έξω λόγω δυνάμεων αντίδρασης στην εξάτμιση της επιφάνειας (Σχ.3.14). Το τελικό αποτέλεσμα είναι η δημιουργία οπής μέσα στο υλικό η οποία θα αυξάνει είτε με το χρόνο αλληλεπίδρασης για τα συνεχή λέιζερ είτε με τον αριθμό των παλμών για τα παλμικά λέιζερ έως ότου υπάρξει διαμπερή οπή στο υλικό. Για τον έλεγχο της διαδικασίας διάτρησης με λέιζερ έχουν αναπτυχθεί τρεις μέθοδοι:

- α) η παρακολούθηση της ανάκλασης του λέιζερ από την επιφάνεια του υλικού η οποία μηδενίζεται μετά την πλήρη διαπέραση
- β) η παρακολούθηση της διαπέρασης της δέσμης από το υλικό η οποία μεγιστοποιείται μετά την πλήρη διαπέραση
- γ) η παρακολούθηση μέσω κάμερας της απομάκρυνσης του λειωμένου υλικού (λόγω της μεγάλης θερμοκρασίας του είναι φωτεινό) η οποία μηδενίζεται μετά την πλήρη διαπέραση.

Σε κάθε περίπτωση, είναι χρήσιμο να γίνεται από προηγούμενα βαθμονόμηση του αριθμού των παλμών ή του χρόνου αλληλεπίδρασης που απαιτείται για την πλήρη διαπέραση.

Το μεγάλο πλεονέκτημα της διάτρησης με λέιζερ είναι η δυνατότητα του να παράγει οπές κάθε σχήματος και σε κάθε γωνία σε σχέση με το δείγμα. Φυσικά, στη διάτρηση με λέιζερ όπως και σε όλες οι άλλες βιομηχανικές εφαρμογές υπάρχουν

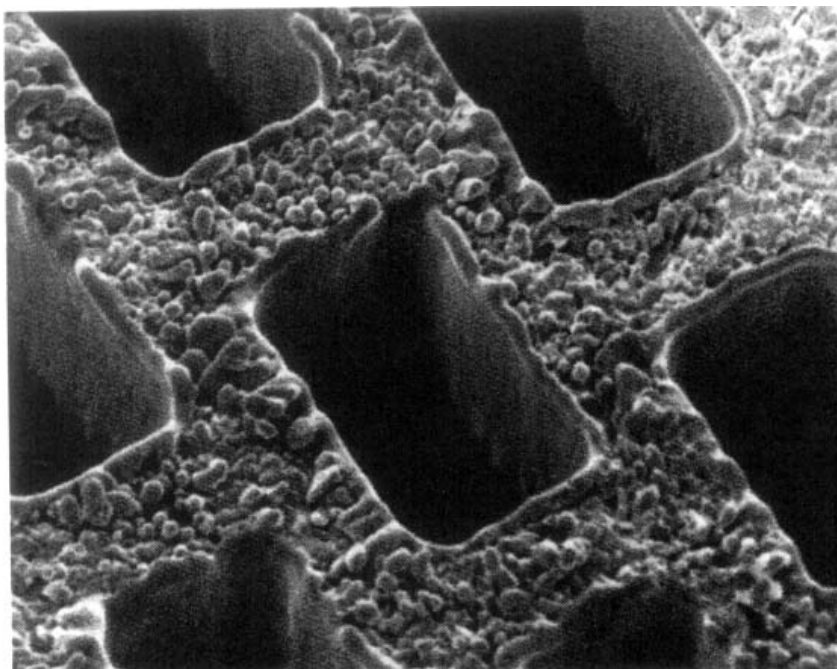


Σχήμα 3. 15 Δημιουργία οπών σε θάλαμο καύσης με λέιζερ και λεπτομέρεια ορισμένων περιορισμών σχετικά με τα όρια της και τη ποιότητα οπής. Το μέγιστο βάθος διάτρησης που επιτρέπει καλή ποιότητα οπής είναι της τάξης 10 mm. Αντίστοιχα, ο μέγιστος λόγος βάθος/πλάτος είναι 15:1 και η ελάχιστη διατομή οπής

είναι της τάξης 100 μm αλλά η τελευταία ποικίλει και εξαρτάται από το λέιζερ και την ικανότητα του να εστιάζεται.

3.4.2 Εφαρμογές της διάτρησης με λέιζερ

α) Στη βιομηχανία αεροτουρμπίνων για τη δημιουργία οπών στο θάλαμο καύσης που χρησιμεύουν στην είσοδο και έξοδο αερίων (Σχ.3.15).



Σχ. 3. 16 Διάτρηση σε κεραμικό με ακοίβεια μικρών

β) Διάτρηση ειδικών κραμάτων τιτανίου στην αεροδιαστημική βιομηχανία.

γ) Δημιουργία ακροφυσίων σε βαλβίδες και συστήματα ψεκασμού.

δ) Στην μικροηλεκτρονική για τη ελεγχόμενη διαπερατή ή μη διάτρηση πολυστρωματικών πλακετών με σκοπό την ηλεκτρονική σύνδεση διαφορετικών στρωμάτων.

ε) Στη βιομηχανία πλαστικών η διάτρηση σωλήνων άρδευσης όπου με μία τυπική εγκατάσταση CO₂ λέιζερ είναι εφικτή η διάτρηση 4 οπών 0.5 mm διάμετρο ανά δευτερόλεπτο.

ζ) Στην καπνοβιομηχανία η διάτρηση τσιγαρόχαρτου με δυνατότητα τρυπήματος 0.8 μέτρα ανά δευτερόλεπτο.

η) Τρύπημα κεραμικών (Σχ.3.16).

θ) Διάτρηση στις ρώγες των μιμιπερό, στα οπτικά διαφράγματα και στα CD.

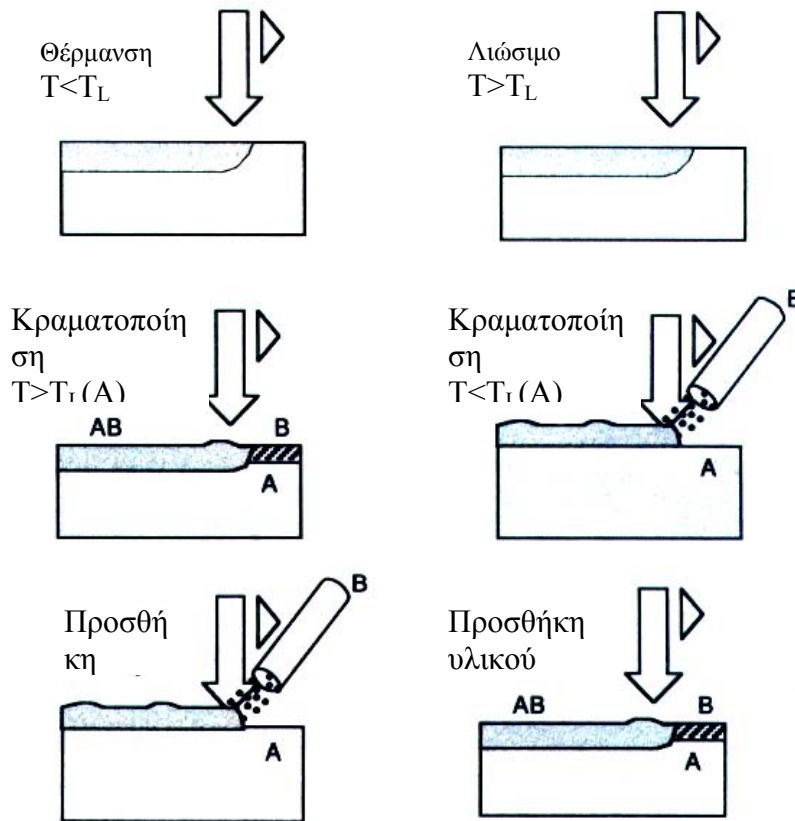
3.5 ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΜΕ ΛΕΙΖΕΡ

Με τον όρο επεξεργασία επιφάνειας περιγράφεται μία παλιά και αρκετά πλατιά κατηγορία βιομηχανικών εφαρμογών που σκοπό έχει την βελτίωση της επιφάνειας σε σχέση με τη διάρκεια ζωής της και τις ιδιότητες της. Κλασικά παραδείγματα επεξεργασίας επιφάνειας είναι η σκλήρυνση και η λείανση μιας επιφάνειας και η βελτίωση της αντιοξειδωτικής της συμπεριφοράς. Το λέιζερ όπως έχει ήδη αναφερθεί είναι μία θερμική πηγή που παρουσιάζει μερικές μοναδικές ιδιότητες όπως η μεγάλη ένταση ακτινοβολίας του, η ικανότητα του να εστιάζεται σε πολύ μικρές διαστάσεις, η απορρόφηση του στα μη διαπερατά υλικά (όπως μέταλλα) περιορίζεται σε λίγα ατομικά στρώματα και η περιοχή γύρω από το σημείο αλληλεπίδρασης επηρεάζεται ελάχιστα από το λέιζερ. Επομένως με τη χρήση του λέιζερ, ένα μεγάλο ποσό θερμότητας μπορεί να εφαρμοστεί με ακρίβεια σε μία καλά καθορισμένη περιοχή χωρίς να επηρεάζεται το υπόλοιπο υλικό. Άρα το λέιζερ αποτελεί ένα ιδανικό εργαλείο για την επεξεργασία επιφάνειας με πλεονεκτήματα σε σχέση με τις συμβατικές τεχνικές όπως η χημική καθαρότητα, η ελεγχόμενη διείσδυση στο υλικό, ο έλεγχος της περιοχής επεξεργασίας, η μη απαίτηση περαιτέρω επεξεργασίας, η απαίτηση μόνο οπτικής επαφής και η ευκολία αυτοματοποίησης της διαδικασίας.

Η επεξεργασία επιφάνειας με λέιζερ χωρίζεται σε διάφορες κατηγορίες ανάλογα με τη είδος της διαδικασίας (θερμική ή θερμοχημική), την θερμοκρασία κατά την αλληλεπίδραση (μεγαλύτερη ή μικρότερη από το σημείο τήξεως) και τη συμμετοχή ή όχι επιπλέον υλικού. Οι κατηγορίες επεξεργασίας επιφάνειας με λέιζερ που έχουν σήμερα εφαρμογή στη βιομηχανία είναι η θέρμανση, το λιώσιμο με επαναστερεοποίηση, η κραματοποίηση και η επίστρωση επιφάνειας (Σχ.3.17). Αναλυτικότερα:

3.5.1 Θέρμανση επιφάνειας.

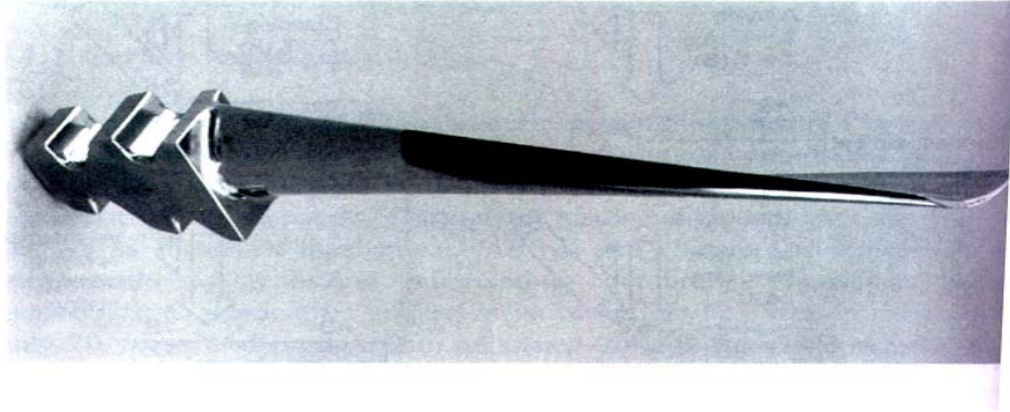
Απετέλεσε την πρώτη κατηγορία επεξεργασίας επιφάνειας με λέιζερ με σκοπό την αύξηση της αντίστασης σε φθορά. Σήμερα η κατηγορία αυτή περιλαμβάνει ένα πλήθος από χρήσεις όπως η αύξηση της σκλήρυνσης, η ελάττωση της τριβής, και η αύξηση του χρόνου ζωής λόγω κόπωσης. Η βασική αρχή της διαδικασίας αυτής είναι η θέρμανση της επιφάνειας με το λέιζερ σε θερμοκρασία μεγαλύτερη από αυτή του κρίσιμου μετασχηματισμού αλλά μικρότερη από το σημείο τήξεως. Μετά την απομάκρυνση του λέιζερ, η επιφάνεια που αλληλεπίδρασε με το λέιζερ ψύχεται λόγω διάχυσης της θερμότητας στα γειτονικά στρώματα. Όμως η δομή της έχει αλλάξει λόγω μετασχηματισμού φάσης.



Σχήμα 3. 17 Διαδικασίες επεξεργασίας επιφάνειας με λέιζερ

Η σκλήρυνση της επιφάνειας του σιδήρου αποτελεί την κυριότερη εφαρμογή της θέρμανσης της επιφάνειας και σχετίζεται κυρίως με την περιεκτικότητα του σε άνθρακα και την κατανομή του άνθρακα στην επιφάνεια του υλικού (Σχ.3.18). Συνήθως το αρχικό υλικό αμέσως μετά την παραγωγή παρουσιάζει ανομοιογένειες στην κατανομή του άνθρακα. Μετά την θέρμανση σε θερμοκρασία πάνω από το σημείο μετασχηματισμού φάσης, ο άνθρακας αρχίζει να διαχέεται και να ομοιογενοποιείται η κατανομή του. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα αφενός την σκλήρυνση της επιφάνειας και αφετέρου την αύξηση της αντίστασης σε φθορά.

Κατά τη θέρμανση της επιφάνειας για τη επίτευξη μετασχηματισμού φάσης, η δέσμη του λέιζερ πρέπει να είναι ελαφρά αποεστιασμένη για δύο λόγους: η ένταση ακτινοβολίας πρέπει να είναι σχετικά μικρή ώστε να αποφεύγεται το λιώσιμο του υλικού ενώ ταυτόχρονα πρέπει να υπάρχει μία ομογενής κατανομή της ισχύος στη διατομή της δέσμης. Η τελευταία συνθήκη είναι απαραίτητη ώστε η κατανομή της



Σχήμα 3. 18 Σκλήρυνση με λέιζερ λεπίδας από τουρμπίνα

θέρμανσης να είναι ίδια στην περιοχή αλληλεπίδρασης που συνεπάγεται όμοιο μετασχηματισμό φάσης σε όλη την επιφάνεια. Σχετικά με τις υπόλοιπες παραμέτρους της διαδικασίας, η ταχύτητα μετακίνησης του υλικού πρέπει να επιλέγεται προσεκτικά ώστε αφενός να μην λειώνει το υλικό και αφετέρου το βάθος του υλικού που υφίσταται επεξεργασία να είναι ικανοποιητικό.

3.5.2 Λιώσιμο επιφάνειας

Με τη διαδικασία αυτή επιτυγχάνεται η ομογενοποίηση της επιφάνειας, η βελτίωση της μικροδομής και η δημιουργία δομών που βασίζονται σε απότομη ψύξη. Η μέθοδος είναι παρόμοια με αυτήν της θέρμανσης επιφάνειας μόνο που σε αυτή τη περίπτωση προσφέρεται μεγαλύτερη ένταση ακτινοβολίας ώστε η θερμοκρασία στην επιφάνεια να υπερβεί το σημείο τήξης του υλικού. Ταυτόχρονα η επιφάνεια που θα υποστεί την επεξεργασία καλύπτεται με αδρανές αέριο. Τα κύρια χαρακτηριστικά της κατεργασίας επιφάνειας με λιώσιμο από λέιζερ είναι: σχεδόν πλήρως ομογενείς δομές, ελάχιστη επίδραση σε γειτονικά στρώματα και τραχύτητα επιφάνειας που δεν υπερβαίνει τα 25 μm .

Υπάρχουν τρεις κατηγορίες υλικών που παρουσιάζουν αυξημένο ενδιαφέρον στην κατεργασία επιφάνειας με λιώσιμο: ο χυτοσίδηρος, το ατσάλι και το τιτάνιο. Ο χυτοσίδηρος συνήθως αποτελείται από μη ομογενείς δομές οι οποίες με το λιώσιμο ομογενοποιούνται αυξάνοντας τη σκληρότητα του. Αντίστοιχα η κατεργασία του ατσαλιού έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία πολύ καλών δομών που ενισχύουν την αντίσταση του σε διάβρωση. Τέλος, η κατεργασία του τιτανίου έχει σαν αποτέλεσμα τη δημιουργία θαυμάσιων μικροδομών που ενισχύουν την σκληρότητα και την αντοχή του.

3.5.3 Επίστρωση επιφάνειας

Η διαδικασία επίστρωσης επιφάνειας έχει σαν στόχο την επικάλυψη ενός μετάλλου με στρώμα κάποιου άλλου, χωρίς η επίστρωση να εισχωρήσει στο υπόστρωμα. Το επιπλέον μέταλλο διοχετεύεται σαν σκόνη και μπορεί είτε να έχει τοποθετηθεί στην επιφάνεια πριν την αλληλεπίδραση με το λέιζερ είτε να εμφυσάται με τη βοήθεια αδρανούς αερίου κατά τη διάρκεια της αλληλεπίδρασης. Η πρώτη περίπτωση είναι πρακτικά απλούστερη αν φυσικά η σκόνη κολλάει και διατηρείται επάνω στο υπόστρωμα. Η διαδικασία της επίστρωσης επιτυγχάνεται με σάρωση της επιφάνειας με μία δέσμη λέιζερ αποεστιασμένη οπότε η σκόνη λειώνει και συγκολλάται στο βασικό μέταλλο του οποίου η αύξηση της θερμοκρασίας πρέπει να μην υπερβαίνει το σημείο βρασμού. Στη δεύτερη περίπτωση, η εισερχόμενη ισχύς είναι λίγο μεγαλύτερη ώστε το μέταλλο-υπόστρωμα να λειώσει επιφανειακά (σε στρώμα ελαχίστου πάχους) ενώ η σκόνη του υπό επίστρωση μετάλλου εμφυσάται με αδρανές αέριο (π.χ. αργό). Η σκόνη επικάθεται στο λειωμένο υλικό και συγκολλάται μαζί του δημιουργώντας συγχώνευση χωρίς όμως μεγάλη διάχυση του επιστρώματος στο υπόστρωμα. Η τεχνική αυτή λειτουργεί καλύτερα στην επίστρωση πολύ μικρών περιοχών ή περιοχών πολύ κοντά σε ευπαθή υλικά καθώς επιτρέπει μεγάλη ακρίβεια στη θέση, το βάθος και το μέγεθος της επίστρωσης.

Παραδείγματα επίστρωσης με λέιζερ είναι η δημιουργία σιδερένιων καλουπιών για παραγωγή γυάλινων μπουκαλιών, η κατασκευή βαλβίδων για μηχανές καύσης και εργαλείων σφυρηλάτησης.

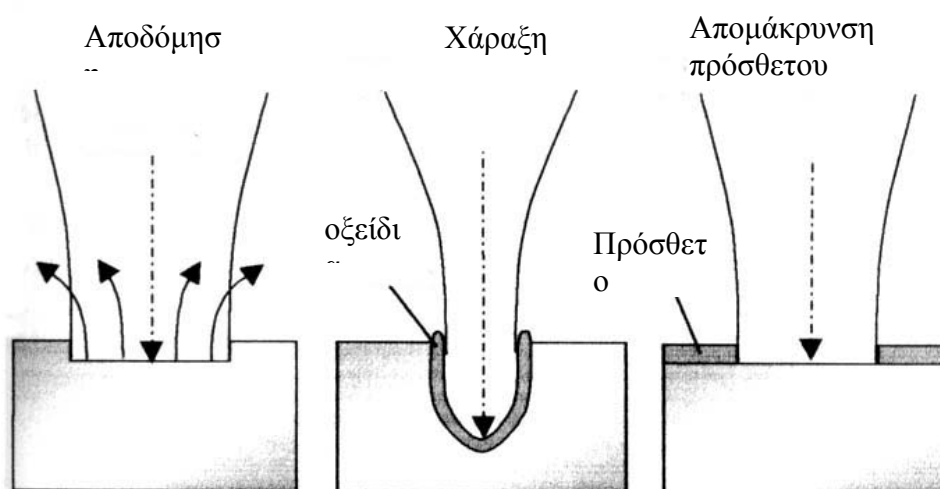
3.5.4 Κραματοποίηση επιφάνειας

Η κραματοποίηση επιφάνειας με λέιζερ είναι μία διαδικασία που μοιάζει και στο λιώσιμο και στην επίστρωση επιφάνειας δηλαδή, αφενός υπάρχει προσθήκη νέου υλικού που αναμειγνύεται με το υλικό της επιφάνειας και αφετέρου η αύξηση της θερμοκρασία της επιφάνειας υπερβαίνει το σημείο τήξης του υποστρώματος. Επομένως υπάρχει λιώσιμο και της σκόνης του επιστρώματος και της επιφάνειας του υποστρώματος. Μετά την ψύξη δημιουργείται κράμα των δύο υλικών επί της επιφάνειας. Με την κραματοποίηση λέιζερ, το δημιουργούμενο κράμα εμφανίζει θαυμάσια μικροδομή και σχεδόν ομοιογενή μίξη των δύο υλικών σε όλη τη επεξεργασμένη περιοχή. Λόγω της ταχύτατης θέρμανσης και ψύξης, το πάχος του στρώματος του κράματος είναι απόλυτα ελεγχόμενο και κυμαίνεται από 1-2000 μm . Τα περισσότερα υλικά μπορούν να κραματοποιηθούν στα περισσότερα υποστρώματα. Κυριότερα παραδείγματα είναι η κραματοποίηση του τιτανίου με C ή N, του χυτοσιδήρου με Cr, Si και C, του σιδήρου με Cr, Mo, B και Ni, και του αλουμινίου με Si, C, N και Ni.

3.6 ΕΓΓΡΑΦΗ ΣΕ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΜΕ ΛΕΙΖΕΡ

Η εγγραφή σε επιφάνεια με λέιζερ βασίζεται σε τοπικές διαμορφώσεις της εμφάνισης της επιφάνειας που προκαλούν την εμφάνιση χαρακτήρων και σχεδίων μέσω της οπτικής αντίθεσης των διαμορφωμένων με λέιζερ περιοχών με τα γειτονικά τους τμήματα. Η τοπική διαμόρφωση της επιφάνειας επιτυγχάνεται με δύο τρόπους: την απομάκρυνση υλικού από την επιφάνεια και την αλλαγή της μορφολογίας της επιφάνειας. Και στις δύο περιπτώσεις η διαμόρφωση μπορεί να γίνει είτε με απευθείας εγγραφή όπου η δέσμη του λέιζερ «γράφει» μετακινούμενη στην επιφάνεια και είτε με προβολή της δέσμης μέσω μάσκας. Αναλυτικότερα:

3.6.1 Εγγραφή με απομάκρυνση υλικού.



Σχήμα 3. 19 Εγγραφή σε επιφάνεια με απομάκρυνση υλικού

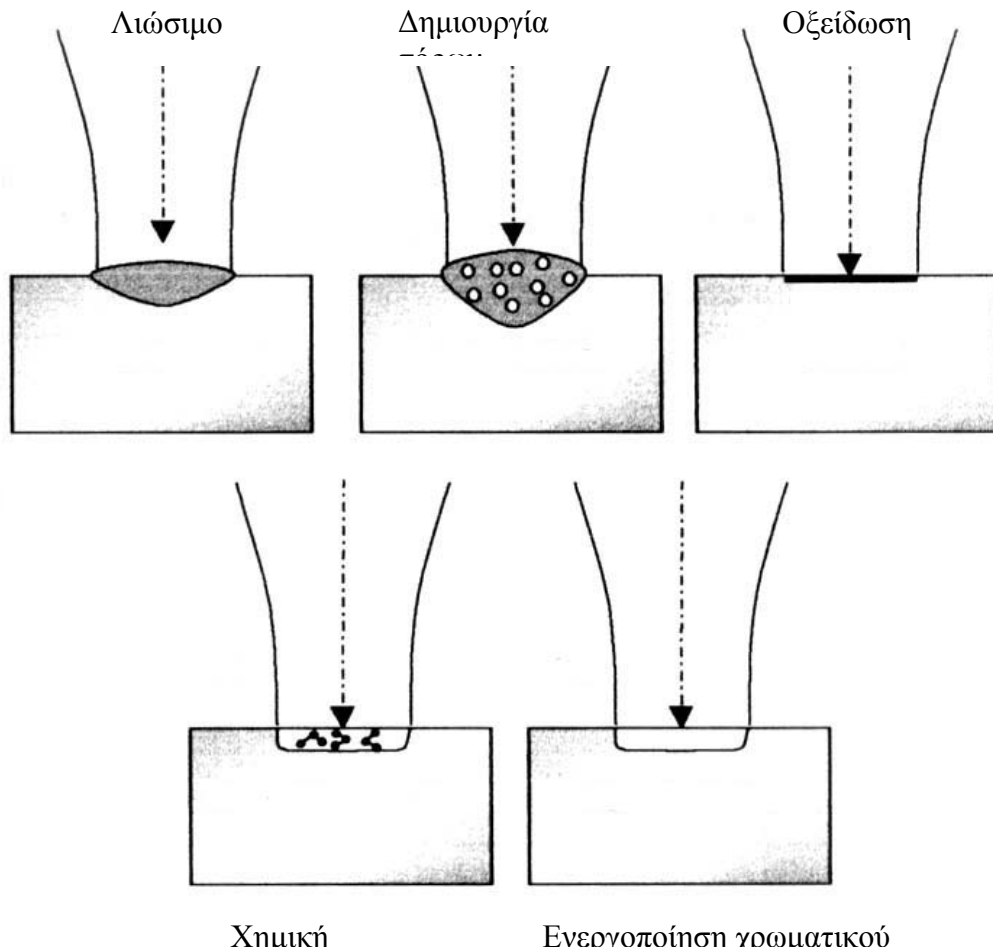
Η ένταση ακτινοβολίας της εισερχόμενης δέσμης λέιζερ είναι αρκετά ισχυρή ώστε να απομακρυνθούν στρώματα υλικού από την επιφάνεια. Η απομάκρυνση ορισμένων στρώματων προκαλεί την εμφάνιση οπτικής αντίθεσης με τα γειτονικά στρώματα είτε λόγω μεταβολής της μορφολογίας της κατεργασμένης επιφάνειας (π.χ. υαλοποίηση και τραχύτητα της επιφάνειας) είτε λόγω εμφάνισης φαινομένων σκίασης. Οι βασικές διαδικασίες που συμμετέχουν στην εγγραφή με απομάκρυνση υλικού είναι η εξάτμιση και η εξάχνωση του υλικού λόγω θέρμανσης από τη δέσμη του λέιζερ, εκτός από την περίπτωση χημικής αποδόμησης μερικών πολυμερών με λέιζερ διεγερμένων διμερών. Λιώσιμο του υλικού μπορεί να παρουσιαστεί μόνο σε μέταλλα αλλά καλό θα ήταν να αποφεύγεται καθώς μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία οξειδίων.

Οι μέθοδοι που προκαλούν απομάκρυνση υλικού από επιφάνεια με λέιζερ είναι η αποδόμηση, η χάραξη και η απομάκρυνση επιπρόσθετου στρώματος (Σχ.3.19). Στην περίπτωση αποδόμησης πρέπει να δίνεται ιδιαίτερη προσοχή στους δημιουργούμενους ατμούς οι οποίοι μπορεί να είναι επικίνδυνοι και πρέπει να απομακρύνονται. Τυπικά υλικά στα οποία γίνεται εγγραφή με αποδόμηση υλικού είναι τα κεραμικά, το λάστιχο και ο σίδηρος. Όταν απαιτείται μεγάλο βάθος εγγραφής σε σχέση με το πλάτος εγγραφής, η μέθοδος της χάραξης είναι αποδοτικότερη. Βάθος χάραξης 50 μm είναι πολύ εύκολα εφικτό, όμως, ειδικά για

τα μέταλλα, υπάρχει προδιάθεση δημιουργίας οξειδίων στη χαραγμένη επιφάνεια και απαιτείται ιδιαίτερη προσοχή στην ελαχιστοποίηση τους. Τέλος μία πιο πρόσφατη μέθοδο που σήμερα αρχίζει να χρησιμοποιείται ευρύτατα είναι η προσθήκη ενός ειδικού στρώματος στην επιφάνεια (όπως χρώμα ή οξείδιο) και η επιλεκτική απομάκρυνση τμημάτων του. Η τεχνική αυτή δίνει το πλεονέκτημα της προσεκτικής επιλογής του στρώματος ώστε αυτό αφενός να απορροφά ισχυρά και να ενισχύσει τη διαδικασία απομάκρυνσης υλικού και αφετέρου να δημιουργεί ισχυρή οπτική αντίθεση με την επιφάνεια του υποστρώματος.

3.6.2 Εγγραφή λόγω αλλαγής της μορφολογίας της επιφάνειας.

Αν η ένταση ακτινοβολίας του λέιζερ είναι σχετικά μικρή, το τμήμα της επιφάνειας που ακτινοβολείται απλώς θα ζεσταθεί και/ή θα λειώσει με αποτέλεσμα να αλλάξει η μορφολογία του ή η χημική του σύσταση. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι αλλαγής της μορφολογίας επιφανειών όπως: η ανακρυστάλλωση, η δημιουργία πόρων, η οξείδωση, η χημική διάσπαση και η θερμική ενεργοποίηση χρωματικών κέντρων (Σχ.3.20). Κατά την ανακρυστάλλωση, τα στρώματα της επιφάνειας που λειώνουν και επαναστεροποιούνται διαφέρουν από τα γειτονικά καθώς παρουσιάζουν διαφορετική τραχύτητα, δομή ή χρώμα. Σε μερικά οργανικά υλικά, κατά τη διάρκεια του λιώσιματος εμφανίζεται και εξάτμιση που οδηγεί στο σχηματισμό πόρων μέσα στο υλικό. Οι πόροι αυτοί διογκώνουν το υλικό και προκαλούν την απαιτούμενη οπτική αντίθεση όμως η παρουσιαζόμενη εγγραφή δεν είναι καλής ποιότητας. Σε περιπτώσεις μετάλλων, αν η θερμαινόμενη επιφάνεια αλληλεπιδράσει με οξυγόνο εμφανίζεται χρωματισμός λόγω δημιουργίας οξειδίων. Τέλος, για την εγγραφή σε οργανικά υλικά μία πολύ αποδοτική μέθοδος είναι η δημιουργία διαφορετικού χρωματισμού. Αυτό επιτυγχάνεται είτε με αποδόμηση του υλικού λόγω θέρμανσης είτε με ενεργοποίηση χρωματικών κέντρων μέσα στο υλικό.

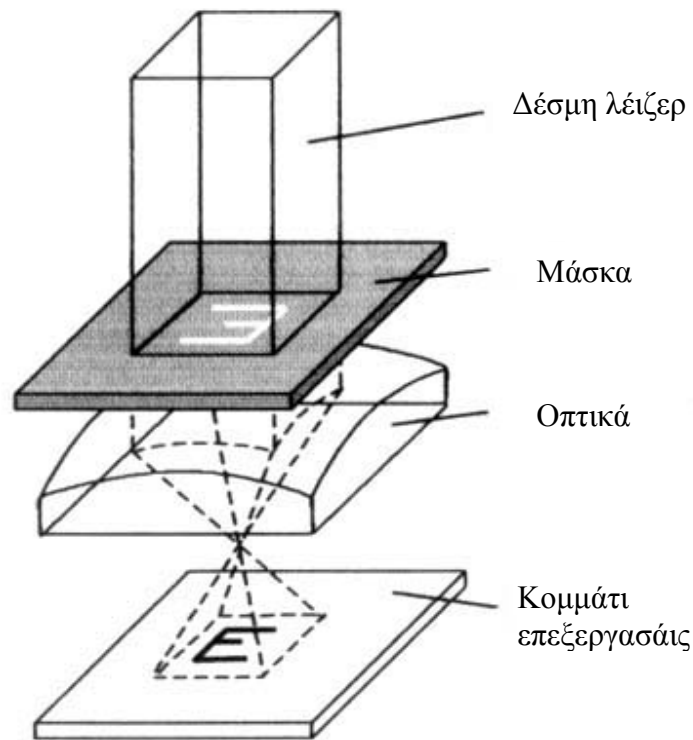


Σχήμα 3. 20 Εγγραφή σε επιφάνεια με αλλαγή στη μορφολογία

3.6.3 Εγγραφή με μάσκα

Η διαδικασία αυτή βασίζεται στην προβολή του σχεδίου μέσω μάσκας. Η επιφάνεια υπό εγγραφή παραμένει ακίνητη και οι χαρακτήρες ή τα σχέδια που θα εγγραφούν προϋπάρχουν σε ειδική μάσκα. Η μάσκα αυτή ακτινοβολείται με λέιζερ και τα σχέδια που περιέχει προβάλλονται με οπτικό σύστημα στην επιφάνεια (σχ.3.21). Η μάσκα αυτή μπορεί να είναι είτε από μέταλλο για τα λέιζερ διεγερμένων διμερών και τα CO₂ λέιζερ είτε από γυαλί με ειδική επικάλυψη για τα Nd.

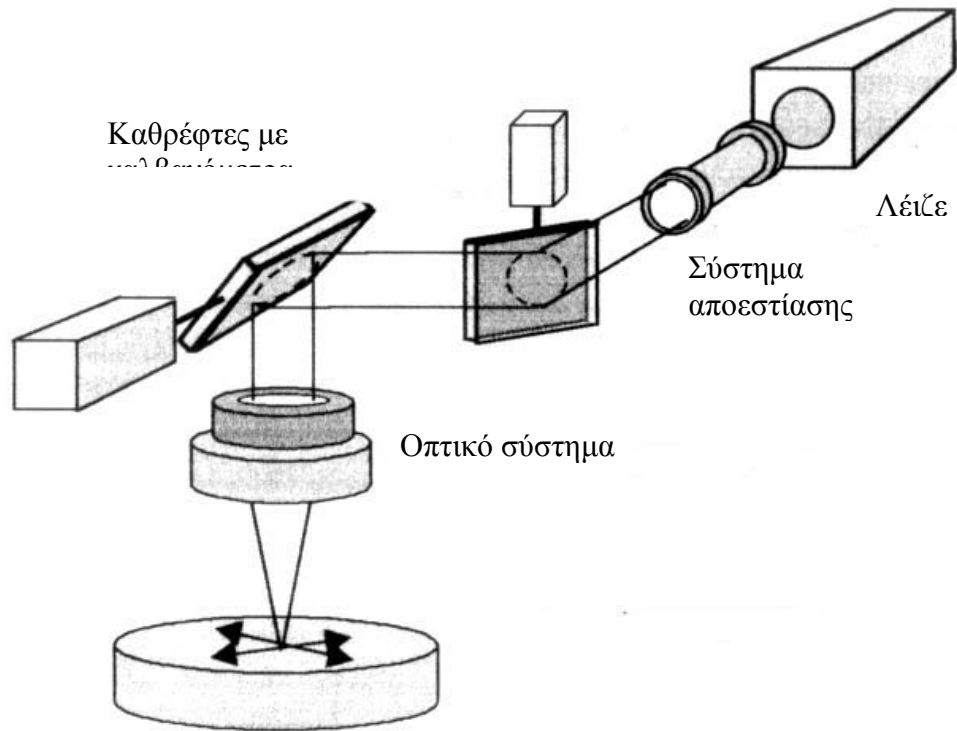
Κατά τη εγγραφή με μάσκα, η ομοιογένεια της δέσμης είναι απαραίτητη για την καλή ποιότητα εγγραφής. Για το λόγο αυτό χρησιμοποιούνται ειδικοί ομοιογενοποιητές. Στην περίπτωση που η μάσκα είναι μεγαλύτερη από τη δέσμη είναι απαραίτητη μία σχετική μετατόπιση της δέσμης σε σχέση με τη μάσκα κατά τη διάρκεια της εγγραφής. Οι μέγιστοι ρυθμοί εγγραφής με μάσκα είναι περίπου 100 σχέδια ανά δευτερόλεπτο όμως η ποιότητα εγγραφής δεν είναι υψηλή.



Σχήμα 3. 21 Εγγραφή σε επιφάνεια με μάσκα

3.6.4 Απευθείας εγγραφή με το λέιζερ.

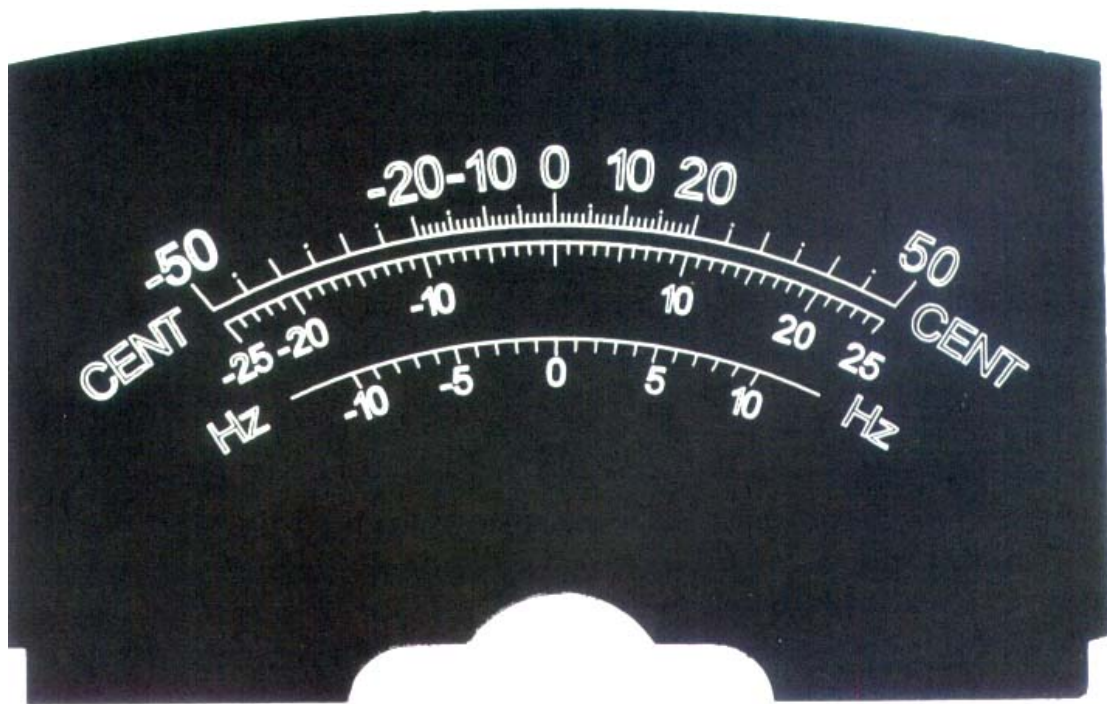
Η επιφάνεια σαρώνεται με εστιασμένη δέσμη λέιζερ και οι χαρακτήρες/σχέδια σχηματίζονται στην επιφάνεια με απ' ευθείας εγγραφή. Η δέσμη του λέιζερ αφού εστιαστεί σε ακτίνα διατομής στο σημείο εστίασης κατάλληλη για τη απαιτούμενη ακρίβεια (κατάλληλο πάχος γραμμής) μετακινείται με κάτοπτρα μέσω είτε ειδικών βαθμίδων xy μετατόπισης είτε συστήματος γαλβανομέτρων (Σχ.3.22). Σε κάθε περίπτωση, η κίνηση των κατόπτρων με τη βοήθεια προσωπικού υπολογιστή επιτρέπει την εγγραφή των χαρακτήρων ή των σχεδίων στην επιφάνεια. Η εγγραφή με αυτή τη μέθοδο είναι ακριβείας, με την ακρίβεια να καθορίζεται από τη διατομή του λέιζερ στο σημείο εστίασης. Αν χρησιμοποιείται παλμικό λέιζερ, σε κάθε παλμό θα δημιουργείται ένα κυκλικό σημείο επί της επιφάνειας και η συνεχής γραμμή θα επιτυγχάνεται με αλληλοεπικάλυψη των σημείων. Επομένως απαιτείται προσεκτική επιλογή του ρυθμού επανάληψης του λέιζερ και του ποσοστού αλληλοεπικάλυψης των σημείων.



Σχήμα 3. 22 Απευθείας εγγραφή με λέιζερ

3.6.5 Παραδείγματα εγγραφής με λέιζερ.

α) εγγραφή μεταλλικών και πλαστικών ετικετών είτε με απευθείας απομάκρυνση



Σχήμα 3. 23 Εγγραφή με λέιζερ

υλικού από την επιφάνεια είτε μέσω επικάλυψης και απομάκρυνσης στρώματος από χρώμα (Σχ.3.23)

β) εγγραφή πληροφοριών σε γυάλινα αντικείμενα όπως μπουκάλια, λάμπες φωτισμού

γ) εγγραφή πληροφοριών σε πλαστικά αντικείμενα όπως σωλήνες

δ) εγγραφή πληροφοριών ή σχεδίων σε ξύλινα αντικείμενα

ε) κατασκευή σφραγίδων

ΛΕΙΖΕΡ ΣΕΙΡΑΣ JK700

Το λέιζερ με το οποίο θα ασχοληθούμε εκτενέστερα στα επόμενα κεφάλαια είναι τύπου YAG, σειρά JK700 από την εταιρεία LUMONICS (σχήμα 4.1). Ως έτος κατασκευής του αναφέρεται ο Οκτώβριος του 1994 με σειριακό αριθμό (serial number) 424370.



Σχήμα 4.1 Ταμπέλα συστήματος

Τα χαρακτηριστικά του συγκεκριμένου λέιζερ είναι τα ακόλουθα:

- MAXIMUM OUTPUT 120 J, 850W
- PULSE DURATION 0.5 – 20msec
- WAVELENGTH(S) 1064 nm

Το συγκεκριμένο λέιζερ αποτελείται από τρεις βασικές μονάδες:

- 1) Την μονάδα ψύξης.
- 2) Την μονάδα παροχής ηλεκτρικής ισχύος.
- 3) Το λέιζερ με την κεφαλή κατεργασίας.

Το ψυκτικό μέσο αποτελείται κυρίως από έναν ανεμιστήρα, μια θερμοστατική βαλβίδα και έναν εναλλάκτη θερμότητας. Στο σχήμα 4.2 φαίνεται σε πλήρη εικόνα εξωτερικά, ενώ στο σχήμα 4.3 βλέπουμε το εσωτερικό του.



Σχήμα 4.2 Μονάδα ψύξης



Σχήμα 4.3 Εσωτερικό μονάδας ψύξης

Για την ψύξη της μονάδας ηλεκτρικής τροφοδοσίας και του συστήματος λείζερ, γεμίζουμε το δοχείο του ψυκτικού με απιονισμένο νερό, 110 λίτρα περίπου. Στο σχήμα 4.3 φαίνεται το δοχείο, όπου τοποθετείται freon, το οποίο ψύχει το νερό και το κρατά σε θερμοκρασία που εμείς έχουμε ορίσει.

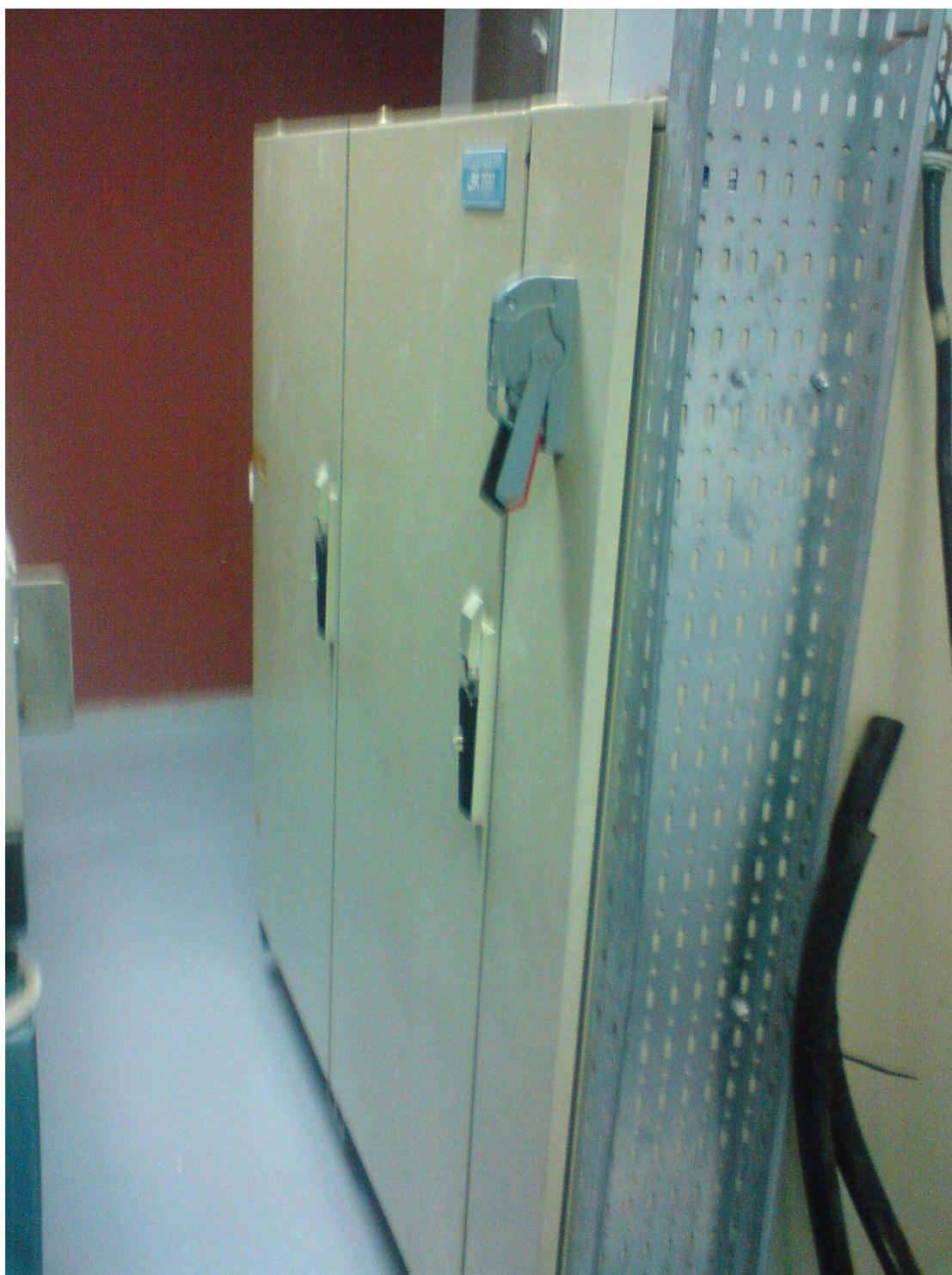
Στην όψη του ψυκτικού (σχήμα 4.4) υπάρχουν, εκτός από τον κεντρικό διακόπτη on-off, μπουτόν (π.χ ρύθμισης θερμοκρασίας), καθώς και όργανα ενδείξεων (π.χ μέτρηση πίεσης).



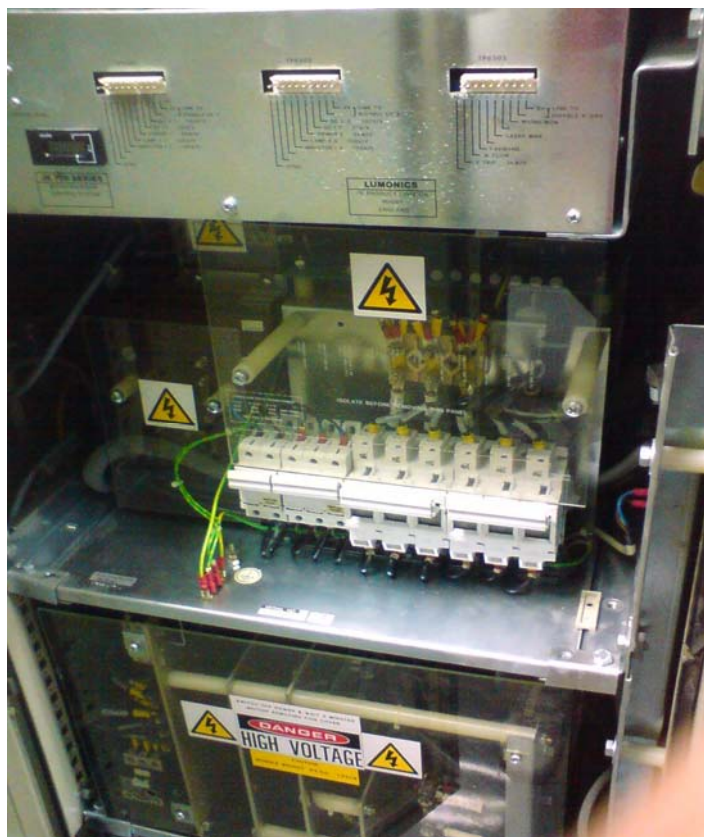
Σχήμα 4.4 Πρόσοψη ψυκτικής μονάδας

Η μονάδα παροχής ηλεκτρικής ισχύος είναι η μεγαλύτερη σε όγκο σε σύγκριση με τις άλλες δυο. Είναι η «καρδιά» του συστήματος και αποτελείται από πληθώρα ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών κυκλωμάτων. Εξωτερικά υπάρχει κεντρικός διακόπτης on-off για την ενεργοποίηση-απενεργοποίηση της μονάδας. Είναι δύσκολο και πολύ επικίνδυνο να επέμβουμε σε αυτή την μονάδα γι'αυτό σε περίπτωση βλάβης ή συντήρησης, η επέμβαση θα πρέπει να πραγματοποιηθεί μόνο από εξειδικευμένο προσωπικό της εταιρείας κατασκευής του.

Στις επόμενες σελίδες παρατίθενται εικόνες της μονάδας παροχής.



Σχήμα 4.5 Μονάδα παροχής ηλεκτρικής ισχύος



Σχήμα 4.6 Εσωτερικό μονάδας παροχής ηλεκτρικής ισχύος

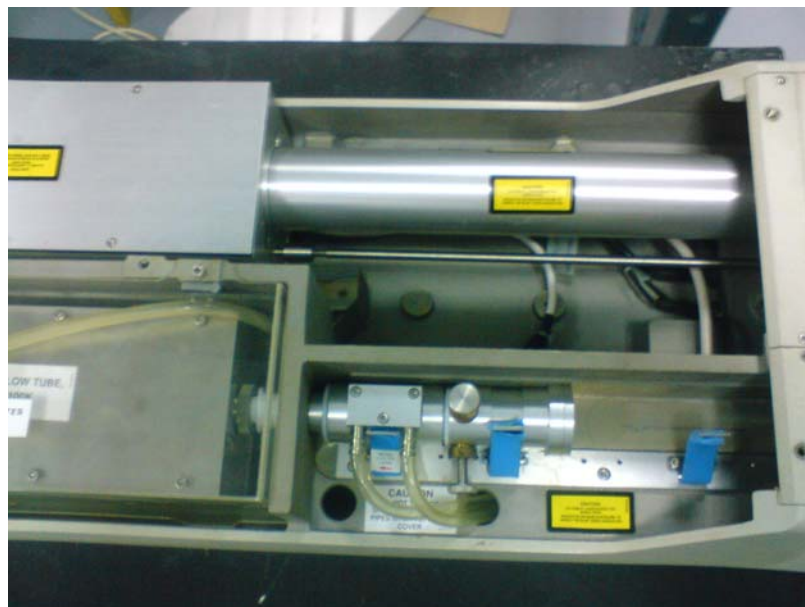


Σχήμα 4.7 Εσωτερικό μονάδας παροχής ηλεκτρικής ισχύος

Το εσωτερικό του συστήματος λέιζερ φαίνεται στα σχήματα 4.8 και 4.9. Στο σχήμα 4.8 φαίνεται η κεφαλή του λέιζερ.



Σχήμα 4.8 Κεφαλή λέιζερ



Σχήμα 4.9 Εσωτερικό του συστήματος

Η κεφαλή κατεργασίας είναι τοποθετημένη στο μπροστινό μέρος της κεφαλής λέιζερ. Στην άκρη δεξιά υπάρχει ο καθρέφτης που στρέφει την δέσμη λέιζερ κάθετα προς τα κάτω για κατεργασία (σχήμα 4.10).



Σχήμα 4.10 Καθρέφτης που στρέφει την δέσμη λέιζερ



Οι ρυθμιστές BET RATIO και FOCUS το κουτί των οποίων φαίνεται στο σχήμα 4.11 ρυθμίζονται σύμφωνα με την επιθυμητή μέση ισχύ εξόδου και διατομής της δέσμης.

Σχήμα 4.11 Ρυθμιστές BET RATIO & FOCUS

Το ΒΕΤ αποτελείται από δύο φακούς, τον φακό αναλογίας και τον φακό εστίασης. Σαν σκοπό έχει να μας παρέχει την δυνατότητα να αλλάζουμε την διάμετρο της δέσμης λέιζερ. Στο σχήμα 4.12 φαίνεται το σύστημα ΒΕΤ στο εσωτερικό του.



Σχήμα 4.12 Εσωτερικό συστήματος ΒΕΤ

Η μεταφορά της δέσμης του λέιζερ μπορεί να γίνει και μέσω οπτικής ίνας που συνδέεται στο σημείο που φαίνεται στο σχήμα 4.13.



Σχήμα 4.13 Σημείο σύνδεσης οπτικής ίνας

Ο πίνακας ελέγχου (control panel) περιλαμβάνει διακόπτες, λάμπες ένδειξης (led), έναν διακόπτη ελέγχου ο οποίος έχει δυο θέσεις off και τρεις θέσεις on καθώς και ένα κουμπί έκτακτης ανάγκης (EMERGENCY OFF). Ο πίνακας ελέγχου μπορεί να συνδεθεί με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος ή με την κεφαλή λέιζερ. Στο σχήμα 4.14 βλέπουμε τον πίνακα ελέγχου του λέιζερ που εξετάζουμε.



Σχήμα 4.14

ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΛΕΙΖΕΡ

5.1 Παροχή ηλεκτρικού ρεύματος

Η μεγαλύτερη σε όγκο από τις τρεις μονάδες που αποτελείται το λέιζερ είναι η μονάδα παροχής ηλεκτρικού ρεύματος. Ανοίγοντας τις δύο πόρτες πρόσβασης, διακρίνεται ένας μεγάλος όγκος από ηλεκτρικά και ηλεκτρονικά στοιχεία. Για λόγους ασφαλείας ο κεντρικός διακόπτης πρέπει να είναι κλειστός (θέση off) στην περίπτωση που θέλουμε να επέμβουμε στο εσωτερικό της μονάδας για την συντήρηση του. Η πρόσβαση πρέπει να γίνεται μόνο από εξειδικευμένους τεχνικούς.

Σε κάθε πόρτα υπάρχει μια κλειδαριά. Για να την ξεκλειδώσουμε περιστρέφουμε το κλειδί κατά 30° περίπου. Έπειτα αναπηδά αυτόματα η λαβή την οποία γυρίζουμε 130° δεξιόστροφα για να ανοίξει η πόρτα.

5.2 Ηλεκτρονικά ισχύος

Τα ηλεκτρονικά ισχύος αποτελούνται από μια μονάδα μετασηματιστών, μια μονάδα μετατροπής της ισχύος και μια παραγωγή. Υπάρχουν διαφορετικές εκδόσεις της μονάδας διανομής ισχύος για συχνότητες 50 HZ και 60 HZ. Η έκδοση των 60 HZ έχει έναν πρόσθετο Μ/Σ, ενώ στα υπόλοιπα μέρη οι δυο εκδόσεις είναι παρόμοιες. Η μονάδα Μ/Σ περιλαμβάνει έναν τριφασικό Μ/Σ ισχύος και έναν ανορθωτή που ανορθώνει την τάση στα 420 V, DC. Αντιστάσεις μεταξύ του Μ/Σ και του ανορθωτή περιορίζουν το ρεύμα στους πυκνωτές.

Ένα τρανζίστορ ισχύος συνδέει τους πυκνωτές με την λάμπα-φλας (flashlamp). Το τρανζίστορ ανοιγοκλείνει στο κύκλωμα επανειλημμένα σε υψηλή συχνότητα κατά την διάρκεια κάθε παλμού του λέιζερ ώστε να διατηρήσει το μέσο ρεύμα στην λάμπα άντλησης στην επιθυμητή τιμή. Το μέσο ρεύμα είναι συνεχώς μεταβλητό μέχρι τα 300Α.

Υπό φυσιολογικές συνθήκες, οι λάμπες-φλας έχουν μεγάλη εμπέδηση και επομένως, μία τροφοδοσία 420 V δεν είναι αρκετή για την μετατροπή τους σε κατάσταση χαμηλής εμπέδησης. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την εφαρμογή ενός παλμού σκανδαλισμού υψηλής τάσης: ο παλμός προκαλεί κατάρρευση του αερίου

στη λάμπα, προκαλώντας σπινθήρα μεταξύ των ηλεκτροδίων. Επομένως, ο παλμός σκανδαλισμού ελαττώνει την εμπέδηση της λάμπας μέχρι το σημείο όπου μία τάση DC είναι αρκετή για να αναπτυχθεί αρκετό ρεύμα. Με στόχο την εξάλειψη της ανάγκης σκανδαλισμού των λαμπών πριν από κάθε παλμό λέιζερ, αυτές διατηρούνται μετά τον αρχικό σκανδαλισμό σε μόνιμη κατάσταση χαμηλής εμπέδησης μέσω της συνεχής παρουσίας μικρού ρεύματος “simmer” διαμέσου της λάμπας. Το ρεύμα αυτό προέρχεται από ξεχωριστή τροφοδοσία “simmer” στην εξωτερική μονάδα.

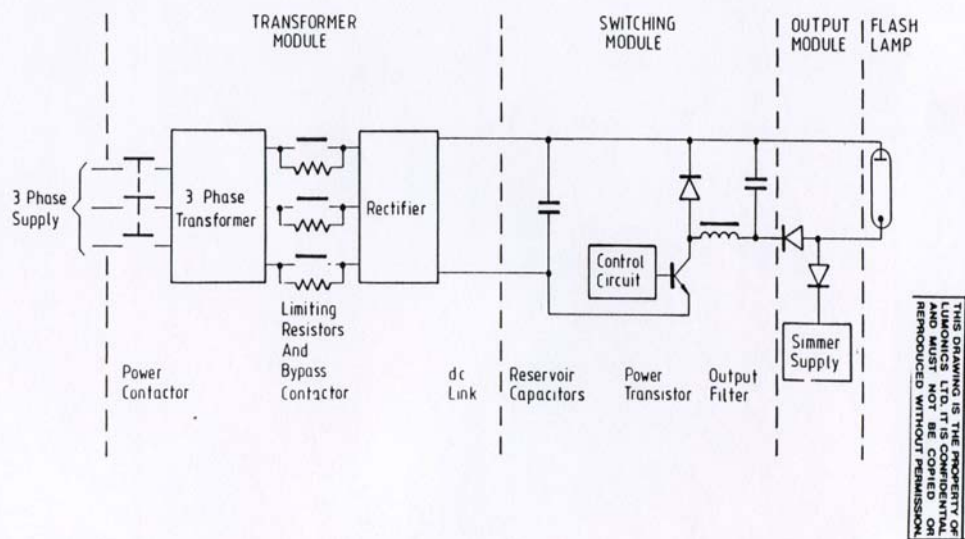
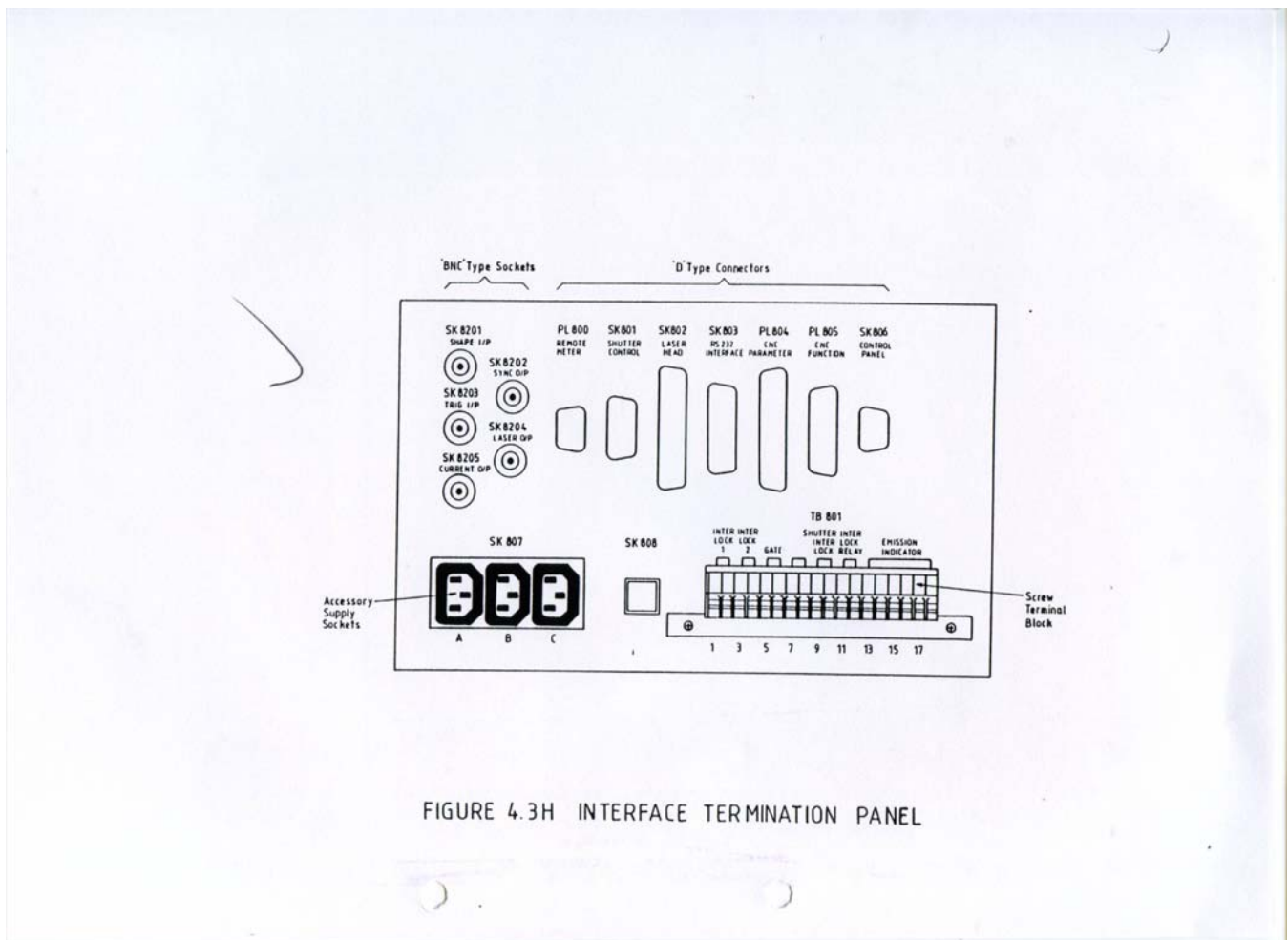


FIGURE 4.3F - POWER ELECTRONICS BLOCK DIAGRAM

Σχήμα 5.1 Μπλοκ διάγραμμα ηλεκτρονικών ισχύος

5.3 Ηλεκτρονικά ελέγχου

Η μονάδα ελέγχου μικροεπεξεργαστών λαμβάνει εντολές από τον χειριστή, που μπορεί να προέρουνται από ένα σύστημα CNC ή έναν υπολογιστή. Το κύκλωμα ασφαλείας είναι λειτουργικά ανεξάρτητο από τον μικροεπεξεργαστή και επιτρέπει να ανιχνευθούν τυχόν ανωμαλίες στη λειτουργία.



Σχήμα 5.2 Μονάδα ελέγχου

A) Πίνακας μικροεπεξεργαστών (microprocessor board)

Ο πίνακας μικροεπεξεργαστών εμπεριέχει ένα τσιπ μικροεπεξεργαστή, ένα τσιπ EPROM που αποθηκεύει το πρόγραμμα ελέγχου καθώς και μια RAM που

αποθηκεύει διάφορες παραμέτρους και μεταβλητές. Όταν το σύστημα κλείνει, το περιεχόμενο συντηρείται στην RAM μέσω ειδικού συστήματος μπαταριών που έχει διάρκεια ζωής 10 έτη. Επίσης το σύστημα αυτό ελέγχει την λειτουργία των μικροεπεξεργαστών και θέτει εκτός λειτουργίας το λέιζερ σε περίπτωση ελαττώματος.

Β) Πίνακας διασύνδεσης λέιζερ (laser interface board)

Ο πίνακας διασύνδεσης λέιζερ περιλαμβάνει κυρίως την παρακολούθηση, τον έλεγχο, την παραγωγή παλμού και τις λειτουργίες προστασίας του λέιζερ. Υπό τον έλεγχο των μικροεπεξεργαστών, το κύκλωμα παραγωγής παλμού επιτρέπει τον έλεγχο του ρεύματος της λάμπας άντλησης (ύψος), της διάρκειας (πλάτος) και της συχνότητας (ποσοστό). Το ύψος του παλμού μπορεί ακόμα και να αλλάξει κατά την διάρκεια ενός παλμού που δίνει το σύστημα. Το κύκλωμα προστασίας λέιζερ ελέγχει τα επίπεδα τάσης, ρεύματος και ισχύος, για να παρέχει προστασία ενάντια στην κακή χρήση.

Γ) Πίνακας διασύνδεσης τηλεχειρισμού (Remote control interface board)

Ο πίνακας τηλεχειρισμού είναι προαιρετικός, ώστε να γίνεται εφικτός ο έλεγχος του λέιζερ από ένα σύστημα CNC ή μια εξωτερική συσκευή ελέγχου.

Δ) Πίνακας τερματισμού διασύνδεσης (Interface termination panel)

Όλες οι συνδέσεις σήματος και διασύνδεσης εξωτερικά του τροφοδοτικού πραγματοποιούνται μέσω του πίνακα τερματισμού διασύνδεσης που είναι τοποθετημένος μέσα στο θάλαμο τερματισμού.

5.4 Σύστημα ψύξης

Το σύστημα ψύξης περιλαμβάνει το ACM, που ελέγχει τον θάλαμο παροχής ηλεκτρικού ρεύματος και το WCM, το οποίο ελέγχει την κεφαλή λέιζερ.

Το ACM περιλαμβάνει έναν ισχυρό ανεμιστήρα, μια θερμοστατική βαλβίδα νερού και έναν εναλλάκτη θερμότητας αέρα-νερού. Ο ανεμιστήρας λειτουργεί

συνεχώς κυκλοφορώντας τον αέρα μέσω των αγωγών. Ο αέρας επιστρέφει στον ανεμιστήρα μέσω του εναλλάκτη θερμότητας. Το ποσοστό ροής του νερού ρυθμίζεται αυτόματα από την θερμοστατική βαλβίδα, έτσι ώστε να διατηρήσει τον αέρα που επιστρέφει σε σταθερή θερμοκρασία.

Το WCM ψύχει πρώτιστα τις λάμπες-φλας και τη ράβδο του λέιζερ στον θάλαμο άντλησης.

Το WCM περιλαμβάνει κυρίως:

- Μία αντλία κυκλοφορίας
- Μία επαναφορτιζόμενη μονάδα απιονισμού
- Μία μονάδα φιλτραρίσματος με αντικαταστάσιμο φίλτρο
- Ένα εναλλάκτη θερμότητα νερού-νερού
- Μία θερμοστατική βαλβίδα νερού
- Μία δεξαμενή αποθήκευσης

5.5 Θάλαμος άντλησης λέιζερ

Ο θάλαμος άντλησης λέιζερ στεγάζει τον κρύσταλλο λέιζερ και δυο γραμμικές λάμπες-φλας, μία για κάθε πλευρά της ράβδου. Ο πρωταρχικός σκοπός είναι να μεταφερθεί το φως αποτελεσματικά από τις λάμπες-φλας στον κρύσταλλο λέιζερ. Ο θάλαμος άντλησης αποτελείται από ένα κιβώτιο ανοξείδωτου χάλυβα με ένα καπάκι σχήματος δαχτυλιδιού, που σφραγίζεται για να αποτρέψει τις διαρροές νερού. Το νερό αντλείται μέσω του θαλάμου για να απάγει την θερμότητα που παράγεται κατά την διάρκεια της διέγερσης του κρυστάλλου λέιζερ.

Οι λάμπες άντλησης αποτελούνται από λεπτούς σωλήνες χαλαζία που στην άκρη τους έχουν μεταλλικά ηλεκτρόδια, ενώ μέσα έχουν ένα αδρανές αέριο, συνήθως κρυπτό.

Η ράβδος του λέιζερ είναι ένα κύλινδρος από κρυσταλλικό Nd:YAG ο οποίος διαθέτει λεπτογυαλισμένη κυλινδρική επιφάνεια και πρόσωπα οπτικής ποιότητας, τα οποία είναι απόλυτα επίπεδα και παράλληλα. Τα πρόσωπα του κυλίνδρου είναι επιφάνειες ιδιαίτερης σημασίας και θα πρέπει να αγγίζονται με μεγάλη προσοχή και μόνο από εκπαιδευμένο προσωπικό

Για αποτελεσματικότερη ψύξη, ο κρύσταλλος λέιζερ έχει τοποθετηθεί μέσα στο γυάλινο σωλήνα ροής νερού, ο οποίος παράλληλα προστατεύει τον κρύσταλλο από την βλαβερή υπεριώδη ακτινοβολία της λάμπας άντλησης.

Κάτω από τον θάλαμο άντλησης υπάρχει πλάκα στην οποία τερματίζουν διάφορες υπηρεσίες από τον θάλαμο παροχής ισχύος όπως τα καλώδια της λάμπας και οι σωλήνες νερού. Δύο υδροσωλήνες σχηματίζουν έναν πολλαπλό σωλήνα κάτω από την πλάκα μέσω του οποίου φτάνουν οι παροχές στην κεφαλή λέιζερ. Το νερό περνά μέσω της πλάκας στον θάλαμο άντλησης και χρησιμοποιούνται δαχτυλίδια στεγάνωσης για τυχόν διαρροές.

5.6 Οπτικά συντονισμού (Resonator optics)

Τα οπτικά συντονισμού αποτελούνται από δύο καθρέφτες που τοποθετούνται σε κάθε πλευρά του κρυστάλλου λέιζερ απέναντι στις επιφάνειες πρόσοψης του κυλίνδρου. Ο οπίσθιος καθρέφτης είναι ένας ολικός ανακλαστήρας, που στεγάζεται τοποθετημένος σε οπτική βάση και εκτελεί δύο κινήσεις, την κατακόρυφη και την πλευρική (X,Y). Ο μπροστινός καθρέφτης αντανακλά μερικώς και είναι αυτός που δίνει την έξοδο λέιζερ.

5.6.1 Οπτικά συντονισμού LD

Οι εφαρμογές όπως η κοπή και η διάτρηση απαιτούν να θερμανθεί το υλικό του κομματιού προς κατεργασία, σε μια υψηλότερη θερμοκρασία απ'ό,τι στη συγκόλληση. Δηλαδή τέτοιες εφαρμογές έχουν σαν απαίτηση μια υψηλότερη ένταση ακτινοβολίας στο κομμάτι προς κατεργασία. Η ένταση είναι ένας όρος που δείχνει το ποσό ενέργειας του παλμού ανά χιλιοστά του δευτερολέπτου που παραδίδεται επάνω σε κάθε τετραγωνικό χιλιοστόμετρο του κομματιού προς κατεργασία. Κατά συνέπεια μια από τις κύριες μεθόδους αύξησης της έντασης είναι να μειωθεί η διάμετρος της δέσμης λέιζερ. Μια προσέγγιση είναι να χρησιμοποιηθεί ένας εστιακός φακός μικρής εστιακής απόστασης. Εντούτοις μια δεύτερη, πιο αποτελεσματική μέθοδος, είναι να τροποποιηθεί η δέσμη του λέιζερ ώστε να επιτυγχάνεται μικρότερη απόκλιση της.

Το κιτ LD περιλαμβάνει εξαρτήματα και για δύο οπτικά αντηχεία LD1 και LD2 ως εξής:

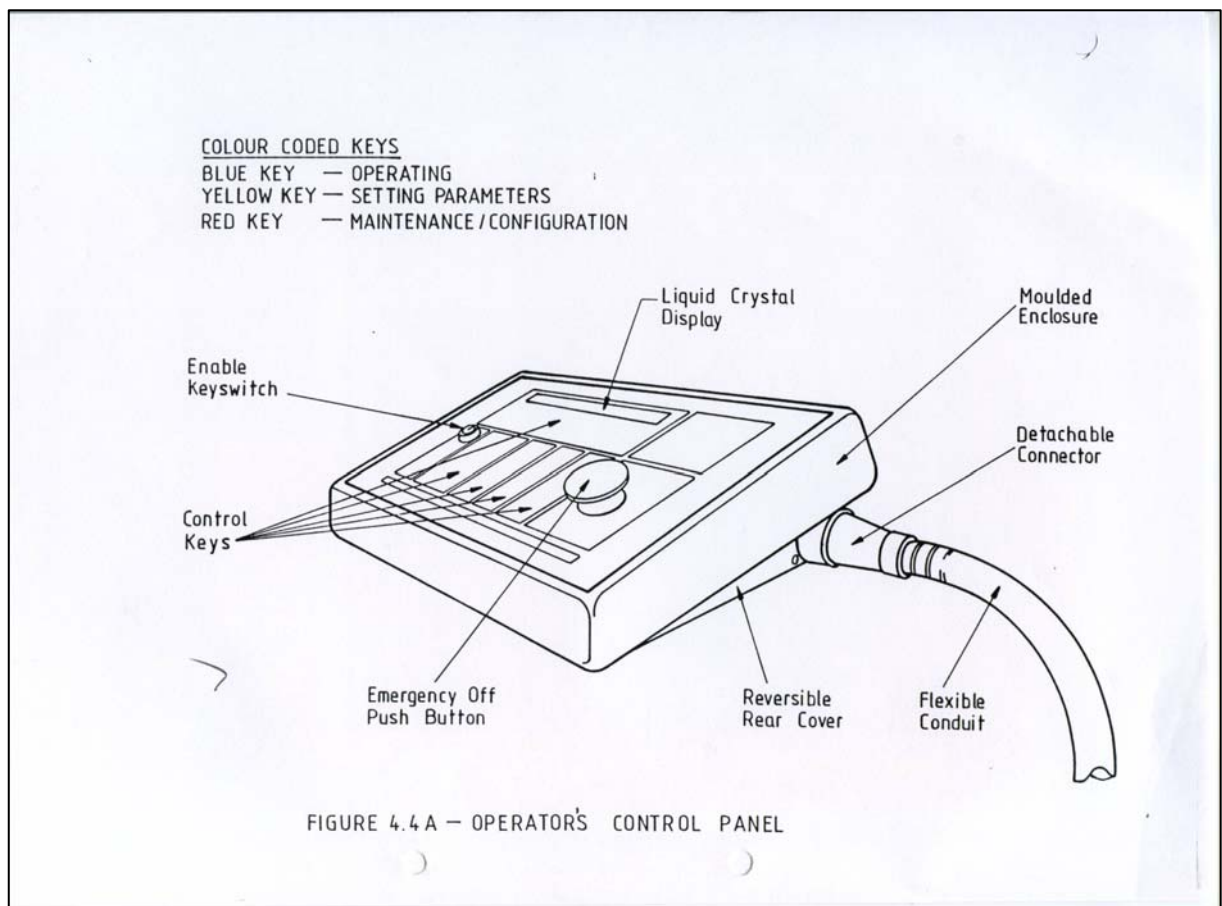
- Μία διάταξη φακών για κάθε αντηχείο
- Αριθμό μεταλλικών σωλήνων δέσμης
- Αριθμό προσαρμοστών PTFE
- Επιπλέον συνδέσεις ελατηρίου και βίδες τοποθέτησης
- Ένα επιπλέον σύστημα καθρέφτη εξόδου (μαύρο)

ΕΛΕΓΧΟΣ ΛΕΙΖΕΡ ΚΑΙ ΟΠΤΙΚΗ ΙΝΑ

6.1 Πίνακας ελέγχου (control panel)

Ο πίνακας ελέγχου περιλαμβάνει ταμπλό που περιέχει 23 κύριους διακόπτες, ομαδοποιημένους σύμφωνα με την λειτουργία τους, ένα αλφαριθμητικό 80 χαρακτήρων ενδείκτη υγρού κρυστάλλου πίσω φωτισμού, λάμπες ένδειξης τύπου LED, διακόπτη ελέγχου πέντε θέσεων και ένα κουμπί έκτακτης ανάγκης.

Ο διακόπτης ελέγχου έχει δυο θέσεις **off** και τρεις θέσεις **on**. Ο πίνακας ελέγχου είναι έτσι κατασκευασμένος ώστε να μπορεί να τοποθετηθεί σε ένα γραφείο ή ένα πάγκο. Μπορεί ακόμα να συνδεθεί με την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος ή τη κεφαλή λέιζερ με έναν εύκαμπτο αγωγό, στις άκρες του οποίου υπάρχουν δυο αποσπάσιμοι συνδετήρες.



Σχήμα 6.1 πίνακας ελέγχου

6.2 Κεφαλή κατεργασίας (Machining head)

Η κεφαλή κατεργασίας είναι τοποθετημένη στο μπροστινό μέρος της κεφαλής λέιζερ. Μια κλασσική κεφαλή κατεργασίας περιλαμβάνει την κεφαλή κατεργασίας, έναν διοφθαλμικό σύστημα παρατήρησης και ένα σύστημα φακών διεργασίας.



Σχήμα 6.2 Κεφαλές κατεργασίας

Στο πάνω μέρος του συστήματος της κεφαλής κατεργασίας έχει τοποθετηθεί ένα στήριγμα ανάρτησης, το οποίο φέρει καθρέφτη τύπου 45 μοιρών για την καθοδήγηση της δέσμης (καθρέφτης κατεργασίας). Στο χαμηλότερο μέρος υπάρχει ο σωλήνας φακού που στεγάζει το φακό εστίασης. Ο καθρέφτης στρέφει την δέσμη λέιζερ κάθετα προς τον συγκεντρωτικό φακό, που συγκεντρώνει την δέσμη σε μια διάμετρο μικρότερη από 1 mm. Ο σωλήνας φακού συγκρατιέται με δίδυμα προφορτισμένα γραμμικά ρουλεμάν, που επιτρέπουν την ακριβή γραμμική μετακίνηση μέσα στο συγκρότημα. Η θέση του σωλήνα φακού μπορεί να ρυθμιστεί μικρομετρικά.

Κάτω από τον φακό διεργασίας είναι στερεωμένο στρώμα προστασίας που σταματά τους καντούς σπινθήρες και τις αναθυμιάσεις που παράγονται κατά την διάρκεια της κατεργασίας. Το στρώμα είναι φτιαγμένο από έναν ειδικό σίδηρο και από ένα λευκό κρυστάλλινο γυαλί. Ο καθρέφτης κατεργασίας είναι ένας ολικός ανακλαστήρας στο μήκος κύματος του λέιζερ αλλά έχει υψηλή μετάδοση και στα μήκη κύματος στο ορατό. Η επιτρεπόμενη άπειρη διόρθωση επιτρέπει την τοποθέτηση του υπό επεξεργασία κομματιού ακριβώς στην ίδια απόσταση από τον φακό κατεργασίας, ανεξάρτητα από την αξονική θέση του φακού.

Η άπειρη διόρθωση του φακού βρίσκεται στο κατώτερο μέρος της κεφαλής, όπου επίσης τοποθετείται ένα φίλτρο ασφαλείας που απορροφά οποιαδήποτε

ακτινοβολία προέρχεται από την δέσμη λέιζερ. Οι φακοί διεργασίας είναι διαθέσιμοι με εστιακά μήκη που κυμαίνονται από τα 50 μέχρι τα 300 mm. Συνηθέστερα είναι τα 80mm και ακολούθως τα 120 mm.

6.3 T.V κλειστού κυκλώματος (closed circuit TV viewing)

Σαν εναλλακτική λύση για την άμεση επίβλεψη κάθε διαδικασίας, το κομμάτι προς κατεργασία μπορεί να παρατηρείται χρησιμοποιώντας μια επιλογή απεικόνισης τύπου κλειστής κάμερας παρακολούθησης (cctv) που περιλαμβάνει: μια τριοπτική κεφαλή παρατήρησης, μια μονάδα αναμετάδοσης εικόνας, μια κάμερα κλειστού κυκλώματος, μια οθόνη καθώς και μια γεννήτρια ηλεκτρονικού σταυρονήματος.

Η τριοπτική κεφαλή παρατήρησης είναι παρόμοια με την διοπτική κεφαλή, με την μόνη διαφορά ότι υπάρχει αγωγός επέκτασης, στην άκρη του οποίου τοποθετείται η κάμερα. Έτσι, η τριοπτική κεφαλή επιτρέπει την δυνατότητα επιλογής είτε της εμφάνισης σε κλειστό κύκλωμα ή της άμεσης εμφάνισης, με την απλή περιστροφή του προσοφθάλμιου φακού κατά 45° γύρω από τον άξονα παρατήρησης.

Ο φακός οπτικής διόρθωσης και ο φακός επεξεργασίας διαμορφώνουν μαζί την απεικόνιση του κομματιού προς κατεργασία στο επίπεδο εστίασης, όπου βρίσκεται και το σταυρόνημα. Όταν το σύστημα λειτουργεί σαν κάμερα κλειστού κυκλώματος, η απεικόνιση των κομματιών προς κατεργασία σχηματίζεται στην άκρη του αγωγού επέκτασης της τριοπτικής κεφαλής. Προκειμένου να υπάρχει πρόσβαση της απεικόνισης αυτής, αυτή μεταφέρεται έξω από τον αγωγό επέκτασης με ένα ζευγάρι φακών 1:1 για αναμετάδοση εικόνας, που είναι τοποθετημένο σε ένα κελί μέσα στη σχετική μονάδα. Το κελί ασφαλιζεται σε σωστή αξονική θέση μέσω μιας βίδας που διαπερνά το τοίχωμα της μονάδας φακών μέσω κατάλληλης εγκοπής

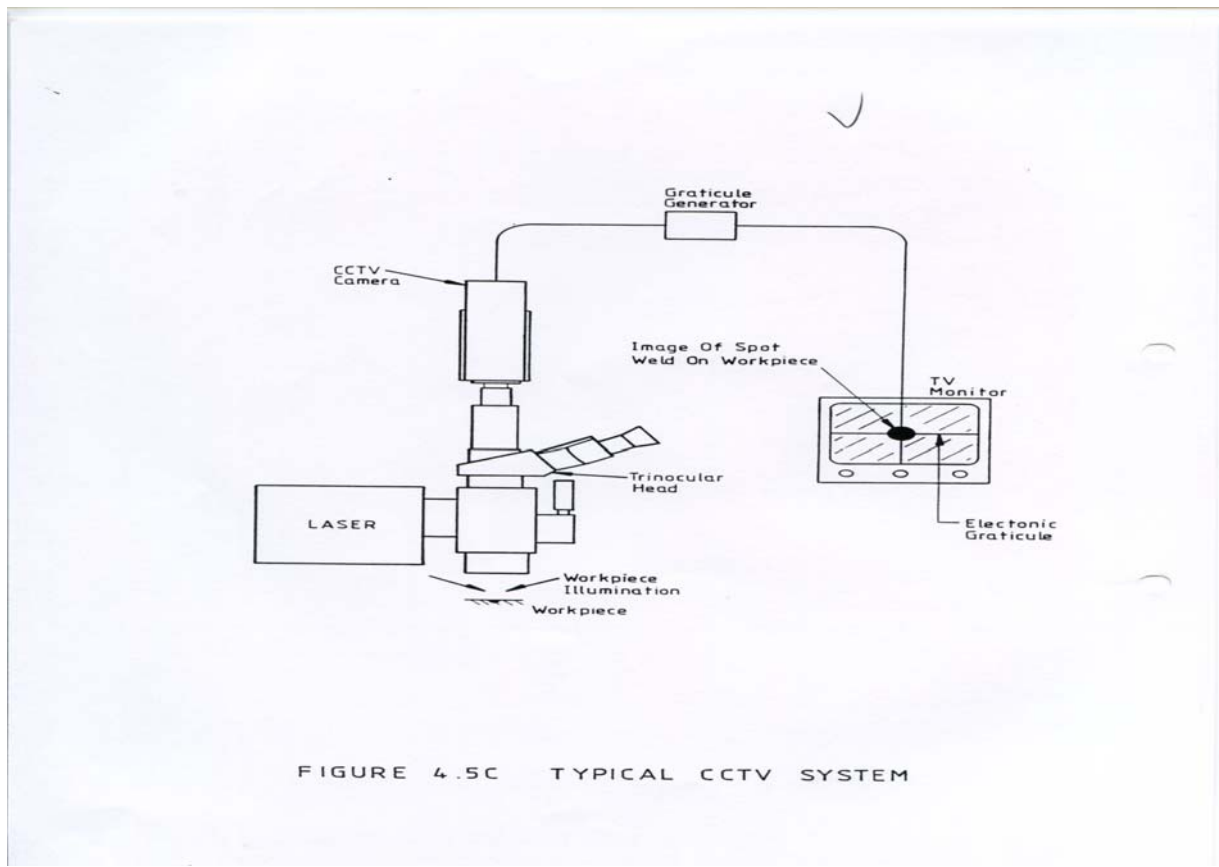
Η κάμερα κλειστού κυκλώματος διαθέτει προσαρμογέα με σπείρωμα και τοποθετείται πάνω σε αντίστοιχη υποδοχής με σπείρωμα, πάνω στην μονάδα αναμετάδοσης της εικόνας. Εκεί κλειδώνει στη θέση της με τη βοήθεια δακτυλιδιού. Η όλη ρύθμιση επιτρέπει μόνο μικρές αποκλίσεις στην αξονική τοποθέτηση της κάμερας.

Η κάμερα κλειστού κυκλώματος επιλέγεται στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Όπου υπάρχει πρωταρχική μέριμνα για την ασφάλεια των ματιών, καθώς η παρατεταμένη χρήση μπορεί να προκαλέσει ενόχληση των ματιών

- Όταν η κεφαλή κατεργασίας είναι απρόσιτη.
- Όταν η κεφαλή κατεργασίας είναι σε συνεχή κίνηση.
- Όταν το λέιζερ βρίσκεται σε περιοχή που παρουσιάζει κίνδυνο ασφαλείας.

Στο Σχήμα 6.3 φαίνεται ένα τυπικό διάγραμμα ενός συστήματος cctv.



Σχήμα 6.3 Σχηματικό διάγραμμα ενός συστήματος cctv

6.4 Σύστημα ακροφυσίου για αέριο (Gas nozzle assembly)

Στις εφαρμογές κοπής και διάτρησης, υπάρχουν ουσιαστικά οφέλη αν χρησιμοποιηθεί κάποιο αέριο (συνήθως οξυγόνο, μερικές φορές συμπιεσμένος αέρας) μαζί με την ακτίνα λέιζερ.

Τα κύρια αποτελέσματα της παρουσίας του αερίου είναι η δημιουργία μιας εξώθερμης αντίδρασης ενώ παράλληλα το αέριο φυσά το προς κατεργασία υλικό, που

μπορεί να είναι μια τρύπα ή μία αυλάκωση, μειώνοντας κατά συνέπεια το πάχος του στρώματος. Το σύστημα ακροφυσίου αερίου παράλληλα υποκαθιστά το συνηθισμένο πλέγμα προστασίας. Το σύστημα ακροφυσίου είναι συνήθως κωνικής μορφής. Το αέριο υπό πίεση εισάγεται στο ακροφύσιο ακριβώς κάτω από τον φακό κατεργασίας και διαφεύγει διαμέσου της 1 mm διαμέτρου οπής του ακροφυσίου στο κάτω μέρος της διάταξης. Το ακροφύσιο ρυθμίζεται από τρεις βίδες που επιτρέπουν πλευρική ρύθμιση. Το ακροφύσιο μπορεί να είναι κατασκευασμένο είτε από PTEE, είτε από χαλκό.

6.5 Περίφραξη ασφαλείας (Safety enclosure)

Η πρότυπη περίφραξη ασφαλείας είναι μία μεταλλική κατασκευή σε σχήμα ορθογωνίου με δύο διαμορφωμένες συρόμενες πόρτες στην κορυφή και το μέτωπο της διάταξης. Το λέιζερ τοποθετείται σε μια πλατφόρμα πάνω σε ένα στήριγμα. Προκειμένου να κατευθυνθεί ακίνδυνα η δέσμη από το λέιζερ στην περίφραξη, είναι ουσιαστικό να εγκατασταθεί η κεφαλή κατεργασίας στο λέιζερ. Ο σωλήνας φακού στην κεφαλή κατεργασίας περνά διαμέσου ενός κυκλικού διαφράγματος, που διαμορφώνεται από τις ημικυκλικές εγκοπές στις επαφές των θυρών περίφραξης.

Η περίφραξη ασφαλείας μετατρέπει το λέιζερ σειράς JK700 σε σύστημα κλάσης (ασφαλείας) 1, μέσω:

- Αλληλο-επικαλυπτόμενων συνδέσεων μεταξύ των θυρών και μεταξύ θυρών και παρακείμενων πινάκων οργάνων
- Ειδικής φλάντζας τοποθετημένης στα παράθυρα παρατήρησης του φίλτρου ασφαλείας στο σωλήνα φακού της κεφαλής κατεργασίας.
- Διακοπών εμπλοκής για ασφάλεια υψηλής αξιοπιστίας, εγκατεστημένων σε κάθε συρόμενη πόρτα.

- Πλακιδίου διασύνδεσης με δακτυλίδι ασφαλείας, τοποθετημένου στο πίσω μέρος της περιφράξης, το οποίο επιτρέπει την είσοδο των βοηθητικών παροχών (ισχύς, αέριο) χωρίς την διαφυγή φωτός.

6.6 Χειροκίνητος έλεγχος φωτοφράκτη (Hand shutter control)

Επειδή ο δείκτης επικινδυνότητας της δέσμης λέιζερ είναι μεγάλος, σύμφωνα με τις απαιτήσεις ασφαλείας, ο ενδείκτης εκπομπής λέιζερ ανάβει στον πίνακα ελέγχου 10 δευτερόλεπτα προτού ξεκινήσει η λειτουργία του λέιζερ. Προκειμένου να επιτρέπεται έλεγχος του φωτοφράκτη έτσι ώστε για να διατηρηθεί σε μια κατάλληλη θέση, έχει τοποθετηθεί ένα οδοντωτό πέλμα για τον έλεγχο του φωτοφράκτη στο πίσω μέρος της διάταξης.

Η μεταφορά της δέσμης του λέιζερ μπορεί να πραγματοποιηθεί με την χρήση οπτικής ίνας. Παρακάτω θα δούμε αναλυτικά τι είναι η οπτική ίνα.

6.7 Εισαγωγή στις οπτικές ίνες (optical fiber)

Υπάρχουν διάφοροι ορισμοί με τους οποίους μπορεί κάποιος να απαντήσει στο τι είναι οι οπτικές ίνες. Επιστημονικά θα μπορούσε κάποιος να πει ότι μία οπτική ίνα είναι ένας κυλινδρικός διηλεκτρικός κυματοδηγός αποτελούμενος από υλικό που παρουσιάζει μικρές απώλειες στη φασματική περιοχή του ορατού-κοντινού υπέρυθρου. Πρακτικά, η οπτική ίνα είναι ένα καλώδιο από γυαλί ή πλαστικό που χρησιμοποιείται για την μεταφορά φωτός (ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων). Δηλαδή πρόκειται για ένα πιθανό αντικαταστάτη των χάλκινων καλωδίων άρα και της χρήσης των ηλεκτρικών σημάτων σε διάφορες εφαρμογές. Ουσιαστικά όμως, οι οπτικές ίνες αποτελούν ένα ισχυρότατο εργαλείο με πάρα πολλές εφαρμογές σε διάφορους τομείς όπως επικοινωνίες και μεταφορά δεδομένων, αισθητήρες, ιατρική, βιομηχανία κλπ.

Οι διηλεκτρικοί αγωγοί μελετήθηκαν για πρώτη φορά στις αρχές του 20^{ου} αιώνα, με βασική ιδέα την χρήση φωτός για την μεταφορά πληροφορίας αντί του ρεύματος. Οι οπτικές ίνες όμως άρχισαν να παρουσιάζουν ερευνητικό ενδιαφέρον μετά την ανακάλυψη του λέιζερ το 1960. Οι πρώτες οπτικές ίνες είχαν μεγάλες απώλειες (1000 dB/km) και μόνο όταν οι απώλειες έπεσαν στα 20 dB/km, μετά το 1970, φάνηκαν τα τεράστια πλεονεκτήματα τα οποία θα παρουσίαζαν έναντι των χάλκινων καλωδίων στην μεταφορά πληροφορίας. Μετά την ανάπτυξη διόδων λέιζερ που εκπέμπουν στα δύο παράθυρα απορρόφησης των οπτικών ινών (μήκη κύματος 1.3 και 1.55 μm), η εξέλιξη των οπτικών επικοινωνιών ήταν ραγδαία καθώς οι απώλειες έπεσαν στα 0.4 dB/km. Σήμερα, θεωρείται δεδομένο ότι το μέλλον των επικοινωνιών είναι οι οπτικές επικοινωνίες καθώς προσφέρουν μεγάλο εύρος ζώνης συχνοτήτων και πολύ μεγάλες ταχύτητες μετάδοσης. Οι χρήσεις

αφορούν από απλές συνδέσεις μέσα σε κτίρια έως και υποθαλάσσιες συνδέσεις μεγάλων αποστάσεων.

Παράλληλα όμως με την μεταφορά πληροφορίας γρήγορα έγιναν αντιληπτές οι δυνατότητες που παρουσίαζαν σε μία σειρά εφαρμογών όπως:

A) ενδοσκοπία. Με την οπτική ίνα μπορεί να μεταφερθεί στο εσωτερικό ενός ασθενούς μία δέσμη λέιζερ με σκοπό είτε διαγνωστικό είτε επεμβατικό. Σήμερα οι οπτικές ίνες αποτελούν βασικό εργαλείο σε διάφορες ιατρικές ειδικότητες.

B) βιομηχανία. Με την οπτική ίνα μπορεί να μεταφερθεί μία δέσμη λέιζερ σε σημεία μη προσιτά από το σύστημα λέιζερ και να γίνει εφικτή η απαραίτητη κατεργασία. Η συγκεκριμένη χρήση αφορά και την παρούσα εργασία.

Γ) αισθητήρες οπτικών ινών. Οι ιδιότητες του διαδιδόμενου φωτός μπορούν να επηρεαστούν από εξωτερικό παράγοντα είτε μέσα στην ίδια την ίνα είτε σε παρεμβαλλόμενο διαμορφωτή. Με αυτόν τον τρόπο μπορεί να ανιχνευτεί ποιοτικά και ποσοτικά ο εξωτερικός παράγοντας. Η συγκεκριμένη τεχνολογία έχει φτάσει σήμερα σε πολύ υψηλά επίπεδα, τα φυσικά μεγέθη που μπορούν να ανιχνευτούν είναι πάρα πολλά, υπάρχει δυνατότητα πολυπλεξίας ενώ οι αισθητήρες έχουν πολύ μικρό βάρος. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί το «flight by light» στην αεροπορία όπου όλα τα χαρακτηριστικά της πτήσης ελέγχονται από δίκτυο οπτικών ινών σε συνδυασμό με αισθητήρες οπτικών ινών.

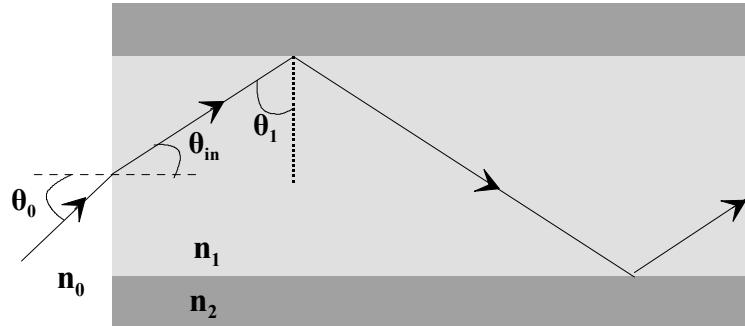
Όσον αφορά την κατασκευή της, μία οπτική ίνα αποτελείται από τον πυρήνα μέσα στον οποίο διαδίδεται η ακτινοβολία και το περίβλημα που περιβάλλει τον πυρήνα. Συνθήκη απαραίτητη για την λειτουργία της ίνας είναι το περίβλημα να έχει δείκτη διάθλασης λίγο μεγαλύτερο από αυτό του πυρήνα. Οι διαστάσεις πυρήνα-περιβλήματος καθώς και η κατανομή του δείκτη διάθλασης ποικίλουν και σχετίζονται άμεσα με την χρήση για την οποία προορίζεται η οπτική ίνα. Στις περισσότερες περιπτώσεις, ο πυρήνας και το περίβλημα της οπτικής ίνας είναι κατασκευασμένα από γυαλί (οξειδίο του πυριτίου SiO_2) μεγάλης καθαρότητας με μικρές προσθήκες άλλων οξειδίων όπως GeO_2 , B_2O_3 , P_2O_5 κλπ, οι οποίες επηρεάζουν τον δείκτη διάθλασης. Εκτός από το γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πλαστικό, όμως οι πλαστικές οπτικές ίνες παρουσιάζουν μεγαλύτερες απώλειες και χρησιμοποιούνται μόνο για εφαρμογές μικρών αποστάσεων.

Οι οπτικές ίνες διακρίνονται στις ίνες μονού ρυθμού (single mode) που επιτρέπουν την διάδοση ενός μόνο ρυθμού διάδοσης και στις ίνες πολλαπλού ρυθμού (multimode) που επιτρέπουν την ταυτόχρονη διάδοση πολλών ρυθμών. Οι ίνες μονού ρυθμού μπορούν να μεταδώσουν φως με μικρή παραμόρφωση σε μεγάλη απόσταση αλλά έχουν μικρό εύρος ζώνης συχνοτήτων και είναι δύσκολες στο χειρισμό τους. Οι ίνες πολλαπλού ρυθμού αντιθέτως παρέχουν μεγαλύτερο εύρος ζώνης συχνοτήτων και είναι ευκολότερες στο χειρισμό όμως παρουσιάζουν μεγαλύτερη παραμόρφωση του σήματος. Οι ίνες πολλαπλού ρυθμού είναι επιπλέον απλούστερες στην κατασκευή τους και έχουν πυρήνα διαμέτρου 50-100 μm σε αντίθεση με αυτές μονού ρυθμού που έχουν πυρήνα διαμέτρου 8-10 μm . Τέλος, ίνες μονού ρυθμού μπορούν να κατασκευαστούν μόνο από γυαλί, ενώ οι πολυμερικές ίνες είναι μόνο πολλαπλού ρυθμού.

6.8 Λειτουργία και ιδιότητες οπτικών ινών

6.8.1 Αρχή λειτουργίας των οπτικών ινών.

Η λειτουργία των οπτικών ινών βασίζεται στο φαινόμενο της ολικής ανάκλασης στην διαχωριστική επιφάνεια δύο διηλεκτρικών. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, η οπτική ίνα είναι μία διάταξη που αποτελείται από ένα διηλεκτρικό πυρήνα με δείκτη



Σχήμα 6.4 Αρχή λειτουργίας οπτικών ινών

διάθλασης n_1 που περιβάλλεται από το περίβλημα με δείκτη διάθλασης n_2 . Ας υποθέσουμε ότι ένα ΗΜ κύμα προσπίπτει από τον αέρα (δείκτης διάθλασης n_0) στον πυρήνα της ίνας από αριστερά υπό γωνία θ_0 . Στη διαχωριστική επιφάνεια αέρα-πυρήνα θα έχουμε πάντοτε σε ισχύ το νόμο Snell (καθώς $n_1 > n_0$) και το κύμα θα εισέλθει στην ίνα με γωνία θ_{in} τέτοια ώστε $n_0 \sin \theta_0 = n_1 \sin \theta_{in}$. Στη συνέχεια, το ΗΜ κύμα θα προσπέσει στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-περίβλημα υπό γωνία $\theta_1 = \pi/2 - \theta_{in}$. Αν η γωνία θ_1 είναι μεγαλύτερη της ορικής (με $n_2 \sin \theta_{ic} = n_1$), το ΗΜ κύμα θα ανακλαστεί ολικά και θα παραμείνει στον πυρήνα. Το ίδιο θα συμβεί και σε όλες τις επόμενες ανακλάσεις στις διαχωριστικές επιφάνειες πυρήνα-περίβλημα και επομένως το ΗΜ κύμα θα διαδοθεί κατά μήκος της οπτικής ίνας.

Αφού η διάδοση του ΗΜ κύματος διαμέσου της οπτικής ίνας προϋποθέτει ολική ανάκλαση στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-περίβλημα, υπάρχει περιορισμός στις γωνίες εισόδου θ_0 για τις οποίες η διάδοση είναι εφικτή. Αν η γωνία εισόδου είναι αρκετά μεγάλη ώστε η γωνία πρόσπτωσης στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-περίβλημα να είναι μικρότερη από την ορική, τότε δεν θα υπάρχει ολική ανάκλαση και μέρος της ενέργειας θα περνά στο περίβλημα άρα η διάδοση δεν θα είναι αποδοτική. Υπάρχει μία μέγιστη γωνία εισόδου στον πυρήνα από τον αέρα θ_{max} για την οποία το ΗΜ κύμα προσπίπτει υπό ορική γωνία στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-περίβλημα για την οποία θα ισχύει:

$$n_0 \sin \theta_{max} = n_1 \sin(\pi/2 - \theta_{ic}) = n_1 \cos \theta_{ic} \quad (6.1)$$

Η γωνία $2\theta_{max}$ ορίζει το ονομαζόμενο κώνο συλλογής και όλα τα κύματα τα οποία εισέρχονται στην οπτική ίνα διαμέσου αυτού του κώνου, μπορούν να διαδοθούν στην

ίνα. Για την γωνία θ_{\max} έχουμε με χρήση της τριγωνομετρίας έχουμε και αν λάβουμε υπόψη ότι $n_{\text{ic}} = n_2/n_1$:

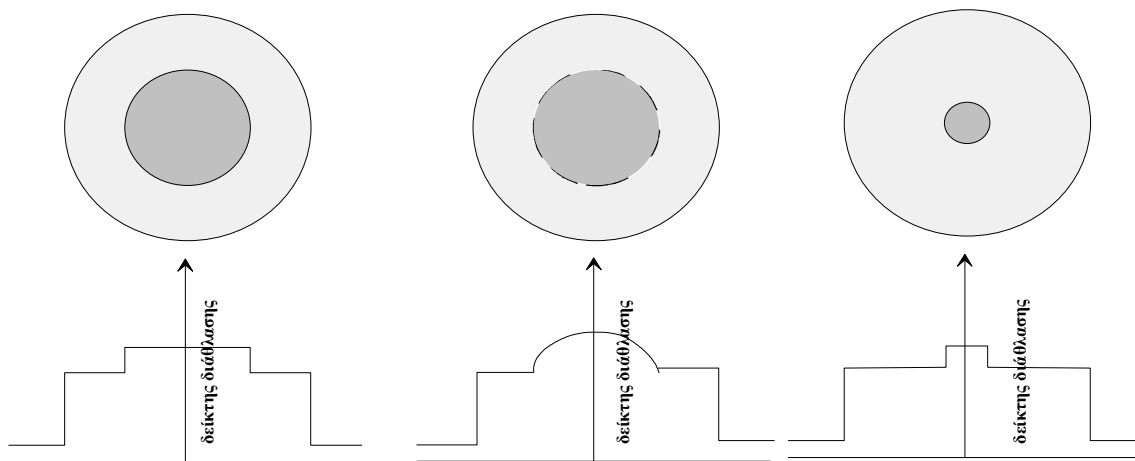
$$n_0 \sin \theta_{\max} = (n_1^2 - n_2^2)^{1/2} = [(n_1 + n_2)(n_1 - n_2)]^{1/2} \approx [2n_1(n_1 - n_2)]^{1/2}$$

$$\text{ή} \quad n_0 \sin \theta_{\max} = n_1(2\Delta)^{1/2} \quad (6.2)$$

όπου: $\Delta = (n_1 - n_2)/n_1$.

Η ποσότητα $NA = n_0 \sin \theta_{\max} = n_1(2\Delta)^{1/2}$ ονομάζεται αριθμητικό άνοιγμα (numerical aperture) της οπτικής ίνας και εκφράζει την δυνατότητα συλλογής μιας δέσμης από την ίνα ή ένα σύστημα ινών. Το αριθμητικό άνοιγμα ουσιαστικά εκφράζει την γωνία του κώνου, μέσα από τον οποίο συλλέγει φως η οπτική ίνα και οπτικές ίνες με μεγάλο αριθμητικό άνοιγμα έχουν μεγάλο βαθμό συλλογής της προσπίπτουσας δέσμης. Είναι μια πολύ σημαντική παράμετρος, γιατί όταν οι οπτικές ίνες π.χ. συνδυάζονται με ένα LED του οποίου η δέσμη παρουσιάζει μεγάλη απόκλιση, η ζεύξη της ίνας είναι καλή με το LED αν η ίνα έχει μεγάλο αριθμητικό άνοιγμα. Αντίθετα όταν η ίνα συνδυάζεται με λέιζερ δεν υπάρχει ιδιαίτερο πρόβλημα εκτός αν η ίνα έχει πολύ μικρή διάμετρο (π.χ. μονότροπη οπτική ίνα). Τυπικές τιμές του αριθμητικού ανοίγματος για τις ίνες είναι 0.001-0.03.

6.8.2 Βασικές πληροφορίες για τις οπτικές ίνες



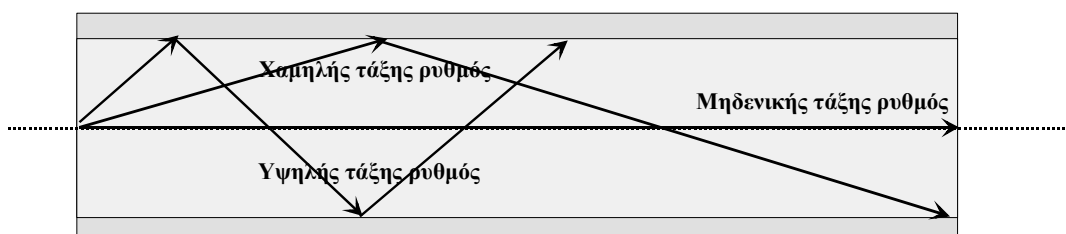
Σχήμα 6.5 Οπτική ίνα βηματικού (αριστερά) και διαβαθμισμένου (κέντρο) δείκτη διάθλασης. Δεξιά φαίνεται η μονότροπη οπτική ίνα.

Ανάλογα με τον κατανομή του δείκτη διάθλασης της ίνας σε τομή κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του φωτός, οι οπτικές ίνες διακρίνονται σε ίνες με βηματικό δείκτη διάθλασης (step index fibers) και σε ίνες με διαβαθμισμένο δείκτη διάθλασης (graded index fibers). Όπως φαίνεται στο Σχήμα 6.5, στην πρώτη περίπτωση ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα είναι σταθερός σε όλη την διατομή του, δημιουργώντας ένα σκαλοπάτι δείκτη διάθλασης στην διαχωριστική επιφάνεια μεταξύ του πυρήνα και του περιβλήματος. Στην διαβαθμισμένη περίπτωση, ο δείκτης διάθλασης μεταβάλλεται κατά συνεχή τρόπο από το κέντρο της ίνας προς την περιφέρεια της, με την μέγιστη τιμή να υπάρχει στο κέντρο της ίνας. Στην πρώτη περίπτωση, η ανάκλαση όλων των διαδιδόμενων κυμάτων γίνεται στην διαχωριστική επιφάνεια πυρήνα-περίβλημα, ενώ στην δεύτερη η πορεία της ακτίνα είναι «κυρτωμένη» με το σημείο «ανάκλασης» να εξαρτάται από την γωνία εισόδου στην ίνα (Σχήμα 6.6). Τέλος, οι οπτικές ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης διακρίνονται σε μονότροπες ή πολύτροπες ανάλογα με την διάμετρο του πυρήνα. Οι μονότροπες οπτικές ίνες έχουν πολύ μικρή διάμετρο (π.χ. 8-10 μm) και επιτρέπουν την ευθεία διάδοση ενώ αντίστοιχα οι πολύτροπες έχουν πυρήνα μεγαλύτερης διαμέτρου (π.χ. 50-100 μm) και επιτρέπουν την διάδοση πολλών ΗΜ κυμάτων ταυτόχρονα.

Ανάλογα με την γωνία εισόδου του φωτός σε μία οπτική ίνα και το μήκος κύματος του, ένα κύμα θα ακολουθήσει διαφορετική πορεία ανακλάσεων για να διαδοθεί. Κάθε οπτική ίνα, ανάλογα με τις διαστάσεις και τα χαρακτηριστικά της, μπορεί να υποστηρίξει ορισμένο αριθμό πορειών διάδοσης των κυμάτων. Όμως, οι πολλαπλές ανακλάσεις πολλών διαφορετικών κυμάτων μέσα στην οπτική ίνα μπορούν όμως να δημιουργήσουν προβλήματα λόγω συμβολής στο εσωτερικό της ίνας, όπου θα πρέπει να αποφεύγεται η καταστροφική συμβολή. Άρα, δεν θα επιτρέπεται η διάδοση για όλες τις γωνίες εισόδου μέσα στον κώνο συλλογής και όπως αποδεικνύεται, για να υπάρχει ενισχυτική συμβολή πρέπει η γωνία θ_{in} πρέπει να ικανοποιεί μία σχέση της μορφής:

$$\eta\mu\theta_{in} = \frac{m\lambda}{4n_1a} \quad (6.3)$$

όπου a η ακτίνα του πυρήνα της οπτικής ίνας και m ακέραιος που αντιστοιχεί στην επονομαζόμενη τάξη του ρυθμού διάδοσης. Η γωνία εισόδου θ_{in} για κάθε m αντιστοιχεί σε μία διαφορετική πορεία μέσα από την οπτική ίνα και καθορίζει ένα διαφορετικό οπτικό τρόπο (ή ρυθμό) διάδοσης (modes). Για $m=0$ έχουμε τον



Σχήμα 6.6 Πορεία των διαφόρων τάξεων ρυθμών σε μία οπτική ίνα

μηδενικής τάξης ρυθμό που αντιστοιχεί σε ευθεία διάδοση. Για τους ρυθμούς χαμηλής τάξης, η γωνία εισόδου στην ίνα είναι μικρή και η γωνία ανάκλασης στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνας-περίβλημα είναι αρκετά μεγάλη. Αντίθετα, όσο αυξάνει το m τόσο αυξάνει η γωνία εισόδου στην ίνα, η γωνία ανάκλασης στη διαχωριστική επιφάνεια πυρήνας-περίβλημα προσεγγίζει την οριζική και αυξάνεται ο αριθμός των ανακλάσεων που απαιτούνται για την διάδοση μέσα από την ίνα. Είναι επομένως προφανές ότι ο ρυθμός διάδοσης μέγιστης τάξης που επιτρέπεται σε μια οπτική ίνα θα καθορίζεται από την μέγιστη γωνία εισόδου άρα από το αριθμητικό άνοιγμα. Ταυτόχρονα, οι συνιστώσες του ηλεκτρικού και του μαγνητικού πεδίου θα είναι διαφορετικές σε κάθε μία από τους ρυθμούς διάδοσης, με τις συνιστώσες των πεδίων να αντιστοιχούν σε κάθε περίπτωση σε μία συγκεκριμένη λύση της εξίσωσης κύματος και να ικανοποιούν τις κατάλληλες οριακές συνθήκες. Τέλος αξίζει να σημειωθεί ότι μία μονότροπη ίνα επιτρέπει συνήθως την διάδοση μόνο του μηδενικής τάξης ρυθμού διάδοσης (ευθεία γραμμή) σε αντίθεση με μία πολύτροπη όπου επιτρέπεται η διάδοση πολλών ρυθμών ταυτόχρονα (έως και χιλιάδες).

Με στόχο την συσχέτιση των χαρακτηριστικών της οπτικής ίνας με τον επιτρεπόμενο αριθμό ρυθμών διάδοσης αλλά και με τα μήκη κύματος που μπορούν να διαδοθούν σε αυτήν έχει οριστεί το μέγεθος κανονικοποιημένη συχνότητα V (ή παράγοντας V) με βάση την εξίσωση:

$$V = \frac{2\pi a}{\lambda} \sqrt{n_1^2 - n_2^2} = \frac{2\pi a}{\lambda} n_1 \sqrt{2\Delta} \quad (6.4)$$

όπου a είναι η ακτίνα του πυρήνα της ίνας, n_1 ο δείκτης διάθλασης του πυρήνα, n_2 ο δείκτης διάθλασης του περιβλήματος και λ το μήκος κύματος, ενώ το Δ έχει οριστεί στην εξίσωση (6.2). Αποδεικνύεται ότι για πολύτροπες ίνες βηματικού δείκτη διάθλασης το πλήθος των υποστηριζόμενων ρυθμών είναι $V^2/2$, στις ίνες με διαβαθμισμένο δείκτη διάθλασης $V^2/4$, ενώ στις μονότροπες ίνες η παράμετρος V πρέπει να ικανοποιεί την σχέση $0 \leq V \leq 2.4$. Τέλος, για τις μονότροπες οπτικές ίνες υπάρχει ένα μήκος κύματος, το μήκος κύματος αποκοπής (cutoff wavelength) $\lambda_{\text{απ}}$, τέτοιο ώστε η οπτική ίνα να υποστηρίζει την διάδοση ενός ρυθμού για μήκη κύματος $\lambda > \lambda_{\text{απ}}$, ενώ στην αντίθετη περίπτωση λειτουργεί ως πολύτροπη ίνα. Ισχύει:

$$\lambda_{\text{απ}} = \frac{2\pi a \sqrt{n_1^2 - n_2^2}}{2.4} \quad (6.5)$$

6.8.3 Κατασκευή οπτικών ινών

Η κατασκευή της οπτικής ίνας επιτυγχάνεται σε δύο στάδια: αρχικά δημιουργείται από το κατάλληλο υλικό ένας κύλινδρος μεγάλης διαμέτρου (2 cm) ο

οποίος στην συνέχεια αφού θερμανθεί τους 2000 °C τραβιέται με κατάλληλο μηχανισμό ώστε να αποκτήσει τις επιθυμητές διαστάσεις.

Η πλέον συνηθισμένη τεχνική για την ανάπτυξη του κυλίνδρου είναι η χημική εναπόθεση τροποποιημένων ατμών, κατά την οποία εναποτίθενται διαδοχικά στρώματα SiO₂ στο εσωτερικό ενός σωλήνα από λειωμένο πυρίτιο (δηλαδή η οπτική ίνα φτιάχνεται από έξω προς τα μέσα). Το SiO₂ δημιουργείται με την αλληλεπίδραση SiCl₄ με O₂ στους 1800 °C, και ο ακριβής δείκτης διάθλασης του καθορίζεται από την περιεκτικότητα του κυλίνδρου από διάφορες προσμείξεις. Σαν παράδειγμα, τα GeO₂, P₂O₅ αυξάνουν τον δείκτη διάθλασης ενώ το B₂O₃ και το φθόριο τον ελαττώνουν. Μετά την ανάπτυξη της, ο κύλινδρος περνά σε κλίβανο όπου μαλακώνει στους 2000 °C και στη συνέχεια οδηγείται σε σύστημα εφέλκυσμού όπου η διάμετρος της ίνας καθορίζεται από την ταχύτητα εφέλκυσσης.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

7.1 Καταχώρηση αργείων

Θα πρέπει να υπάρχει ειδικό βιβλίο όπου θα καταχωρούνται όλες οι λεπτομέρειες σχετικά με τη λειτουργικότητα και την συντήρηση του συστήματος. Ιδιαίτερης σημασίας είναι όλες οι πληροφορίες σχετικά με εμφανιζόμενα προβλήματα, έτσι ώστε να είναι σε κάθε περίπτωση γνωστή η διαχρονική συμπεριφορά του συστήματος καθώς και οι ημερομηνίες συντήρησης, έτσι ώστε η επόμενη να πραγματοποιείται σε σωστή χρονικά διάρκεια.

7.2 Συντήρηση εξοπλισμού

Το λέιζερ σειράς JK700 χρειάζεται την κατάλληλη προσοχή σε ότι αφορά την συντήρησή του. Ο χρήστης θα πρέπει να είναι ιδιαίτερα προσεκτικός και να ακολουθεί αυστηρά τις προδιαγραφές που περιγράφονται στο εγχειρίδιο. Η συντήρηση πρέπει πάντα να πραγματοποιείται από εξειδικευμένους τεχνικούς. Οι τεχνικοί θα πρέπει να είναι εκπαιδευμένοι από την εταιρεία LUMONICS ενώ αν απαιτηθούν ανταλλακτικά, αυτά θα πρέπει να προέρχονται από την ίδια την εταιρεία.

Κατά την διάρκεια της συντήρησης από τεχνικούς, θα πρέπει να δίνεται προσοχή στο αν κάποια μέρη του συστήματος έχουν υποστεί κάποια αλλοίωση, για παράδειγμα αν υπάρχουν στην κεφαλή του λέιζερ αερομεταφερόμενα κατάλοιπα (ειδικά σκόνη). Εάν τα κατάλοιπα επικαθίσουν στις οπτικές επιφάνειες μπορεί να προκαλέσουν βλάβες κατά την διάρκεια χρησιμοποίησης του συστήματος. Θα πρέπει επίσης να γίνεται τακτικά επιθεώρηση για τυχόν ζημιά στους αγωγούς και τους σωλήνες του ψυκτικού μέσου. Παράλληλα, δεν θα πρέπει ποτέ να περάσουν βαριά αντικείμενα πάνω από τους αγωγούς ή τους σωλήνες. Τέλος, δεν πρέπει να γίνει επέκταση ή τροποποίηση των ηλεκτρικών συνδέσεων ή των συνδέσεων του ψυκτικού μέσου, που αφορούν την παροχή του ηλεκτρικού ρεύματος και την κεφαλή λέιζερ.

7.3 Προσωπική ασφάλεια

Θεωρείται δεδομένο ότι οι χειριστές θα πρέπει να είναι ικανοί και κατάλληλα εκπαιδευμένοι στην λειτουργία του συστήματος. Ειδικότερα, θα πρέπει να έχουν διαβαστεί οι προφυλάξεις ασφαλείας και έχουν γίνει κατανοητές λεπτομερώς.

ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ: ΕΙΝΑΙ ΟΥΣΙΑΣΤΙΚΟ Ο ΧΡΗΣΤΗΣ ΝΑ ΕΧΕΙ ΦΟΡΕΣΕΙ ΚΑΤΑΛΛΗΛΑ ΓΥΑΛΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑ ΤΟΥ ΛΕΙΖΕΡ ΓΙΑΤΙ ΥΠΑΡΧΕΙ ΚΙΝΔΥΝΟΣ ΓΙΑ ΤΥΧΟΝ ΑΝΩΜΑΛΙΕΣ ΣΤΑ ΜΑΤΙΑ.

7.4 Διαδικασία ξεκινήματος (κουλότητα συγκόλλησης)

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 1: Υποτίθεται ότι οι χρήστες έχουν διαβάσει και καταλάβει όλα όσα αφορούν την ασφάλεια και την χρήση του συστήματος. Δεν είναι δυνατό να πραγματοποιηθεί η διαδικασία ξεκινήματος χωρίς την λεπτομερή κατανόηση της λειτουργίας του συστήματος.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ 2: Αυτή η διαδικασία δεν καλύπτει λειτουργία με χρήση CNC καθώς αυτό είναι λεπτομερές και χρειάζεται επιπρόσθετες πληροφορίες σχετικά με την εφαρμογή του.

1. Ανοίξτε τον κεντρικό αγωγό εφοδιασμού νερού (είσοδος και επιστροφή).
2. Ανοίξτε την ηλεκτρική τροφοδοσία στον εξωτερικό πίνακα.
3. Ανοίξτε την παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.
4. Παρεμβάλλετε το κίτρινο κλειδί και περιστρέψτε το στη θέση 3.
5. Ελέγξτε αν το μπουτόν ΕΚΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ βρίσκεται στην εξωτερική θέση.
6. Όλοι οι παραβρισκόμενοι φορούν τα προστατευτικά γυαλιά για την προστασία των ματιών.
7. Πιέστε το μπουτόν ΕΚΚΙΝΗΣΗΣ (POWER) και περιμένετε να ανάψει ο ενδείκτης. Στη φάση αυτή, το λέιζερ προετοιμάζεται για την πλήρη λειτουργία του.

8. Επιλέξτε τις απαραίτητες παραμέτρους λέιζερ. Αποφασίστε αν θέλετε να χρησιμοποιείτε έναν υπάρχοντα συνδυασμό ή εάν θέλετε να συνθέσετε ένα νέο. Θέστε τις τιμές ύψους και πλάτους όπως απαιτείται.
9. Επιβεβαιώστε ότι έχουν ολοκληρωθεί όλες οι διαδικασίες προετοιμασίας:
- α) η παροχή αερίου είναι ενεργή σε σωστή πίεση/ρυθμό ροής
 - β) η απαγωγή αναθυμιάσεων είναι ενεργή
 - γ) το τραπέζι διαχείρισης εργασίας είναι τοποθετημένο σε σωστή θέση
 - δ) το υπό επεξεργασία κομμάτι είναι τοποθετημένο και στερεωμένο
10. Όταν απαιτείται λειτουργία λέιζερ:
- Τοποθετήστε τον ενδείκτη κατά τέτοιο τρόπο έτσι ώστε η ένδειξη ενέργειας να είναι στην πάνω γραμμή.
 - Ρυθμίστε τους μηχανισμούς ελέγχου BET RATIO και FOCUS σύμφωνα με την επιθυμητή μέση ισχύ εξόδου και διατομή δέσμης.
 - Πιέστε το κουμπί LOCAL για να ξεκινήσει η λειτουργία.
 - Ρυθμίστε την απαίτηση ύψους για να επιτύχετε την επιθυμητή ενέργεια παλμού.
 - Ρυθμίστε την απαίτηση ρυθμού επανάληψης για να επιτύχετε την μέση ισχύ εξόδου.
11. Όταν απαιτείται έξοδος λέιζερ:
- Επιβεβαιώστε ότι είναι ασφαλές να ανοίξετε το φωτοφράκτη και να ελευθερώσετε την ενέργεια.
 - Πιέστε το κουμπί MULTI SHOT για μονό παλμό (ή τρένο παλμών αν ο μετρητής πολλαπλών παλμών έχει τιμή μεγαλύτερη από ένα).
 - Για συνεχή λειτουργία πιέστε το κουμπί OPEN.
 - Να είστε έτοιμοι να πατήσετε το κουμπί CLOSE με την ολοκλήρωση.

Επισημάνσεις:

- Για να τερματίσετε την έξοδο λέιζερ, πιέστε το κουμπί CLOSE.
- Για να τερματίσετε την λειτουργία λέιζερ, πιέστε το κουμπί LASER OFF.

- Σε περίπτωση ανάγκης, πιάστε το κουμπί *EMERGENCY OFF* για να τερματιστεί η λειτουργία λέιζερ.

7.4.1 Επεξηγηματικές συμβουλές κατά την λειτουργία

1. Όταν ενεργοποιείται ο κεντρικός διακόπτης, ανάβουν οι ακόλουθοι ενδείκτες:

- ΤΡΟΦΟΔΟΣΙΑ (SUPPLY)
- ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗ (WARNING)
- ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΣ (ALARM)

Και εμφανίζεται στην οθόνη το ακόλουθο μήνυμα:

*****LUMONICS*****

Λείζερ σειράς JK700 Rev(no.,-,date)

2. Όταν στρέψουμε το κλειδί ενεργοποίησης, οι δείκτες ΠΡΟΕΙΔΟΠΟΙΗΣΗΣ (WARNING) ΚΑΙ ΣΥΝΑΓΕΡΜΟΥ (ALARM) θα σβήσουν και το μήνυμα θα τροποποιηθεί ως εξής:

JK700 Welder Driller Krypton lamps must be fitted (P55B6770B)

Το επόμενο μήνυμα επιβεβαιώνει ότι έχουν εγκατασταθεί οι σωστές λάμπες άντλησης – part number, P55B6770B.

Σε αυτή τη φάση ανάβουν οι ακόλουθοι ενδείκτες:

SYSTEM OFF

LASER OFF

CLOSE

3. Όταν πιεστεί το μπουτόν ενεργοποίησης (POWER) ακολουθούν τρία στάδια που διαρκούν 15 δευτερόλεπτα περίπου:
- Ενεργοποίηση της αντλίας νερού για να παρέχει ψύξη στην κεφαλή λέιζερ.
 - Τροφοδότηση συνεχούς ρεύματος.

- Παρουσία μικρού ρεύματος “simmer” διαμέσου της λάμπας άντλησης.
4. Όταν πατηθεί το κουμπί LOCAL, προκαλείται εκτίναξη της απαίτησης HEIGHT (σταθερή αύξηση) στην προκαθορισμένη τιμή μέσα σε μία περίοδο.
 5. Εάν οποιοδήποτε μέρος αυτής της λειτουργίας αποτύχει, τότε θα προκύψει μια προειδοποίηση ή ένας συναγερμός, με ένα συνοδευτικό επεξηγηματικό μήνυμα.
 6. Εάν είναι απαραίτητο να ελεγχθεί για τυχόν διαρροές το ψυκτικό μέσο, αυτό πρέπει να γίνει χωρίς να τροφοδοτηθούν οι λάμπες άντλησης.

7.5 Διαδικασία κλεισίματος

1. Πιέστε το μπουτόν απενεργοποίησης για να κλείσει ο φωτοφράκτης.
2. Στρέψτε το κλειδί για να ολοκληρωθεί η λειτουργία του λείζερ.

ΣΗΜΕΙΩΣΗ: Σε περίπτωση έκτακτης ανάγκης πιέστε το μπουτόν *EKΤΑΚΤΗΣ ΑΝΑΓΚΗΣ*.

3. Εάν το λείζερ πρόκειται να χρησιμοποιηθεί πάλι σε λίγα λεπτά, μπορεί να αφηθεί σ' αυτή την κατάσταση. Διαφορετικά κλείστε όλες τις λειτουργίες (ανεφοδιασμός αερίου και απαγωγή αναθυμιάσεων).
4. Στρέψτε το κλειδί ώστε να κλείσει το σύστημα.
5. Όταν η αντλία νερού σταματήσει, γυρίστε το κλειδί στην θέση 1, αποσύρετε το κλειδί και τοποθετήστε το σε ασφαλή θέση.
6. Κλείστε τον κεντρικό διακόπτη.
7. Κλείστε την παροχή νερού (ροή και επιστροφή).

7.6 Διαδικασία ξεκινήματος (κοιλότητας LD)

1. Ανοίξτε τον κεντρικό αγωγό του νερού- ροή και επιστροφή.
2. Ενεργοποιείστε την εξωτερική ηλεκτρική τροφοδοσία.
3. Ενεργοποιείστε την κεντρική παροχή ηλεκτρικού ρεύματος.

4. Στρέψτε το κλειδί (κίτρινο) στη θέση 3.
5. Πιέστε το κεντρικό μπουτόν και περιμένετε να ανάψει η ένδειξη. Το λέιζερ προετοιμάζεται για τη λειτουργία.
6. Επιλέξτε τις επιθυμητές παραμέτρους.
7. Έλεγε την περιοχή DEMAND και ο μετρητής πολλαπλών παλμών θα ρυθμιστεί σύμφωνα με τις απαιτήσεις.
8. Κατά την λειτουργία SET, ρυθμίστε την ένδειξη ενέργειας στην κορυφή του ενδείκτη ενώ στο κάτω μέρος τις σχετικές παραμέτρους για το ρυθμό επανάληψη και το ύψος,
9. Πιέστε το κουμπί LOCAL για να ενεργοποιηθεί η διαδικασία:
Αυξήστε σταθερά την τιμή της παραμέτρου ρύθμισης έως ότου η ισχύς των λαμπτήρων φτάσει το 70% της προβλεπόμενης τιμής.
10. Προσπαθήστε να φτάσετε τη βέλτιστη τιμή της ισχύος των λαμπτήρων αλλά με την προϋπόθεση ότι αυτή δεν θα υπερβεί την ονομαστική τιμή. Αν ξεπεραστεί σημαντικά η βέλτιστη τιμή, θα προκληθεί γρήγορη μείωση της εξόδου του λέιζερ.
11. Ρυθμίστε τους μηχανισμούς ελέγχου σχετικά με BET RATIO και FOCUS σύμφωνα με την επιθυμητή μέση ισχύ εξόδου και διατομή δέσμης.

7.7 Ρύθμιση του ελέγχου BET (setting the BET controls)

Το BET ενσωματώνει δυο φακούς, τον φακό αναλογίας και τον φακό εστίασης. Σκοπός του BET είναι να αλλάζει η διάμετρος της δέσμης λέιζερ. Μαζί με τις καμπύλες ισχύος υπάρχει άλλο ένα σετ καμπυλών, με κάθε μία από αυτές να αντιστοιχεί σε μία διάμετρο δέσμης στην περιοχή 15 mm (0.6 ίντσες) έως 25 mm (1 ίντσα) για το σύστημα JK702H και έως 35 mm (1.4 ίντσες) για το JK701H. Οι καμπύλες ονομάζονται επίσης με την αντίστοιχη τιμή του συντελεστή μεγέθυνσης M. Υπάρχουν μη επιτρεπτές περιοχές οι οποίες υποδεικνύονται ποικιλοτρόπως με διακεκομμένες γραμμές και σκίαση.

Προσοχή: Οι μηχανισμοί ελέγχου BET δεν πρέπει να παίρνουν τιμές σε μη επιτρεπτές περιοχές κατά την λειτουργία του λέιζερ και με τον φωτοφράκτη ανοικτό, καθώς μπορεί να οδηγήσουν σε καταστροφή της συσκευής.

ΔΥΝΑΤΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΛΕΙΖΕΡ ΣΤΗΝ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ

ΥΛΙΚΩΝ

8.1 Οδηγίες επεξεργασίας υλικών

8.1.1 Εισαγωγή

Σκοπός αυτών των οδηγιών είναι η επιλογή της κατάλληλης οπτικής κοιλότητας για να επιτευχθούν τα καλύτερα αποτελέσματα. Λόγω της μεταβλητότητας του εξοπλισμού και της ευρείας ποικιλίας των υλικών και των εφαρμογών, θα γίνει μια συνοπτική περίληψη.

Σημείωση: *Η απόδοση επεξεργασίας εξαρτάται όχι μόνο από το λέιζερ αλλά και από τα χαρακτηριστικά του κομματιού προς κατεργασία.*

Η συγκόλληση δύο κομματιών απαιτεί να αυξηθεί η θερμοκρασία στην περιοχή επαφής τους, πάνω από το σημείο τήξης και των δύο υλικών, αλλά όχι πάνω και από το σημείο βρασμού καθώς στην τελευταία περίπτωση το υλικό θα εξαερωθεί και θα δημιουργηθεί μία τρύπα.

Αντιθέτως στην διάτρηση, σύμφωνα με μια απλή θεώρηση, το υλικό εξαερώνεται μετά από θέρμανση πάνω από το σημείο βρασμού του. Στην πράξη αυτό δεν είναι απαραίτητο. Ένα μεγάλο μέρος του υλικού μπορεί να λιώσει και να απομακρυνθεί με την βοήθεια μιας ομοαξονικής δέσμης αερίου.

Η κοπή είναι μια παραλλαγή της διάτρησης στην οποία υπάρχει κίνηση ή της δέσμης του λέιζερ ή του υλικού, για την παραγωγή μια κοπής ή μια αυλάκωσης.

8.1.2 Επιλογή της κοιλότητας συντονισμού λέιζερ

Για να αποφασίσουμε ποια κοιλότητα συντονισμού θα χρησιμοποιηθεί, εξετάζονται τα ακόλουθα σημεία:

Η διάτρηση απαιτεί παλμούς ισχυρής έντασης, που συνήθως επιτυγχάνεται με δέσμη μικρής απόκλισης. Η κοιλότητα συντονισμού LD1 έχει την μικρότερη απόκλιση δέσμης και επομένως είναι η πρώτη επιλογή για τη διάτρηση, ειδικά για

μικρές τρύπες. Χρησιμοποιείται επίσης για κοπή υψηλής ποιότητας. Εντούτοις, έχει την παραγωγή μικρότερης μέσης ισχύος και την χαμηλότερη ενεργειακή πυκνότητα ανά παλμό. Για ένα δεδομένο πάχος, μεγαλύτερη μέση ισχύ επιτρέπει ταχύτερες διαδικασίες. Υψηλή ενέργεια ανά παλμό απαιτείται για τα υλικά με μεγάλο πάχος. Κατά συνέπεια, η κοιλότητα συντονισμού LD1 χρησιμοποιείται συνήθως για τη διάτρηση και την κοπή λεπτών υλικών και για τη διάτρηση μικρών τρυπών. Όπου απαιτούνται υψηλές ταχύτητες λειτουργίας ή δεν είναι επιθυμητές μικρές τρύπες ή σε εφαρμογές που αφορούν υλικά μεγαλύτερου πάχους, θα επιλεγεί για διάτρηση και κοπή η κοιλότητα συντονισμού LD2 λόγω της υψηλότερης ισχύος της. Τέλος, η συγκόλληση απαιτεί παλμούς σχετικά μικρούς σε διάρκεια.

8.1.3 Τύποι υλικών

Ορισμένα υλικά είναι καταλληλότερα από άλλα για την επεξεργασία με λέιζερ. Υλικά όπως το τιτάνιο, ο ανοξείδωτος σίδηρος και ο σίδηρος με χαμηλή περιεκτικότητα άνθρακα συγκολλούνται πολύ εύκολα, σε αντίθεση με άλλα υλικά όπως ο χαλκός και το αλουμίνιο που παρουσιάζουν προβλήματα λόγω της έντονης ανακλαστικότητας της επιφάνειας και της μεγάλης θερμικής αγωγιμότητας.

Σε υλικά με μία επίστρωση ψευδαργύρου ή με υψηλή περιεκτικότητα σε ψευδάργυρο, λόγω του χαμηλού σημείου τήξεως και της υψηλής πίεσης ατμών, προκαλείται μια εκρηκτική αντίδραση, που έχει σαν αποτέλεσμα να παρουσιάζονται πιτσιλιές αιθάλης στις επιφάνειες.

Η υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα μπορεί να οδηγήσει σε πολύ εύθραυστες συγκολλήσεις. Τα προβλήματα ραγίσματος αντιμετωπίζονται πάντα με επένδυση νικελίου ή ηλεκτρολυτική επένδυση.

8.1.4 Πάχος υλικών

Το πάχος των υλικών που μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία εξαρτάται από το ίδιο το υλικό.

Όρια πάχους για συγκόλληση από 1mm έως 2.5mm.

Όρια πάχους για διάτρηση από 0.1mm έως 8mm.

8.1.5 Διάτρηση και κοπή

Για να γίνει εφικτή η προσαγωγή μιας ομοαξονικής δέσμης οξυγόνου στην περιοχή εστίασης της δέσμης, συνήθως χρησιμοποιείται ένα σύστημα ακροφυσίου για αέριο κατά την κοπή και το τρύπημα.

Προσοχή: Μην επεξεργάζεστε υλικά όπως μαγνήσιο, τιτάνιο ή ζιρκόνιο με το οξυγόνο, διότι αυτό μπορεί να προκαλέσει πυρκαγιά.

8.1.6 Οπτικοί παράγοντες (Optical Considerations)

Με την επιλογή του κατάλληλου συνδυασμού της διαμέτρου της δέσμης και του φακού διεργασίας, είναι δυνατό να βελτιστοποιηθεί το μέγεθος δέσμης στο σημείο εστίασης και το βάθος της εστίασης για μια συγκεκριμένη εφαρμογή. Κατά την χρησιμοποίηση ενός συστήματος ακροφυσίου αερίου, το ανεκτό εστιακό μήκος του φακού κατεργασίας καθορίζεται από τις διαστάσεις του συστήματος. Επιπλέον, υπάρχει ένας όριο 15mm στη διάμετρο της δέσμης που μπορεί να δεχτεί το σύστημα.

8.1.7 Ταχύτητα λειτουργίας (Speed of Operation)

Συγκόλληση

Στις εφαρμογές συγκόλλησης η ταχύτητα λειτουργίας θα εξαρτηθεί από τη διαδικασία (αν δηλαδή γίνεται συγκόλληση σημείου ή συγκόλληση τύπου ραφής), καθώς και από τα υλικά και το πάχος τους.

Ο ρυθμός συγκόλλησης σημείου προσδιορίζεται γενικά από τον χρόνο που απαιτείται για την επανατοποθέτηση ή την επαναφόρτωση του υπό κατεργασία κομματιού. Σε εφαρμογές συγκόλλησης τύπου ραφής, η ταχύτητα μετακίνησης σχετίζεται με το χρησιμοποιήσιμο ρυθμό επανάληψης του λέιζερ. Συνιστάται κάθε σημείο συγκόλλησης να επικαλύπτεται με το προηγούμενο κατά τουλάχιστον 70% έτσι ώστε να επιτυγχάνονται ερμητικές συγκολλήσεις με διείσδυση.

Σε υλικά όπως ο ανοξείδωτος χάλυβας, το τιτάνιο, το ζιρκόνιο, τα ταντάλιο και συγκόλληση τύπου ραφής για πάχος φύλλου 0.5 mm, μπορούν να επιτευχθούν ταχύτητες μεγαλύτερες από 15mm/s.

Οι συγκολλήσεις σημείου μπορούν να πραγματοποιηθούν έως 400 welds/s. Στα υλικά με μεγαλύτερο πάχος, πρέπει να αυξηθεί η ενέργεια του παλμού για να επιτευχθεί μεγαλύτερη διείσδυση.

Διάτρηση και κοπή

Οι ταχύτητες κοπής εξαρτώνται από το πάχος του υλικού και τη χρησιμοποιούμενη οπτική κοιλότητα.

Ένα λεπτό φύλλο μπορεί να κοπεί χρησιμοποιώντας την κοιλότητα συντονισμού οξυγονοκόλλησης JK701H όπου επιτυγχάνεται ταχύτητα 3m /minute. Για την κοπή όλων των άλλων υλικών, θα χρησιμοποιηθεί μία κοιλότητα συντονισμού LD με ένα σύστημα ακροφυσίου αερίου. Τα υλικά αυτά μπορούν να έχουν πάχος από 0.5mm έως λιγότερο από 0.25mm και επιτυγχάνονται ταχύτητες 2m / minute.

Επιλογή των παραμέτρων λέιζερ

Συγκόλληση

Στη συγκόλληση, ο στόχος είναι να αυξηθεί η θερμοκρασία της επιφάνειας του υλικού πάνω από το σημείο τήξης και να διατηρηθεί εκεί Η ανεπαρκής διείσδυση μπορεί να οφείλεται στην ανεπάρκεια ενέργειας, την υπερβολική μέση τιμή ισχύος, το υπερβολικό μέγεθος επιφάνειας εστίασης ή τον ανεπαρκή ρυθμό εγκάρσιας κίνησης. Το αυξανόμενο πλάτος παλμού βελτιώνει την ομαλότητα αλλά περιορίζει την διείσδυση. Η υπερβολική ενέργεια παλμού θα προκαλέσει εκτίναξη του υλικού.

Διάτρηση

Σύμφωνα με την απλή θεωρία της διάτρησης, ο στόχος είναι να αυξηθεί η θερμοκρασία του υλικού πάνω από το σημείο βρασμού και στη συνέχεια, να μειωθεί όσο το δυνατό γρηγορότερα η θερμότητα στο υλικό. Αυτό απαιτεί ισχυρούς παλμούς, σχετικά μεγάλες τιμές ύψους και μικρά πλάτη παλμού. Συνήθως χρησιμοποιούνται πλάτη παλμού από 0.5ms έως 2ms. Σε όλα τα υλικά, εκτός από τα πολύ λεπτά χρειάζονται περισσότεροι από ένα παλμό για να επιτευχθεί η διείσδυση.

8.1.8 Οφέλη της διαμόρφωσης του παλμού

Κακής ποιότητας συγκολλήσεις είναι συχνές σε λιγότερο εξελιγμένα συστήματα λέιζερ και είναι συνηθισμένο φαινόμενο σε συγκολλήσεις υλικών όπως ο χρυσός, ο χαλκός και το αλουμίνιο. Υψηλής ποιότητας συγκολλήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν σε αυτά τα υλικά με την χρησιμοποίηση ενός προ-παλμού, ο οποίος ρυθμίζει κατάλληλα την επιφάνεια του υλικού πριν από τον κύριο παλμό.

Αντίστοιχα, οι ραγισμένες συγκολλήσεις είναι ασυνήθιστες σε υλικά όπως ο χάλυβας υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, εξ αιτίας της μεγάλης πίεσης στη συγκόλληση. Αυτή η πίεση μπορεί να αντιμετωπιστεί με έναν επιπλέον παλμό μετά από το κύριο παλμό συγκόλλησης.

ΣΤΑΔΙΑ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΓΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΟΥ **ΣΥΣΤΗΜΑΤΟΣ**

9.1 Εισαγωγή

Μετά την ενημέρωση σχετικά με τις δυνατότητες του συστήματος και την μεταφορά των τμημάτων του λέιζερ Nd: YAG για κατεργασία μετάλλων στο χώρο εγκατάστασης, έγινε το άνοιγμα των πακέτων με τα εξαρτήματα και ένας πρώτος καθαρισμός αυτών ώστε να αναγνωριστούν. Αυτό που ακολούθησε ήταν μια γενική επιθεώρηση της κατάστασης των ηλεκτρικών, ηλεκτρονικών και οπτικών τμημάτων για να προχωρήσουμε στην μετάφραση όλων των απαραίτητων οδηγιών στα Ελληνικά για την ετοιμασία του σχετικού οδηγού.

9.2 Συντήρηση ψυκτικού μέσου

Σαν πρώτο βήμα για την λειτουργία του συστήματος ήταν η συντήρηση του ψυκτικού μέσου. Γνωρίζοντας το μεγάλο χρονικό διάστημα που το σύστημα είχε να λειτουργήσει, κρίθηκε απαραίτητο να βγει εκτός του χώρου στο οποίο βρίσκεται ώστε να συντηρηθεί. Λόγω του μεγάλου όγκου και βάρους του χρησιμοποιήθηκε παλάγκο και με την βοήθεια τριών ατόμων το ψυκτικό μέσο βγήκε εκτός εργαστηρίου. Η επόμενη κίνηση ήταν με φυσική ροή να αποβάλλουμε το νερό που υπήρχε είδη μέσα. Το ξέπλυμα του δοχείου νερού έγινε κατ'επανάληψη (3-4 φορές), με την βοήθεια ειδικού υγρού και νερού απομακρύνθηκε κάθε είδους υπόλειμμα από το δοχείο και τους σωλήνες. Ύστερα ακολουθήθηκε εξωτερικό καθάρισμα.

Μετά την διεκπεραίωση του καθαρισμού το ψυκτικό μηχάνημα επανατοποθετήθηκε στο χώρο του εργαστηρίου (σχήμα 9.1). Ελέγχθηκε αν υπάρχει freon στο ειδικό δοχείο (σχήμα 9.2) και γεμίσαμε το δοχείο νερού με περίπου 110 λίτρα απιονισμένου νερού.



Σχήμα 9.1 Ψυκτικό μηχάνημα



Σχήμα 9.2 Εσωτερικό ψυκτικού μηχανήματος

Φτάνοντας στο τελικό στάδιο λειτουργίας έπρεπε να τοποθετηθεί ρευματολήπτης (φίς) ισχύος στο καλώδιο παροχής ρεύματος (σχήμα 9.3).



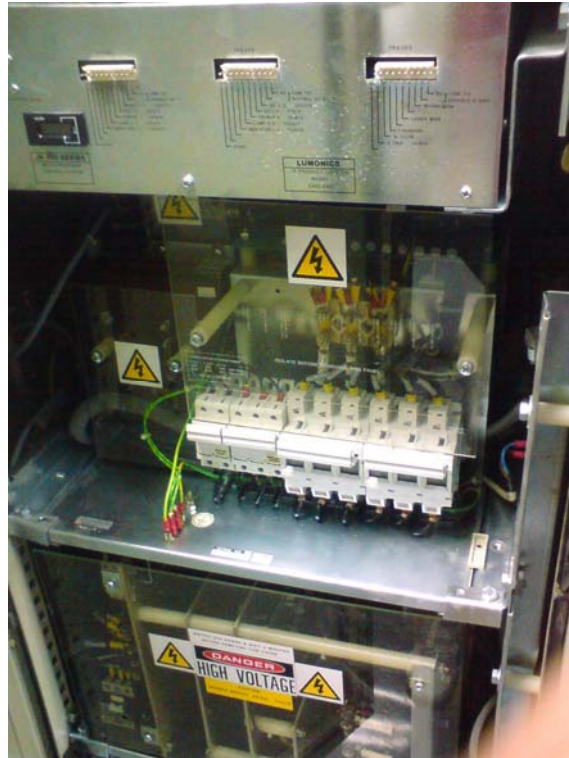
Σχήμα 9.3 Ρευματολήπτης (φίς) ισχύος

Το ψυκτικό μέσο τέθηκε σε λειτουργία και διαπιστώθηκε η σωστή λειτουργία του.

9.3 Συντήρηση της μονάδας παροχής ηλεκτρικού ρεύματος

Λόγω της πολυπλοκότητας αλλά και επικινδυνότητας της μονάδας παροχής ηλεκτρικού ρεύματος από την ύπαρξη πολύπλοκων ηλεκτρικών και ηλεκτρονικών

κυκλωμάτων αποφασίστηκε να μην επέμβουμε σε αυτό εκτός φυσικά από το καθάρισμα. Αποφασίστηκε ότι στην περίπτωση που η μονάδα δεν λειτουργεί, να έρθει ειδική τεχνική υπηρεσία για την διόρθωση της βλάβης. Στο σχήμα 9.4 της επόμενης σελίδας φαίνονται κάποια τμήματα των κυκλωμάτων του συστήματος.



Σχήμα 9.4 Τμήμα κυκλώματος του συστήματος παροχής

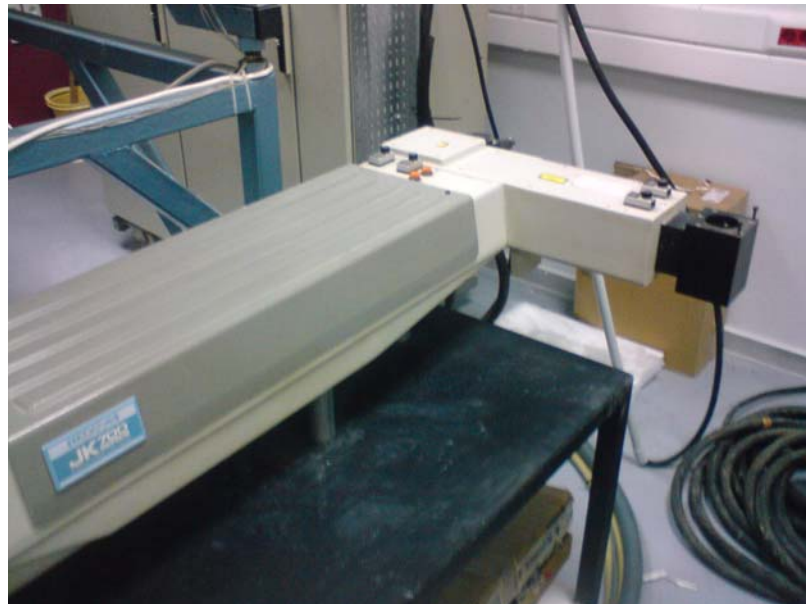
9.4 Συντήρηση λέιζερ και κεφαλής κατεργασίας

Η τοποθέτηση του συστήματος λέιζερ έγινε πάνω σε ένα τραπέζι, χρησιμοποιώντας τρεις βάσεις κυλινδρικού σχήματος και τρεις ατέρμονες στηρίχτηκε ώστε το σύστημα να βρίσκεται στο κατάλληλο ύψος (σχήμα 9.5).



Σχήμα 9.5 Βάση στήριξης

Το λέιζερ ισχύος που είχαμε προς εγκατάσταση και το οποίο είναι βιομηχανικού τύπου, βρισκόταν σε αρκετά καλή κατάσταση όσον αφορά τα οπτικά και τους καθρέφτες του. Ήταν διπλά σφραγισμένο στα κρίρια σημεία του και χρειάστηκε απλά ένας καθαρισμός σε ορισμένους καθρέφτες και σε οπτικά-οπτοηλεκτρονικά τμήματα λόγω ύπαρξης σκόνης. Στα επόμενα σχήματα που ακολουθούν βλέπουμε αυτά τα σημεία.



Σχήμα 9.6 Καθρέφτης ρύθμισης της ακτίνας λέιζερ



Σχήμα 9.7 Σύστημα BET

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- **Ε. Κουδουμάς (2004)**, *Οπτικές ίνες-Οπτικές επικοινωνίες-Αισθητήρες οπτικών ινών*.
- **Περσεφόνης Πέτρος (2001)**, *Laser-Φυσική και Τεχνολογία*.
- www.google.gr , Σημειώσεις: «Κατασκευαστικές τεχνολογίες» του τμήματος Φυσικών πόρων και Περιβάλλοντος. Τ.Ε.Ι Κρήτης
- Οδηγίες λειτουργίας του λέιζερ Nd: YAG για κατεργασία μετάλλων.