

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΕΣ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ  
ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ: Γουδέλης Σπυρίδων Κοσμάς**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: Χατζηφοτίου Θωμάς**

**ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ**

**2012**

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ  
ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ  
ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ**

**ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ**

**ΘΕΜΑ : Μηχανουργικές κατεργασίες  
παραμόρφωσης**

**ΣΠΟΥΔΑΣΤΗΣ : Γουδέλης Σπυρίδων Κοσμάς  
ΑΜ : 4283**

**ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ :28/06/2012**

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

## **ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ**

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον επιβλέποντα καθηγητή μου Κύριο Θωμά Χατζηφωτίου για την άψογη συνεργασία που είχαμε καθ όλη την διάρκεια υλοποίησης της πτυχιακής εργασίας μου. Τον ευχαριστώ για το υλικό που μου προσέφερε, τις συμβουλές του, καθώς και την καθοδήγηση του για την επίλυση διάφορων θεμάτων.

Τις ευχαριστίες μου θα ήθελα επίσης να απευθύνω στους γονείς μου, οι οποίοι στήριξαν τις σπουδές μου με διάφορους τρόπους, φροντίζοντας για την καλύτερη δυνατή μόρφωσή μου.

## ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Οι μηχανουργικές κατεργασίες είναι όλες αυτές οι κατεργασίες που χρησιμοποιούνται για να φτιαχτεί οτιδήποτε υπάρχει γύρω μας. Για ένα απλό στυλό, ένα έπιπλο, ένα αυτοκίνητο, απαιτείται τουλάχιστον μια, συνήθως όμως πολύ περισσότερες μηχανουργικές κατεργασίες. Μια από τις κατηγορίες των μηχανουργικών κατεργασιών είναι και οι κατεργασίες πλαστικής παραμόρφωσης μέσω των οποίων αλλάζει η μορφή του υλικού χωρίς όμως να υπάρξει αφαίρεση υλικού άρα μείωση της μάζας του.

Με τις κατεργασίες πλαστικής παραμόρφωσης ασχολείται η παρούσα εργασία. Έχει ως στόχο της την πλήρη παρουσίαση όλων των κατεργασιών που εντάσσονται σε αυτή την κατηγορία. Για αυτό τον λόγο δομείται σε τέσσερα ανεξάρτητα κεφάλαια. Στο πρώτο κεφάλαιο επιχειρείται μια γενική περιγραφή στις κατεργασίες και ο διαχωρισμός των κατεργασιών πλαστικής παραμόρφωσης από τις υπόλοιπες. Στο δεύτερο κεφάλαιο γίνεται εκτενής αναφορά στην πρώτη μεγάλη ομάδα κατεργασιών πλαστικής παραμόρφωσης, στην ομάδα των κατεργασιών διαμόρφωσης ελάσματος. Το τρίτο κεφάλαιο ασχολείται με την δεύτερη μεγάλη ομάδα δηλαδή με τις κατεργασίες διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού. Τέλος, το τέταρτο κεφάλαιο έχει ως στόχο του την παρουσίαση των κατεργασιών υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης, μιας ειδικής κατηγορίας διεργασιών πλαστικής παραμόρφωσης.

## **ABSTRACT**

The machine processes are all these treatments are used to built everything around us. For a simple pen, a piece of furniture, a car, is used at least one but usually much more machining processes. One of the categories of the machining processes is the plastic deformation processes. These are processes which change the shape and the properties of the material without reducing the mass.

This thesis studies plastic deformation processes. Is structured to four independent chapters. The first chapter is a general description of the machining processes. Also is given a separation between plastic deformation processes and the other processes. The second chapter is a detailed reference to the one large group of plastic deformation processes, the metal plate formation. The third chapter discusses the other large group, the formation of solid material. Finally, the fourth chapter aims at presenting the HERF processes, a special category of plastic deformation processes.

## ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Οι μηχανουργικές κατεργασίες έχουν εφευρεθεί από τον άνθρωπο προ αρχαιοτάτων χρόνων. Τις χρησιμοποίησε για να βελτιώσει την ποιότητα ζωής του, να παράξει προϊόντα τα οποία θα τον βοηθήσουν ώστε να διευκολύνει την εργασία του, να διευκολύνει την διαβίωσή του, να κερδίσει πολέμους, να κάνει μια διαδικασία πιο προσοδοφόρα. Χαρακτηριστικά, η σφυρηλάτηση χρησιμοποιείται από το 5000 π.Χ. Παράδειγμα σφυρηλάτησης είναι τα σπαθιά των αρχαίων τα οποία κατασκευάζονταν με την χρήση ενός αμονιού και ενός σφυριού.

Με την πορεία των ετών οι μηχανουργικές κατεργασίες εξελίσσονται και αυξάνονται σε αριθμό. Η περαιτέρω γνώση των ιδιοτήτων των υλικών, η ανάπτυξη νέων υλικών, οι απαιτήσεις για νέες, διαφορετικές ιδιότητες υλικών και η ανάπτυξη της τεχνολογίας αποτελούν εφελκυστήρα για την δημιουργία νέων κατεργασιών. Παρόλα ταύτα οι πλέον χρησιμοποιούμενες μηχανουργικές κατεργασίες είναι συνήθως και οι πιο παλιές. Αυτό γίνεται γιατί το κόστος τους είναι πολύ χαμηλότερο, εν αντιθέσει με τις σύγχρονες κατεργασίες όπου το κόστος είναι πολύ μεγάλο και χρησιμοποιούνται κατά βάση στις σύγχρονες βιομηχανικές μονάδες.

Βάσει των παραπάνω είναι αντιληπτό ότι οι μηχανουργικές κατεργασίες δεν είναι ένα θέμα ξεπερασμένο το οποίο έχει μελετηθεί ενδελεχώς στο παρελθόν και πλέον έχει μείνει στάσιμο γιατί έφτασε στην κορύφωσή του. Αντιθέτως, είναι ένα θέμα της μηχανολογίας το οποίο διαρκώς εξελίσσεται και μάλιστα με την πορεία των ετών και την τεχνολογική εξέλιξη η εμβάθυνση είναι ακόμη μεγαλύτερη. Στο παραπάνω πλαίσιο έρχεται να ενταχθεί και η παρούσα εργασία η οποία στοχεύει στην παρουσίαση των μηχανουργικών κατεργασιών πλαστικής παραμόρφωσης οι οποίες είναι μια υποομάδα του συνόλου των μηχανουργικών κατεργασιών.

# 1<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ΕΙΣΑΓΩΓΗ – ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΛΙΚΩΝ”

### 1.1 Γενικά στοιχεία κατεργασιών υλικών

Οι κατεργασίες είναι διαδικασίες οι οποίες έχουν στόχο την μορφοποίηση των υλικών δηλαδή να αλλάξουν τα χαρακτηριστικά τους (σχήμα, ιδιότητες) ώστε αυτά να είναι πιο εύχρηστα και πιο αποτελεσματικά κατά την χρήση τους. Οι πλέον γνωστές και μεγαλύτερες κατηγορίες κατεργασιών είναι οι κατεργασίες με αφαίρεση υλικού (τορνάρισμα, φρεζάρισμα, διάτρηση κλπ) και οι κατεργασίες με πλαστική παραμόρφωση (κάμψη, έλαση κλπ). Οι κατεργασίες εκμεταλλεύονται κυρίως τις ιδιότητες των υλικών να παραμορφώνονται πλαστικά άρα να υπάρχει μια μόνιμη αλλαγή σε αυτά. Για να επιτευχθεί αυτή η πλαστική παραμόρφωση πρέπει να επιλεγθεί ο βέλτιστος υπολογισμός ασκούμενης δύναμης, θερμοκρασίας και ταχύτητας έτσι ώστε να μειωθεί όσο το δυνατό περισσότερο ο χρόνος της κατεργασίας και ταυτόχρονα να αυξηθεί η τελική ποιότητα του προς κατεργασία τεμαχίου.

Τα βασικά στοιχεία μιας κατεργασίας μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι τα επτά στοιχεία που ακολουθούν. Εννοείται ότι αναλόγως με το είδος της κατεργασίας κάποια έχουν πολύ μεγαλύτερη σημασία από κάποια άλλα.

- Το προς κατεργασία τεμάχιο: Είναι το τεμάχιο το οποίο θα υποστεί την κατεργασία. Γνώση των καταστατικών εξισώσεων του υλικού του, της κατεργασιμότητας του υλικού του, της αρχικής γεωμετρίας του, των συνθηκών που επικρατούν στην επιφάνειά του, των ιδιοτήτων του και των επιδράσεων μεταβολών σε μικροδομή και σύσταση είναι ζωτικής σημασίας για την επιλογή της σωστής κατεργασίας και των παραμέτρων της.
- Το εργαλείο: Είναι το τμήμα της κατεργασίας το οποίο διαμορφώνει το προς κατεργασία τεμάχιο. Απαραίτητα πρέπει να είναι γνωστά η γεωμετρία του, οι επιφανειακές συνθήκες, το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο και οι ιδιότητες του έτσι ώστε να γίνει σωστός σχεδιασμός της κατεργασίας.
- Συνθήκες στην διεπιφάνεια μεταξύ τεμαχίου και εργαλείου: Οι κυριότερες συνθήκες που εμφανίζονται στην διεπιφάνεια είναι η τριβή και η απαιτούμενη λίπανση έτσι πρέπει να είναι γνωστά τα χαρακτηριστικά του λιπαντικού που χρησιμοποιείται και τα τριβολογικά χαρακτηριστικά των δύο επιφανειών.

- Ζώνη παραμόρφωσης ή πλαστική ζώνη: Είναι η περιοχή στην οποία το προς επεξεργασία τεμάχιο παραμορφώνεται πλαστικά. Απαιτείται γνώση των αναπτυσσόμενων τάσεων και θερμοκρασιών στην περιοχή και της μηχανικής της παραμόρφωσης που θα λάβει χώρα.
- Χρησιμοποιούμενος εξοπλισμός: Είναι κατά κύριο λόγο το χρησιμοποιούμενο εργαλείο – εργαλειομηχανή και δευτερευόντως μια σειρά άλλων εργαλείων. Η ισχύς, η στιβαρότητα και η ακρίβεια και η ταχύτητα και παραγωγικότητα της εργαλειομηχανής είναι σημαντικά στοιχεία για τον καθορισμό των παραμέτρων της κατεργασίας.
- Τελικό προϊόν: Είναι το αποτέλεσμα της κατεργασίας, είναι το αρχικό τεμάχιο με διαφορετική κρυσταλλική δομή. Η γεωμετρία του, η διαστατική ακρίβεια, η ποιότητα της επιφάνειας και οι νέες του ιδιότητες είναι σημαντικά χαρακτηριστικά που πρέπει να καθοριστούν πριν την έναρξη της κατεργασίας.
- Περιβάλλον: Είναι το γενικότερο τμήμα που περιβάλλει αυτή την κατεργασία και περιλαμβάνει το ανθρώπινο δυναμικό και σειρά αυτοματισμών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της κατεργασίας. Κατά τον σχεδιασμό της εργασίας πρέπει να προβλέπεται ένα εργονομικό περιβάλλον με μικρούς κινδύνους ατυχημάτων. Επίσης πρέπει να προβλέπεται η μη ύπαρξη υλικών που θα επηρεάσουν τις ιδιότητες του τελικού προϊόντος, όπως για παράδειγμα διαβρωτικά υλικά.

Η κατηγοριοποίηση των κατεργασιών μπορεί να γίνει με πολλούς τρόπους. Ήδη οι δύο σημαντικότερες κατηγορίες κατεργασιών καταγράφηκαν από την πρώτη κιόλας παράγραφο της συγκεκριμένης ενότητας. Μια από τις πλέον αποδεκτές κατηγοριοποιήσεις κατεργασιών είναι η κατηγοριοποίηση του γερμανικού κανονισμού DIN που χωρίζει τις κατεργασίες σε 5 υποκατηγορίες, τις ακόλουθες:

- Αρχέγονες κατεργασίες: Το υλικό δεν έχει συγκεκριμένο σχήμα αλλά το αποκτά στην συνέχεια μετά από μια κατεργασία μορφοποίησης. Χαρακτηριστικότερο παράδειγμα αρχέγονης κατεργασίας είναι η χύτευση.
- Διαμορφώσεις: Στις συγκεκριμένες κατεργασίες εμφανίζεται πλαστική παραμόρφωση του προς κατεργασία τεμαχίου όμως η μάζα του διατηρείται η ίδια. Σε αυτή την ομάδα κατεργασιών ανήκουν πολλές από τις κατεργασίες που θα αναλυθούν στην πορεία της εργασίας όπως η κάμψη, η απότμηση, η βαθεία κοίλανση, η σφυρηλάτηση, η έλαση, η διέλαση και η ολκή. Οι διαμορφώσεις διερούνται και σε δύο μικρότερες κατηγορίες, τις διαμορφώσεις συμπαγούς υλικού και τις



διαμορφώσεις ελασμάτων. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν οι τρεις πρώτες κατεργασίες που προαναφέρθηκαν ενώ οι υπόλοιπες τέσσερις ανήκουν στην δεύτερη κατηγορία.

- Κατεργασίες αποβολής υλικού – κοπές: Σε αυτές τις κατεργασίες εμφανίζεται η αφαίρεση υλικού σε συνδυασμό με την πλαστική παραμόρφωση του υλικού. Είναι από τις πλέον γνωστές και χρησιμοποιούμενες κατεργασίες και σε αυτή την κατηγορία ανήκουν κατεργασίες όπως η τόννευση, η λείανση, η διάτρηση και το φρεζάρισμα.
- Επιφανειακές κατεργασίες: Είναι οι κατεργασίες οι οποίες δεν μεταβάλλουν το σχήμα του προς κατεργασία τεμαχίου αλλά μεταβάλλουν τα χαρακτηριστικά της επιφάνειάς του με στόχο την ενίσχυση των ιδιοτήτων του αλλά και την προστασία του. Οι κατεργασίες αυτές διαιρούνται σε τρεις υποκατηγορίες, τις θερμικές επιφανειακές κατεργασίες, τις θερμοφυσικές επιφανειακές κατεργασίες και τις επικαλύψεις.
- Κατεργασίες σύνδεσης: Έχουν ως στόχο την σύνδεση δύο τεμαχίων ή την σύνδεση ενός τεμαχίου σε ένα συγκεκριμένο χώρο. Χωρίζονται σε δύο επιμέρους κατηγορίες, τις μεταλλουργικές συνδέσεις οι οποίες κυρίως είναι οι συγκολλήσεις και στις μηχανικές συνδέσεις όπως για παράδειγμα οι ηλώσεις και οι κοχλιώσεις.

Στην παρούσα εργασία θα ασχοληθούμε κυρίως με τις διαμορφώσεις ή αλλιώς κατεργασίες με παραμόρφωση του υλικού. Στην επόμενη ενότητα θα παρουσιαστούν μερικά γενικά στοιχεία για αυτή την κατηγορία κατεργασιών και στα επόμενα τρία κεφάλαια θα παρουσιαστούν ειδικότερα και αναλυτικότερα οι σημαντικότερες κατεργασίες παραμόρφωσης.<sup>[1], [2]</sup>

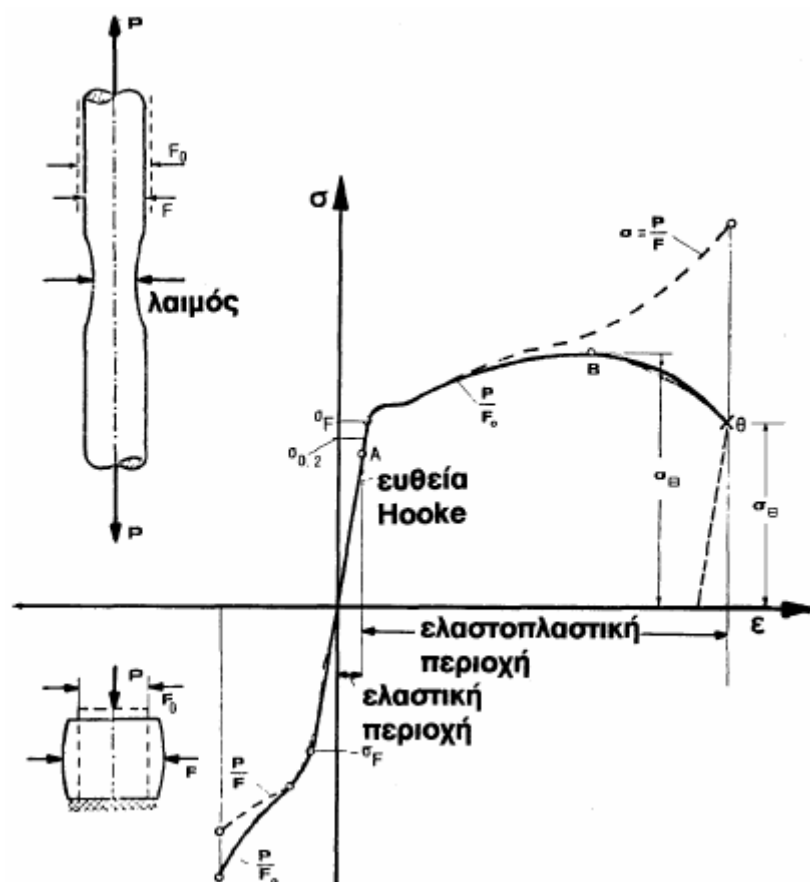
## **1.2 Πλαστική παραμόρφωση**

Οι κατεργασίες με παραμόρφωση στοχεύουν κυρίως στην διαμόρφωση του προϊόντος χωρίς μεγάλες απώλειες υλικού. Η κυριότερη κατηγορία των κατεργασιών με παραμόρφωση είναι η ομάδα των κατεργασιών πλαστικής παραμόρφωσης δηλαδή της μόνιμης μεταβολής της μορφής του υλικού. Είναι προφανές σε μια κατεργασία παραμόρφωσης ότι υπάρχει παραμόρφωση. Αυτό συνεπάγεται ότι η ανάλυση τάσεων και παραμορφώσεων είναι κρίσιμος παράγοντας για την κατανόηση του μηχανισμού της κατεργασίας και τον υπολογισμό του τελικού αποτελέσματος.

Η τάση ορίζεται ως η δύναμη ανά μονάδα επιφάνειας. Αναλόγως της φύσεώς της μπορεί να είναι είτε ορθή είτε διατμητική. Η γνώση του μεγέθους και του είδους των τάσεων

που επικρατούν σε μια κατεργασία πλαστικής παραμόρφωσης είναι προαπαιτούμενα στοιχεία ώστε να επιλεγθεί η σωστή εργαλειομηχανή και το σωστό υλικό του εργαλείου επεξεργασίας.

Η παραμόρφωση ενός σώματος ορίζεται ως το σύνολο των μετατοπίσεων όλων των σημείων ενός σώματος. Η μετατόπιση των σημείων πρέπει να είναι τέτοια ώστε να οδηγεί σε αλλαγή της γεωμετρίας του σώματος. Οι παραμορφώσεις είναι άμεσα συνδεδεμένες με τις τάσεις. Αναλόγως του τύπου των τάσεων που τις προκαλούν υπάρχει και εδώ ο διαχωρισμός ορθών και διατμητικών παραμορφώσεων. Στο σχήμα 1.1 παρατηρείται η σχέση τάσεων και παραμορφώσεων για ένα κοινό χάλυβα.



Σχήμα 1.1: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων [1]

Το σχήμα 1.1 προκύπτει από το πείραμα εφελκυσμού κατά το οποίο ένα δοκιμαστικό δοκίμιο από το υπό μελέτη υλικό φορτίζεται εφελκυστικά μέχρι να φτάσει στο σημείο της θραύσης. Από το σχήμα 1.1 μπορούν να διακριθούν δύο περιοχές. Η πρώτη είναι η ελαστική περιοχή, περιοχή κατά την οποία οι παραμορφώσεις είναι ανάλογες των τάσεων με συντελεστή αναλογίας το μέτρο ελαστικότητας του εκάστοτε υλικού και διέπεται από τον νόμο του Hooke που εκφράζεται από την παρακάτω εξίσωση:

$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

Όπου:

- $\sigma$ : Η τάση.
- $E$ : Το μέτρο ελαστικότητας του υλικού.
- $\varepsilon$ : Η παραμόρφωση.

Η δεύτερη περιοχή που ακολουθεί την πρώτη, για μεγαλύτερες παραμορφώσεις, είναι η ελαστοπλαστική ή απλά πλαστική περιοχή. Σε αυτή την περιοχή, μετά την παραμόρφωση, το υλικό δεν επιστρέφει στο αρχικό του σχήμα, μπορεί να επιστρέψει μερικώς ή και καθόλου. Άρα σε αυτή την περιοχή οι παραμορφώσεις είναι μόνιμες. Η έναρξη της συγκεκριμένης περιοχής γίνεται εάν και εφόσον η μόνιμη παραμόρφωση είναι μεγαλύτερη από 0,2%. Το τέλος αυτής της περιοχής έρχεται όταν επέλθει η θραύση του δοκιμίου.

Οι κατεργασίες με παραμόρφωση επιβάλλουν τέτοια τάση έτσι ώστε να βρεθεί το υλικό στην ελαστοπλαστική περιοχή έτσι ώστε να υπάρξουν μόνιμες παραμορφώσεις στο σχήμα του προς κατεργασία τεμαχίου. <sup>[1], [2]</sup>

### **1.2.1 Παραμόρφωση εν ψυχρώ και εν θερμώ**

Η παραμόρφωση του υλικού μπορεί να γίνει είτε εν ψυχρώ είτε εν θερμώ. Η μόνη διαφορά των δύο τύπων κατεργασιών με πλαστική παραμόρφωση είναι η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το προς κατεργασία τεμάχιο. Κριτήριο σε αυτή την περίπτωση είναι η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του υλικού από το οποίο είναι κατασκευασμένο το προς κατεργασία τεμάχιο. Η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης είναι μια θερμοκρασία πάνω από την οποία ξεκινάει μεταβολή στην κρυσταλλική δομή του υλικού. Συνήθως κυμαίνεται περίπου στο μισό της θερμοκρασίας τήξης (αυτό ισχύει σχεδόν σε όλα τα μέταλλα). Σε περίπτωση που η θερμοκρασία κατεργασίας του υλικού είναι μικρότερη από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του υλικού τότε έχουμε κατεργασία και παραμόρφωση εν ψυχρώ. Αντίθετα, σε περίπτωση που η θερμοκρασία κατεργασίας είναι μεγαλύτερη από την θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης του υλικού τότε έχουμε παραμόρφωση εν θερμώ.

Η κάθε μια εκ των δύο περιπτώσεων έχει τα πλεονεκτήματα και τα μειονεκτήματά της. Ας δούμε πρώτα αυτά τα στοιχεία για την εν ψυχρώ παραμόρφωση. Το μεγαλύτερο ίσος πλεονέκτημά της είναι η αύξηση της αντοχής και της επιφανειακής σκληρότητας του τεμαχίου που θα έχει κατεργαστεί. Ένα δεύτερο πλεονέκτημα είναι η πολύ καλύτερη ποιότητα επιφάνειας του κατεργασμένου τεμαχίου. Αυτό οφείλεται στην χαμηλή θερμοκρασία που δεν επιτρέπει την ανάπτυξη οξειδίων και την φθορά τοπικά της επιφάνειας.

Το τρίτο πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα για καλύτερη διαστατική ακρίβεια του κατεργασμένου τεμαχίου. Τέλος, το τέταρτο πλεονέκτημα των εν ψυχρώ παραμορφώσεων είναι ότι η διαδικασία κατεργασίας είναι πολύ πιο εύκολη αφού το υλικό είναι σε χαμηλές θερμοκρασίες έτσι ο χειρισμός και η συγκράτηση των προς κατεργασία τεμαχίων είναι πολύ πιο απλή. Πέραν των πλεονεκτημάτων όμως υπάρχει και μια σειρά μειονεκτημάτων για τις εν ψυχρώ παραμορφώσεις. Το πρώτο είναι η απαίτηση υψηλότερης δύναμης, υψηλότερου φορτίου παραμόρφωσης γιατί το ψυχρό υλικό έχει μεγαλύτερο όριο διαρροής. Το δεύτερο μειονέκτημα είναι η ενδοτράχυνση που εμφανίζεται μετά από την αρχική παραμόρφωσή του. Αυτό συνεπάγεται πολύ μεγαλύτερη δυσκολία για περαιτέρω παραμόρφωση που απαιτεί να προηγηθεί πιο πριν η διαδικασία της ανόπτησης έτσι ώστε να μειωθεί κάπως το όριο διαρροής. Το τελευταίο μειονέκτημα των εν ψυχρώ παραμορφώσεων είναι η δυσκολία για κατεργασία εν ψυχρώ διάφορων ψαθυρών, εύθραυστων υλικών γιατί επέρχεται η θραύση τους.

Αντίστοιχα, και οι εν θερμώ κατεργασίες παραμόρφωσης παρουσιάζουν μια σειρά πλεονεκτημάτων και μειονεκτημάτων. Ας ξεκινήσουμε και πάλι από την καταγραφή των πλεονεκτημάτων τους. Το πρώτο πλεονέκτημα είναι η μικρή απαιτούμενη δύναμη παραμόρφωσης. Η δύναμη αυτή παραμένει μικρή και μετά από την αρχική κατεργασία παραμόρφωσης γιατί το υλικό βρίσκεται πάνω από το όριο ανακρυστάλλωσης έτσι δεν υπάρχει σκλήρυνση κατά την διαδικασία παραμόρφωσης. Το δεύτερο πλεονέκτημα είναι συναφές με το πρώτο και έχει να κάνει με την μειωμένη απαιτούμενη δύναμη παραμόρφωσης η οποία οφείλεται στο χαμηλότερο όριο διαρροής που επικρατεί σε υψηλότερες θερμοκρασίες. Τρίτο πλεονέκτημα είναι η μειωμένη αντοχή σε διάτμηση σε υψηλές θερμοκρασίες με συνέπεια και πάλι την μείωση της απαιτούμενης δύναμης για να γίνει η επιθυμητή παραμόρφωση. Δυστυχώς όμως και αυτή η κατηγορία κατεργασιών έχει τα μειονεκτήματά της. Πρώτο εξ αυτών είναι η μη δυνατότητα κατεργασίας κάποιων μετάλλων εν θερμώ γιατί σε υψηλές θερμοκρασίες αυξάνεται κατά πολύ η ευθραυστότητά τους. Δεύτερο μειονέκτημα είναι η χαμηλότερη ακρίβεια στις διαστάσεις του κατεργασμένου τεμαχίου. Η μειωμένη ακρίβεια οφείλεται στην διαστολή που εμφανίζεται λόγω της αυξημένης θερμοκρασίας με αποτέλεσμα η διάσταση που επιτυγχάνεται κατά την κατεργασία να διαφέρει από την τελική διάσταση του κατεργασμένου τεμαχίου. Το τελευταίο μειονέκτημα των εν ψυχρώ παραμορφώσεων είναι η δυσκολία της συγκράτησης του θερμού τεμαχίου έτσι ώστε να μπορεί αυτό να κατεργαστεί αλλά να μην επηρεάζονται τα άλλα στοιχεία της εργαλειομηχανής και οι εργάτες που βρίσκονται κοντά. <sup>[1]</sup>

### **1.2.2 Είδη κατεργασιών με παραμόρφωση**

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενη ενότητα οι κατεργασίες με παραμόρφωση (ή αλλιώς διαμόρφωση, οι δύο όροι είναι ταυτόσημη) υλικού χωρίζονται κυρίως σε δύο κατηγορίες. Στην πρώτη κατηγορία ανήκουν όλες οι κατεργασίες παραμόρφωσης ελάσματος. Στην δεύτερη κατηγορία ανήκουν όλες οι κατεργασίες παραμόρφωσης συμπαγούς υλικού. Πέραν αυτών των δύο κατηγοριών υπάρχει και μια τρίτη κατηγορία κατεργασιών με παραμόρφωση υλικού, οι κατεργασίες υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης. Οι τρεις κατηγορίες με τις υποκατηγορίες τους, δηλαδή τις κυριότερες κατεργασίες κάθε κατηγορίας, καταγράφονται στην επόμενη λίστα και αναλύονται ενδελεχώς στα επόμενα τρία κεφάλαια.

1. Κατεργασίες διαμόρφωσης ελάσματος:
  - i. Απότμηση – διάτμηση.
  - ii. Κάμψη.
  - iii. Κοίλανση.
2. Κατεργασίες διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού:
  - i. Έλαση.
  - ii. Διέλαση.
  - iii. Ολκή.
  - iv. Σφυρηλάτηση.
3. Κατεργασίες υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης:
  - i. Ηλεκτρομαγνητική διαμόρφωση.
  - ii. Ηλεκτροϋδραυλική διαμόρφωση.
  - iii. Εκρηκτική διαμόρφωση.<sup>[1]</sup>

## 2<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

### “ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ”

#### 2.1 Απότμηση - Διάτρηση

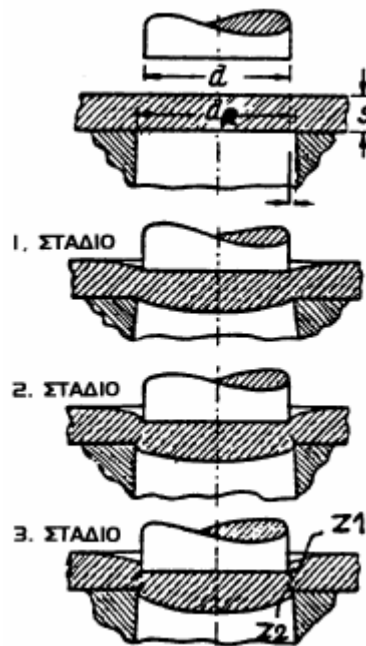
Η απότμηση ή αλλιώς διάτρηση (διάτρηση ονομάζεται όταν απορρίπτεται το κομμένο τμήμα) είναι η πρώτη κατεργασία διαμόρφωσης ελάσματος με την οποία θα ασχοληθούμε σε αυτό το κεφάλαιο. Είναι η κατεργασία διαμόρφωσης κατά την οποία μέρος του υλικού φεύγει, με την χρήση ενός κατάλληλου εργαλείου, από ένα έλασμα. Το εργαλείο αποτμήσεως είναι στην ουσία ένα έμβολο το οποίο κινείται από μια μηχανική ή υδραυλική πρέσα, η ανάλυση των οποίων θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

Η διαδικασία της κατεργασίας της απότμησης είναι πάρα πολύ απλή. Το προς κατεργασία τεμάχιο τοποθετείται επάνω στην ακίνητη μήτρα η οποία έχει το σχήμα του τμήματος που πρέπει να αποκοπεί. Στην συνέχεια το έμβολο κατεβαίνει και ασκεί πίεση στο προς κατεργασία έλασμα. Μέρος του παραμορφώνεται και εισέρχεται στην κατάλληλα διαμορφωμένη οπή της μήτρας. Όσο αυξάνεται η δύναμη του εμβόλου τόσο περισσότερο εισχωρεί στην οπή της μήτρας το έλασμα μέχρι που αποκόπτεται. Η διαδικασία αυτή διαχωρίζεται σε τρία στάδια, τα ακόλουθα:

- 1<sup>ο</sup> Στάδιο: Ελαστική συμπίεση του υλικού ανάμεσα στο έμβολο και την μήτρα και ελαφρά διείδυση των κόψεων εμβόλου και μήτρας μέσα στο υλικό.
- 2<sup>ο</sup> Στάδιο: Εισχώρηση του εμβόλου στο προς κατεργασία υλικό. Αντίστοιχα εισχωρεί και η μήτρα με μικρότερο όμως βάθος.
- 3<sup>ο</sup> Στάδιο: Εμφάνιση ρωγμών (είτε μιας είτε δύο) στην επάνω και την κάτω πλευρά του ελάσματος. Οι ρωγμές αυτές επεκτείνονται μέχρι να συναντήσει η μια την άλλη και να επέλθει η διάτμηση του ελάσματος.

Στο σχήμα 2.1 που ακολουθεί στην επόμενη σελίδα παρουσιάζεται η σταδιακή διαδικασία της κατεργασίας της απότμησης. Η ταχύτητα της απότμησης είναι πολύ σημαντική παράμετρος η οποία καθορίζει τόσο την απαιτούμενη δύναμη για την απότμηση όσο και την προκύπτουσα επιφάνεια. Ο λόγος που επηρεάζει την απαιτούμενη δύναμη είναι γιατί η αύξηση της ταχύτητας της απότμησης οδηγεί σε αύξηση του ορίου ροής του υλικού άρα αυξάνει και την αντοχή του με συνέπεια την απαίτηση μεγαλύτερης δύναμης απότμησης. Σε αυτή την περίπτωση όμως η προκύπτουσα από την κατεργασία επιφάνεια έχει πολύ

καλύτερη ποιότητα. Στην κατεργασία της απότμησης απαιτείται και ύπαρξη δύναμης για να εξέλθει το έμβολο από το έλασμα αφού τελειώσει η κατεργασία και αποκοπεί το υλικό.



Σχήμα 2.1: Διαδικασία απότμησης <sup>[1]</sup>

Κατά την κατεργασία της απότμησης, ανάμεσα στο έμβολο και την μήτρα πρέπει να υπάρχει ένα προκαθορισμένο κενό έτσι ώστε να διεισδύσει μέσα το προς κατεργασία υλικό. Το κενό αυτό ονομάζεται και χάρη της απότμησης. Η χάρη είναι πολύ σημαντικό μέγεθος για την επιτυχία ή όχι της απότμησης και η εκλογή της είναι σημαντική σχεδιαστική παράμετρος. Το μέγεθος της χάρης γενικά κυμαίνεται από 2% έως και 10% του συνολικού πάχους του προς κατεργασία ελάσματος.

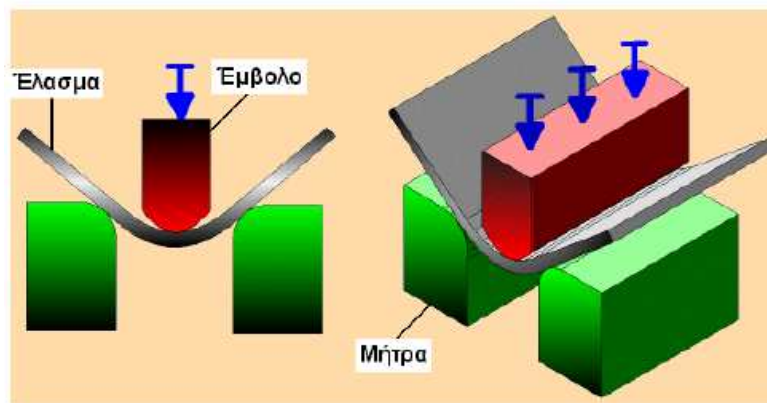
Επίσης σημαντικό στοιχείο για την κατεργασία της απότμησης είναι ο συντελεστής εκμετάλλευσης υλικού ο οποίος εκφράζει το ποσοστό του υλικού του ελάσματος που εκμεταλλεύεται. Στόχος μας είναι η μεγιστοποίηση αυτού του συντελεστή έτσι ώστε να εκμεταλλευόμαστε όσο το δυνατό περισσότερο μέρος του ελάσματος και να μην πετάμε άδικα πολύτιμο υλικό έτσι να μειώνουμε το κόστος. Η περίμετρος της απότμησης πρέπει να απέχει κάποια απόσταση από τα όρια του ελάσματος αλλά και από τα όρια της γειτονικής περιοχής απότμησης. Η όσο το δυνατό μικρότερη απόσταση (εξαρτάται από το υλικό και το πάχος του ελάσματος) οδηγεί σε αύξηση του συντελεστή εκμετάλλευσης υλικού. <sup>[1], [12]</sup>

## 2.2 Κάμψη

Η κάμψη είναι η δεύτερη κατεργασία διαμόρφωσης ελάσματος με την οποία θα ασχοληθούμε. Είναι η απλούστερη από όλες τις κατεργασίες που θα παρουσιαστούν στην

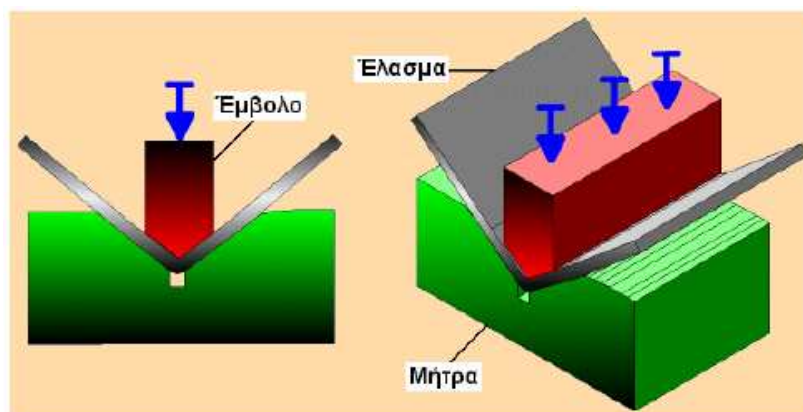
παρούσα εργασία και βρίσκει την μεγαλύτερη εφαρμογή από όλες στην πράξη. Η κάμψη ελάσματος είναι η ομοιόμορφη μόνιμη παραμόρφωση ενός ελάσματος που πραγματοποιείται με την περιστροφή τμήματος του ελάσματος γύρω από ένα ευθύγραμμο άξονα. Αναλόγως του τμήματος που θα παραμορφωθεί δύναται η δημιουργία πλειάδας σχημάτων τελικού προϊόντος με πάρα πολλές χρήσεις. Κάτι περισσότερο σχετικά με την διαδικασία που ακολουθείται κατά την κάμψη δεν υπάρχει γιατί είναι πολύ απλή η κατηγορία οπότεν ακολουθούν κατευθείαν οι κατηγορίες της κάμψης.

- Ελεύθερη κάμψη: Το προς κατεργασία έλασμα έρχεται σε επαφή μόνο με τρεις περιοχές του εργαλείου, δύο στην μήτρα και μια στο έμβολο. Η γωνία κορυφής του εμβόλου είναι πάντοτε μικρότερη από την γωνία κάμψης. Είναι η πιο απλή διαδικασία κάμψης. Φαίνεται στο σχήμα 2.2.



Σχήμα 2.2: Ελεύθερη κάμψη <sup>[13]</sup>

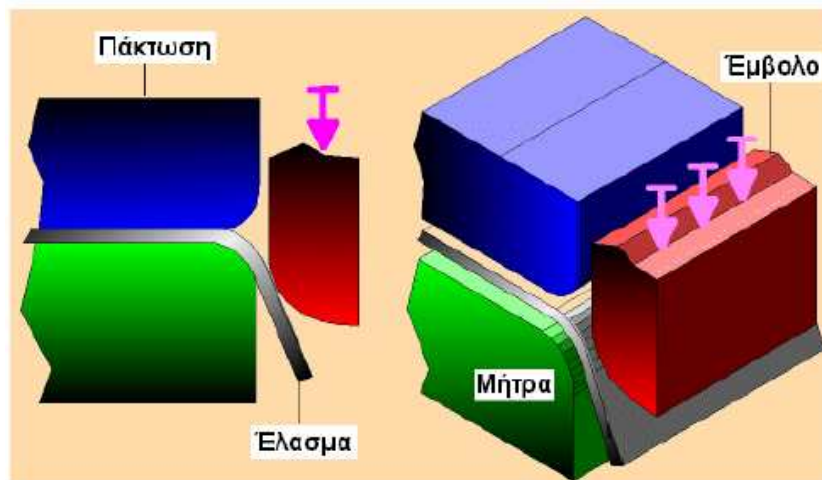
- Κάμψη V: Είναι παρόμοια με την ελεύθερη κάμψη μόνο που η γωνία της μήτρας και του εμβόλου είναι ίσες με αποτέλεσμα το προς τελικό προϊόν να αποκτάει και αυτό την ίδια γωνία και είναι σε επαφή με ολόκληρες τις πλευρές τόσο της μήτρας όσο και του εμβόλου. Στο σχήμα 2.3 παρουσιάζεται αυτή η κάμψη.



Σχήμα 2.3: Κάμψη V <sup>[13]</sup>

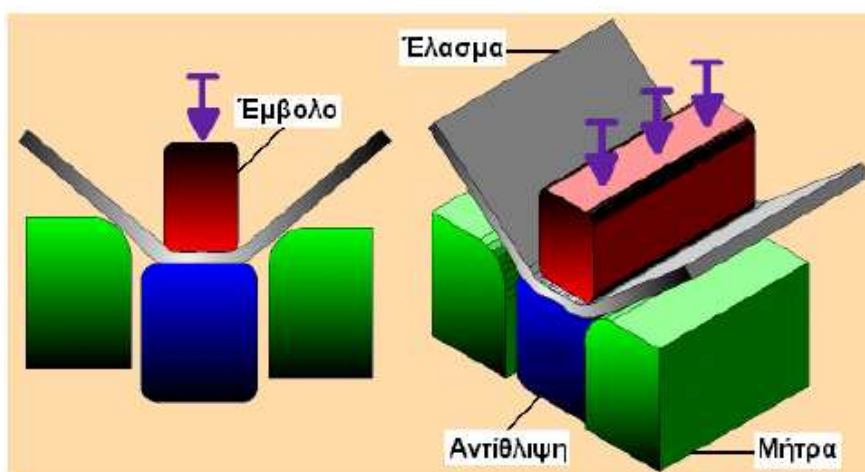


- Κάμψη προβόλου: Το έλασμα είναι στερεά συγκρατημένο μεταξύ δύο σωμάτων και το έμβολο κάμπτει το ελεύθερο άκρο του, ακριβώς όπως φαίνεται στο σχήμα 2.4.



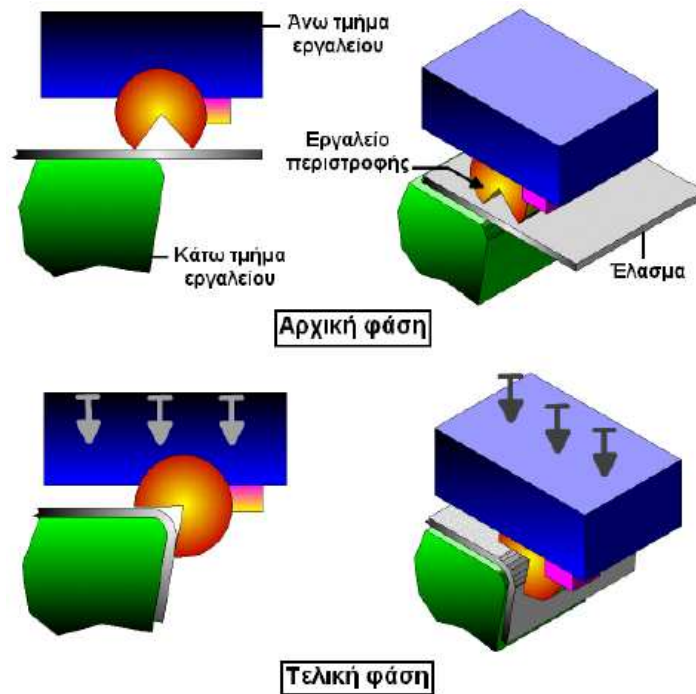
Σχήμα 2.4: Κάμψη προβόλου <sup>[13]</sup>

- Διπλή κάμψη: Πολλές φορές φέρει και το όνομα κάμψη U. Είναι η κάμψη κατά την οποία το τελικό τεμάχιο έχει την μορφή σχήματος U. Είναι στην ουσία κάμψη σε δύο σημεία του ελάσματος. Αυτό επιτυγχάνεται με την χρήση ορθογωνικού εμβόλου. Επιτυγχάνεται με τρεις μεθόδους. Η πρώτη είναι χωρίς αντίθλιψη όπου το κάτω τμήμα του τελικού προϊόντος είναι έντονα κυρτό. Η δεύτερη είναι με παρουσία αντίθλιψης αλλά χωρίς συγκράτηση με αποτέλεσμα την μικρή προς τα άνω κυρτότητα του τελικού αποτελέσματος. Η τρίτη είναι η παρουσία αντίθλιψης και συγκράτησης με αποτέλεσμα την ευθεία μορφή του κάτω μέρους του ελάσματος. Η γενική μορφή της διπλής κάμψης παρουσιάζεται στο σχήμα 2.5.



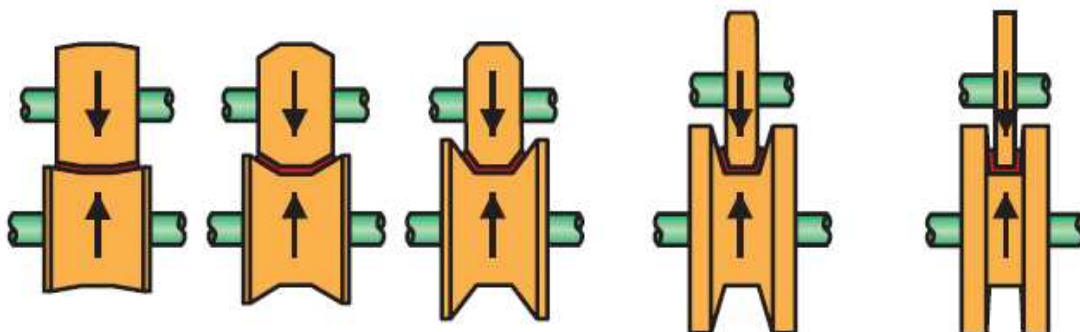
Σχήμα 2.5: Διπλή κάμψη <sup>[13]</sup>

- Περιστροφική κάμψη: Για την κάμψη του ελάσματος χρησιμοποιείται ένα εργαλείο στροφής, το οποίο κατά την περιστροφή του (έπειτα από άσκηση κατακόρυφης δύναμης) περιστρέφει και κάμπτει το προς κατεργασία έλασμα. Το σχήμα 2.6 παρουσιάζει την συγκεκριμένη κατηγορία κάμψης.



Σχήμα 2.6: Περιστροφική κάμψη <sup>[13]</sup>

- Κάμψη μεταξύ ραούλων: Το προς κατεργασία έλασμα κινείται μεταξύ ραούλων των οποίων η τοποθέτηση είναι τέτοια έτσι ώστε να προκαλούν μεταβολή της καμπυλότητας του σώματος και εν τέλει την κάμψη του. Συνήθως τοποθετούνται πολλά συνεχόμενα ραούλα για να επιτευχθεί το τελικό αποτέλεσμα, όπως φαίνεται και στο σχήμα 2.7. <sup>[9], [13]</sup>

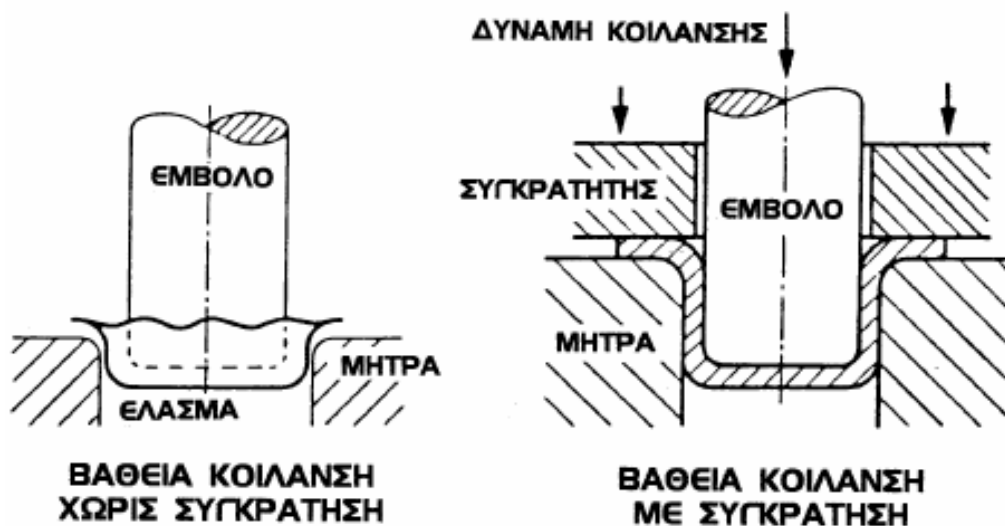


Σχήμα 2.7: Κάμψη με χρήση ραούλων <sup>[9]</sup>

### 2.3 Κοίλανση

Η τρίτη κατεργασία διαμόρφωσης ελάσματος που παρουσιάζεται στην παρούσα εργασία είναι η βαθεία κοίλανση ή απλά κοίλανση. Η κοίλανση είναι η κατεργασία κατά την οποία ένα επίπεδο έλασμα διαμορφώνεται σε κοίλο έλασμα. Η διαμόρφωση αυτή γίνεται με την χρήση ενός κατάλληλου εργαλείου. Ταυτόχρονα με την διαμόρφωση του ελάσματος σε κοίλο στόχος είναι η όσο το δυνατό διατήρηση στα αρχικά επίπεδα του πάχους του ελάσματος. Η κοίλανση ως κατεργασία εμφανίστηκε το 1700 μ.Χ. και έκτοτε έχει βρει πλειάδα εφαρμογών. Έτσι στις μέρες μας θεωρείται ως μια από τις σημαντικότερες κατεργασίες διαμόρφωσης ελασμάτων.

Στην κοίλανση απαιτείται η ύπαρξη μιας μήτρας, ενός εμβόλου και του προς κατεργασία ελάσματος. Σε κάποιες περιπτώσεις χρησιμοποιείται και συγκρατητής, ειδικά εάν απαιτείται η ύπαρξη χείλους στο τελικό προϊόν. Το έμβολο πιέζει προς τα κάτω το έλασμα ώστε αυτό να εισχωρήσει μέσα στην μήτρα. Το έλασμα σταδιακά εισέρχεται στην οπή της μήτρας και καταλαμβάνει τον κενό χώρο μεταξύ μήτρας και εμβόλου. Εάν υπάρχει συγκρατητής τότε αυτός συγκρατεί σε οριζόντιο επίπεδο τα άκρα του ελάσματος με αποτέλεσμα την δημιουργία χείλους στο τελικό προϊόν. Για να μην κινείται ο συγκρατητής ασκείται και σε αυτό μια κάθετη δύναμη. Το σχήμα 2.8 δείχνει τις διατάξεις κοίλανσης με και χωρίς συγκρατητή.



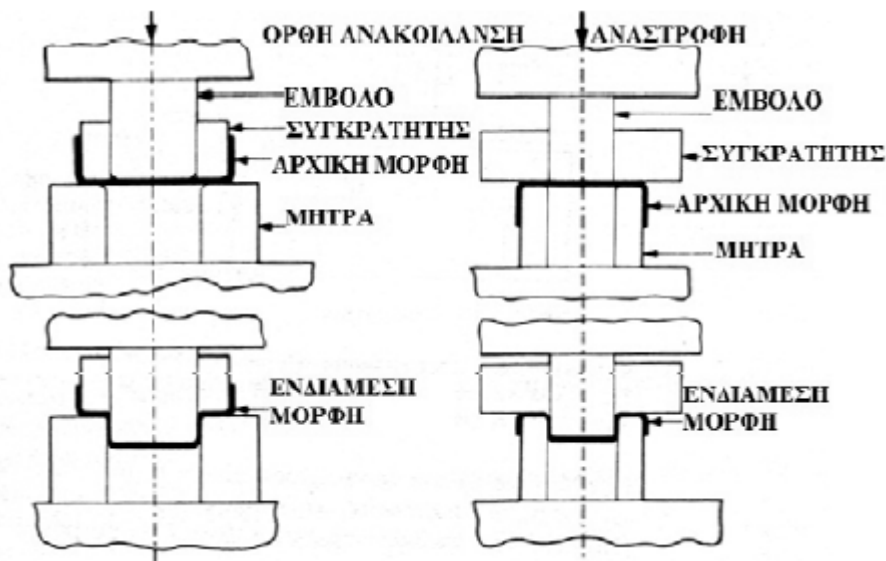
Σχήμα 2.8: Διατάξεις κοίλανσης με και χωρίς συγκράτηση <sup>[1]</sup>

Κατά την διαδικασία της κοίλανσης το προς κατεργασία έλασμα δέχεται εφελκυστικές τάσεις. Το προς κατεργασία έλασμα μπορεί να χωριστεί σε τρεις περιοχές αναλόγως της θέσης του σε σχέση με την μήτρα και το έμβολο. Η πρώτη περιοχή είναι το

τμήμα του ελάσματος που έρχεται σε επαφή με την μήτρα. Αυτό, κατά την διαδικασία της κοίλανσης, υφίσταται συνεχώς ολκή. Καθώς διέρχεται από το χείλος της λίπανσης υφίσταται πλαστική κάμψη και μειώνεται το πάχος του. Το δεύτερο τμήμα του ελάσματος είναι αυτό που δεν έρχεται σε επαφή ούτε με την μήτρα ούτε με το έμβολο. Αυτό δέχεται εφελκυστικές τάσεις που αναπτύσσονται μεταξύ μήτρας και εμβόλου. Ταυτόχρονα ένα μέρος του ολισθαίνει και κάμπτεται είτε προς το μέρος της μήτρας είτε προς το μέρος του εμβόλου. Το τρίτο μέρος του ελάσματος είναι αυτό που έρχεται σε επαφή με το έμβολο και στην ουσία είναι ο πάτος του τελικού προϊόντος. Αυτό το τμήμα τεντώνει και ολισθαίνει προς την επιφάνεια του εμβόλου. Βάσει των παραπάνω μπορούμε να γενικεύσουμε τις φορτίσεις που δέχονται διάφορα τμήματα του ελάσματος στις ακόλουθες:

- Ακτινική ολκή δέχεται το έλασμα μεταξύ μήτρας και συγκρατητή.
- Κάμψη και ολίσθηση δέχεται το έλασμα στο χείλος της μήτρας.
- Εφελκυσμό δέχεται το έλασμα ανάμεσα σε μήτρα και έμβολο.
- Κάμψη και ολίσθηση δέχεται το έλασμα στο καμπύλο μέρος του εμβόλου.
- Έκταση και ολίσθηση δέχεται το έλασμα στην επιφάνεια πίεσης του εμβόλου.

Ένα σημαντικό μέγεθος για τον καθορισμό της κοίλανσης είναι ο λόγος κοίλανσης. Ο λόγος κοίλανσης είναι το πηλίκο μεταξύ της αρχικής διαμέτρου του προς κατεργασία δισκοειδούς ελάσματος και της τελικής διαμέτρου του κατεργασμένου τεμαχίου. Με βάση αυτό τον λόγο μπορούμε να κρίνουμε εάν μια διαμόρφωση μπορεί να γίνει με μια κατεργασία κοίλανσης ή εάν απαιτούνται πολλές διαδοχικές κατεργασίες κοίλανσης οι οποίες ονομάζονται ανακοιλάνσεις. Όσο μεγαλύτερος είναι ο λόγος κοίλανσης, δηλαδή όσο υψηλότερο είναι το τελικό προϊόν σε σχέση με την διάμετρό του, τόσο δυσκολεύει η κατεργασία της κοίλανσης έτσι γίνονται διαδοχικές ανακοιλάνσεις, συνοδευόμενες από ανόπτηση έτσι ώστε να μειωθεί η σκληρότητα του τεμαχίου που προήλθε από τις προηγούμενες κοιλάνσεις. Αυτό όμως είναι σαφές ότι αυξάνει κατά πολύ το κόστος κατεργασίας του τεμαχίου. Οι ανακοιλάνσεις μπορούν να γίνουν είτε άμεσα είτε με αντιστροφή. Η διαφορά των δύο είναι ότι στην ανακοίλανση με αναστροφή το μέσα μέρος του υλικού κατά την πρώτη ανακοίλανση γίνεται το έξω μέρος του υλικού κατά την δεύτερη ανακοίλανση. Στο σχήμα 2.9 παρουσιάζονται οι δύο τύποι ανακοιλάνσεων.



Σχήμα 2.9: Μορφές ανακούλισης <sup>[12]</sup>

Στόχος μας είναι σε κάθε διαδικασία κοίλιανσης να επιτυγχάνουμε όσο το δυνατό μεγαλύτερο λόγο κοίλιανσης ώστε να αυξάνουμε την απόδοση, τέτοιο όμως που να μην απαιτούνται πολλές διαδοχικές ανακούλιανσεις. Η οριακή τιμή του λόγου κοίλιανσης δεν είναι πάντα η ίδια, εξαρτάται από μια σειρά παραγόντων όπως η γεωμετρία του εμβόλου, το προς κατεργασία υλικό, την πίεση συγκράτησης, την επιθυμητή διάμετρο του προϊόντος και το πάχος του ελάσματος.

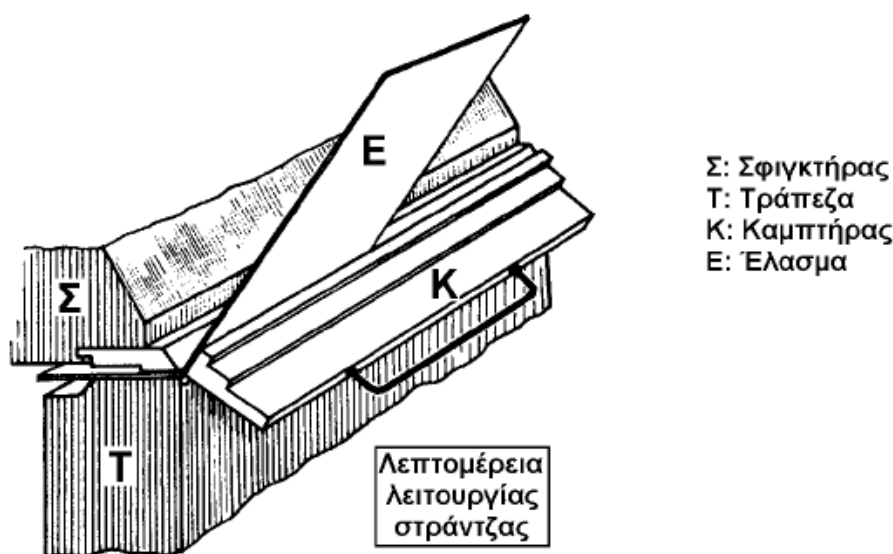
Σε κάθε περίπτωση κοίλιανσης πρέπει να υπολογίζεται εκ των προτέρων το ανάπτυγμα του ελάσματος δηλαδή η μορφή και οι διαστάσεις του. Αυτό γίνεται έτσι ώστε να προκύπτει το επιθυμητό σχήμα από την κατεργασία της κοίλιανσης και να αποφεύγεται η σπατάλη υλικού με την χρήση ελάσματος μεγαλύτερου μεγέθους από το απαιτούμενο. <sup>[1], [12]</sup>

## 2.4 Εργαλειομηχανές

Οι κυριότερες εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία των ελασμάτων είναι οι στράντζες, και οι στραντζόπρες, μηχανές που χρησιμοποιούνται για την κάμψη. Μια γενική περιγραφή αυτών των δύο εργαλειομηχανών θα γίνει στις επόμενες δύο υποενότητες. Για την κάμψη, εκτός από τις στράντζες χρησιμοποιούνται και οι ραουλιέρες, εργαλειομηχανές με ραούλα οι οποίες θα παρουσιαστούν στο δεύτερο κεφάλαιο καθώς οι ραουλιέρες έχουν ως κυριότερη εφαρμογή την έλαση και φέρουν την ονομασία έλαστρα. Για την κοίλιανση και την απότμηση χρησιμοποιούνται κυρίως πρέσες των οποίων ανάλυση θα γίνει στο επόμενο κεφάλαιο.

### 2.4.1 Καμπτικές μηχανές - στράντζες

Η στράντζα είναι η πρώτη και πιο απλή μηχανή κάμψεως. Τα τεμάχια που την αποτελούν είναι ένας σφικτήρας, μια τράπεζα και ένας καμπτήρας. Στο σχήμα 2.10 παρουσιάζεται η τυπική δομή μιας στράντζας και τα κύρια μέρη από τα οποία αποτελείται. Η αρχή λειτουργίας της είναι πολύ απλή. Στηρίζεται στην κάμψη προβόλου που είδαμε σε προηγούμενη σχετική με την κάμψη ενότητα. Το προς κατεργασία έλασμα τοποθετείται στην τράπεζα της στράντζας. Ακολουθώντας, με την χρήση του σφικτήρα συγκρατείτε στερεά σε αυτή. Ακολουθώντας κινείται ο καμπτήρας ο οποίος προκαλεί την κάμψη του ελάσματος. Η κίνηση του καμπτήρα είναι χειροκίνητη για αυτό και υπάρχει η χειρολαβή στο σχήμα 2.10.



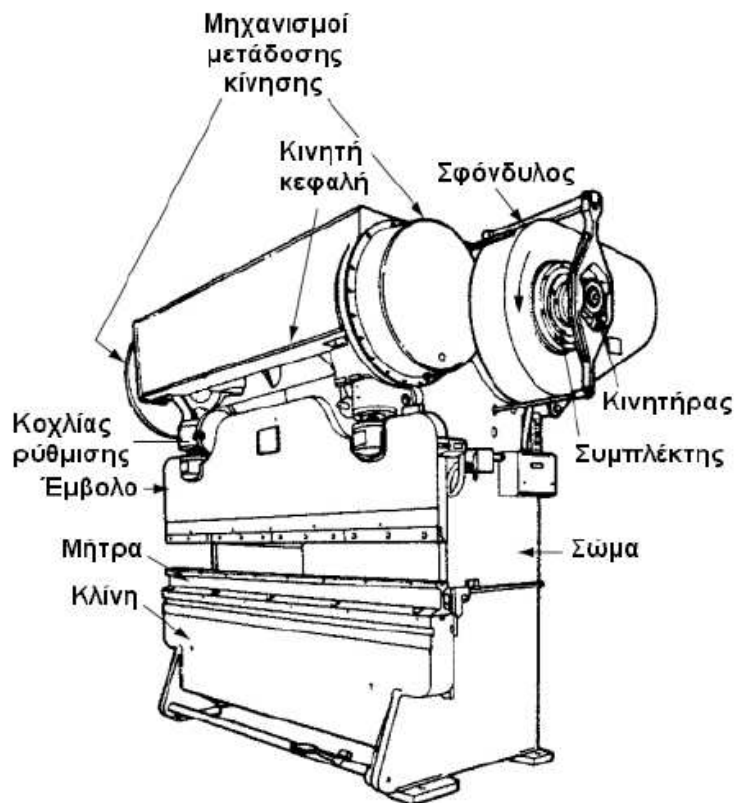
Σχήμα 2.10: Στράντζα και τα κυριότερα μέρη της <sup>131</sup>

Στις απλές στράντζες επιτυγχάνεται κάμψη ελάσματος έως και περίπου  $130^\circ$ . Με σωστή σχεδίαση των κάμψεων ενός ελάσματος μπορούν να παραχθούν από την στράντζα πολλά και πολύπλοκα σχήματα. Αυτό γίνεται ακόμη πιο εύκολο με την προσθήκη κατάλληλων πρόσθετων εργαλείων τυποποιημένων γωνιών κάμψης.

Η στράντζα ως εργαλειομηχανή έχει ένα χαρακτηριστικό μέγεθος, την ικανότητα κάμψεως. Η ικανότητα κάμψεως εκφράζει τις διαστάσεις του ελάσματος το οποίο μπορεί να κατεργαστεί η συγκεκριμένη στράντζα. Συγκεκριμένα αφορά το μέγιστο μήκος και το μέγιστο πάχος που δύναται να κατεργαστεί η συγκεκριμένη στράντζα. Βέβαια είναι προφανές ότι αυτό εξαρτάται και από το προς κατεργασία υλικό καθώς δεν έχουν όλα την ίδια αντοχή στην κάμψη. Η μέτρηση όμως της ικανότητας κάμψεως γίνεται με κριτήριο υλικού ελάσματος συνήθως ένα μαλακό χάλυβα.

#### 2.4.2 Πρέσες κάμψεως - στραντζόπρεςες

Η στραντζόπρεσα είναι η δεύτερη εργαλειομηχανή που χρησιμοποιείται για την κάμψη των ελασμάτων. Τα κύρια τμήματα που συναντούμε σε μια στραντζόπρεσα είναι το σύστημα κίνησης (κινητήρας, συμπλέκτης, σφόνδυλος, μηχανισμοί μετάδοσης κίνησης), ένα έμβολο, μια κινητή κεφαλή, ένας κοχλίας ρύθμισης, μια κλίνη, μια μήτρα και φυσικά το σώμα της εργαλειομηχανής. Όλα αυτά τα τμήματα μιας στραντζόπρεσας φαίνονται και στο σχήμα 2.11 που ακολουθεί.



Σχήμα 2.11: Τυπική δομή μιας στραντζόπρεσας <sup>[13]</sup>

Η αρχή λειτουργίας της στραντζόπρεσας βασίζεται στην πίεση ενός ελάσματος μέσα σε μια μήτρα. Η πίεση επιβάλλεται με το έμβολο το οποίο συχνά φέρει και την ονομασία επιβολέας. Το έμβολο, με το φορτίο διαμορφώσεως που φέρει είναι ικανό ώστε να διαμορφώσει το έλασμα στην μορφή της μήτρας. Με διαδοχικές κάμψεις μετάλλων στην στραντζόπρεσα, όπως και στην στράντζα, είναι δυνατό να επιτευχθούν πολλά και περίπλοκα τελικά σχήματα. Η στραντζόπρεσα δύναται να είναι είτε μηχανική είτε υδραυλική και μπορεί να φέρει φορτία έως και 18 τόνων. <sup>[9], [12], [13]</sup>

# 3<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗΣ ΣΥΜΠΑΓΟΥΣ ΥΛΙΚΟΥ”

### 3.1 Έλαση

Η πρώτη κατεργασία διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού που θα αναλυθεί στο παρόν κεφάλαιο είναι η έλαση. Η έλαση είναι η κατεργασία κατά την οποία μειώνεται η διατομή του προς κατεργασία τεμαχίου. Η μείωση της διατομής συνεπάγεται και αύξηση του μήκους και πιθανόν του πλάτους του προς κατεργασία τεμαχίου. Η μείωση της διατομής οφείλεται στην διέλευση του προς κατεργασία τεμαχίου μεταξύ δύο αντίθετα περιστρεφόμενων ραούλων. Η διάταξη των δύο ραούλων συχνά ονομάζεται και έλαστρο.

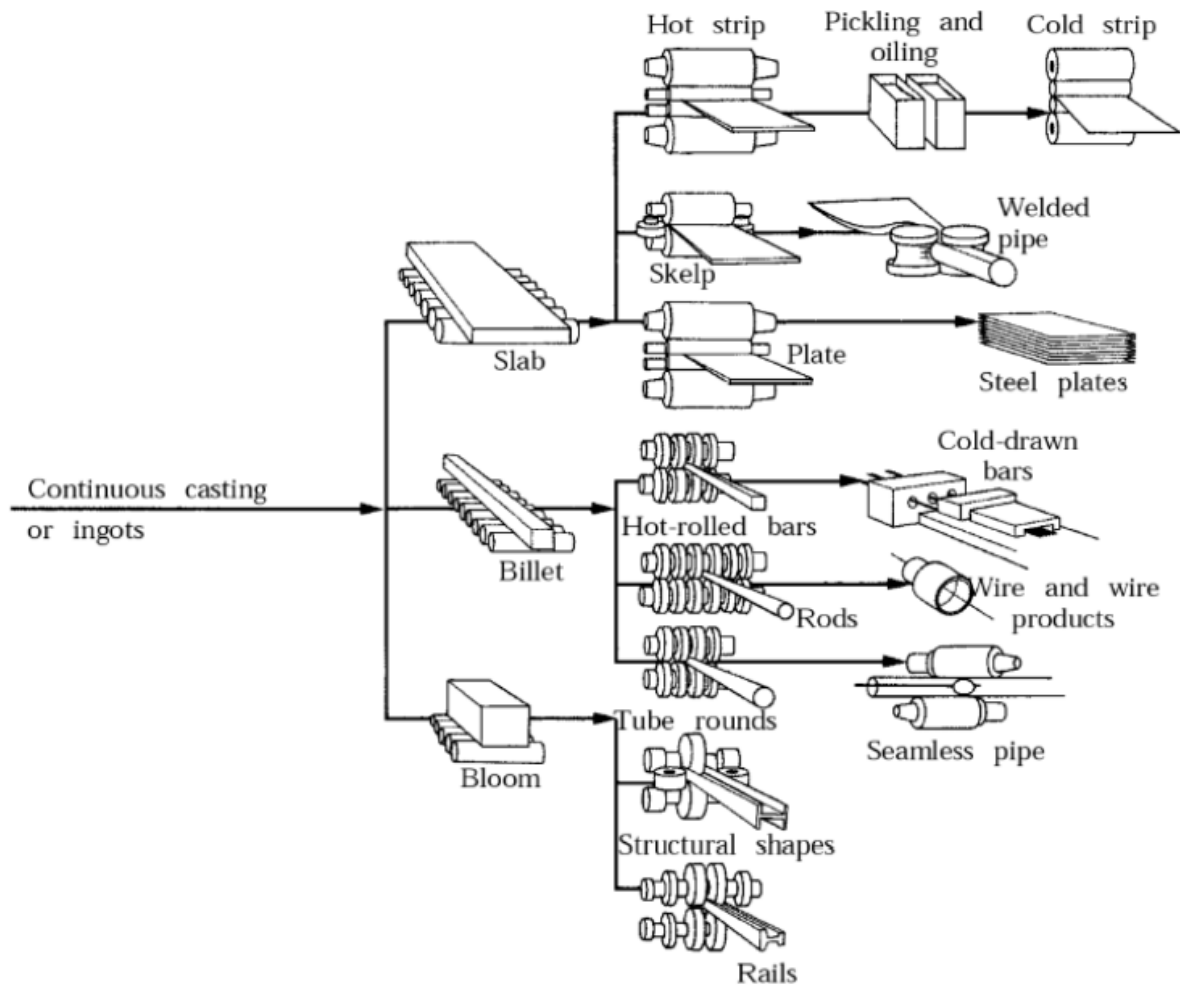
Η έλαση μπορεί να γίνει είτε εν θερμώ είτε εν ψυχρώ. Στην εν θερμώ έλαση επιτυγχάνονται μεγάλες μειώσεις της διατομής του προς κατεργασία τεμαχίου οι οποίες επιτυγχάνονται από την διέλευση του τεμαχίου μεταξύ διαδοχικών ραούλων. Η θερμή έλαση λαμβάνει εκτεταμένες εφαρμογές στην βιομηχανία παραγωγής χάλυβα καθώς όλες οι παραγόμενες ποσότητες υπόκεινται στην κατεργασία της έλασης ώστε να δημιουργηθούν ορθογώνιες ράβδοι.

Αντίθετα, η εν ψυχρώ έλαση χρησιμοποιείται όταν απαιτούνται μικρές μεταβολές της διατομής του προς κατεργασία τεμαχίου. Αυτή η κατηγορία της έλασης στοχεύει στην καλύτερη απόδοση των τελικών διαστάσεων του αντικειμένου που υπόκειται στην έλαση. Κατά την βιομηχανική παραγωγή ράβδων χάλυβα που περιγράφηκε παραπάνω τα τελευταία στάδια γίνονται με έλαση εν ψυχρώ γιατί δεν απαιτείται μεγάλη μείωση διατομής και για να αποδοθούν καλύτερα οι τελικές διαστάσεις.

Η έλαση μπορεί να χωριστεί σε διάφορες φάσεις και εν τέλει να αποδώσει πλειάδα τελικών προϊόντων. Αρχικά εισάγεται προς έλαση ένα ακατέργαστο υλικό, συνήθως προϊόν χύτευσης. Με τις πρώτες φάσεις της έλασης οδηγούμαστε σε ημικατεργασμένα προϊόντα. Το πρώτο ημικατεργασμένο προϊόν είναι η μπιγέτα πρώτης έλασης (bloom). Επόμενα ημικατεργασμένα προϊόντα, αποτελέσματα της περαιτέρω κατεργασίας της μπιγέτας πρώτης έλασης είναι η μπιγέτα (billet) τετραγωνικής διατομής, πολύ μικρότερης από την μπιγέτα πρώτης έλασης και η ορθογώνια πλάκα (slab) με πλάτος τουλάχιστον διπλάσιο του πάχους της. Στην επόμενη φάση της έλασης παράγονται εν τέλει τελικά προϊόντα. Τα προϊόντα αυτά μπορεί να είναι είτε επιμήκη προϊόντα (σωλήνες, ράγες, καλώδια, ράβδοι κλπ) είτε πλατιά



προϊόντα (ελάσματα, λεπτά ελάσματα και λεπτές λωρίδες). Τα πρώτα προέρχονται από περαιτέρω έλαση των μπιγетών και τα δεύτερα από περαιτέρω έλαση των ορθογώνιων πλακών. Στο σχήμα 3.1 καταγράφονται όλες οι φάσεις και τα τελικά προϊόντα της κατεργασίας της έλασης. <sup>[4], [5]</sup>



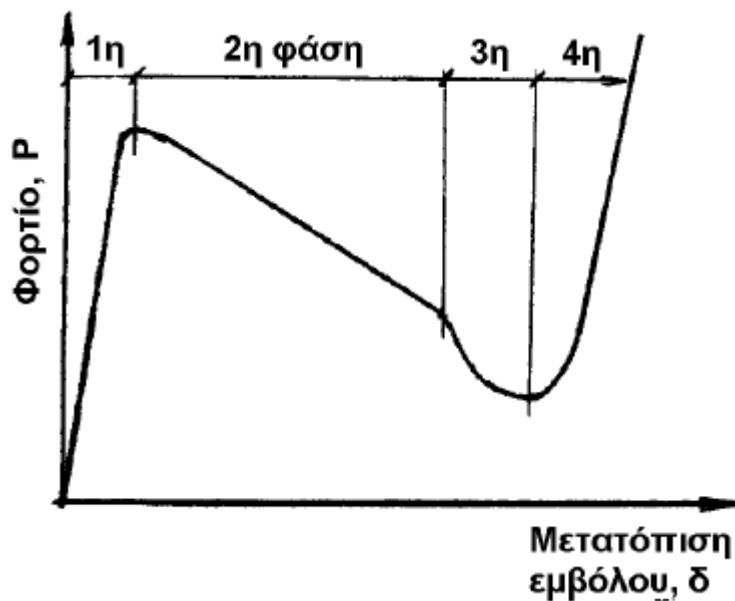
Σχήμα 3.1: Φάσεις έλασης και κατηγορίες παραγόμενων προϊόντων <sup>[4]</sup>

### 3.2 Διέλαση

Η διέλαση είναι η δεύτερη κατεργασία διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού με την οποία θα ασχοληθούμε. Ας δούμε πρώτα τον ορισμό της. Διέλαση ορίζεται ως η κατεργασία κατά την οποία το προς κατεργασία τεμάχιο συμπιέζεται μέσω ενός εμβόλου μέσα σε μεταλλικό θάλαμο. Στο άλλο άκρο του θαλάμου ευρίσκεται μια κατάλληλα διαμορφωμένη μήτρα από την οποία αναγκάζεται να διέλθει το προς κατεργασία τεμάχιο. Συνέπεια αυτής της διέλευσης είναι η μείωση της διαμέτρου του υλικού και η αύξηση του μήκους του. Πολλές φορές αυτή η κατεργασία συναντάται και με τον ορισμό εξώθησης.

Βάσει των παραπάνω παρατηρείται ότι είναι απαραίτητη η ύπαρξη μιας μεταλλικής μήτρας, ενός εμβόλου και ενός θαλάμου στον οποίο εκτελείται η συμπίεση. Όλα αυτά βρίσκονται σε μια κατάλληλη εργαλειομηχανή η οποία είναι μια πρέσα, συνήθως υδραυλική. Η μορφή της πρέσας εξαρτάται από το είδος της διέλασης. Εάν η διέλαση είναι εν ψυχρώ τότε η πρέσα είναι κατακόρυφη ενώ εάν είναι εν θερμώ τότε η πρέσα είναι οριζόντια.

Κατά την κατεργασία της διέλασης συναντούμε τέσσερις ξεχωριστές φάσεις. Η πρώτη φάση φέρει την ονομασία αρχική ή μεταβατική φάση. Σε αυτή την φάση το προς κατεργασία υλικό γεμίζει τον θάλαμο. Ταυτόχρονα το έμβολο ξεκινάει να κινείται. Με αυτό τον τρόπο αυξάνεται η πίεση στον θάλαμο και το προς κατεργασία υλικό οδηγείται προς την μήτρα. Η δύναμη που εμφανίζεται στο τέλος αυτής της φάσης είναι η μέγιστη απαιτούμενη δύναμη στην κατεργασία της διέλασης. Η λήξη αυτής της φάσης γίνεται μόλις εμφανιστεί το πρώτο τμήμα του τελικού προϊόντος στην έξοδο της μήτρας. Η δεύτερη φάση είναι η ευσταθής φάση. Σε αυτή την φάση η κατεργασία της διέλασης διεξάγεται με σταθερό ρυθμό. Κατά την πορεία της διεργασίας μειώνονται οι αντιστάσεις τριβών γιατί μειώνεται το μήκος του υλικού μέσα στον θάλαμο, λόγω κίνησης του εμβόλου. Η μείωση των αντιστάσεων τριβής οδηγεί και σε μικρότερες απαιτήσεις δύναμης, μάλιστα η απαιτούμενη δύναμη σταδιακά μειώνεται. Τέλος, σε αυτή την φάση εμφανίζονται και νεκρές ζώνες δηλαδή ακίνητο υλικό στην άκρη της μήτρας. Η τρίτη φάση είναι η φάση της αστάθειας. Αυτή η φάση ξεκινάει όταν μειώνεται πολύ το προς κατεργασία υλικό στον θάλαμο και φτάνουμε προς το τέλος της κατεργασίας. Σε αυτή την φάση μειώνεται απότομα η δύναμη που ασκείται από το έμβολο στο προς κατεργασία υλικό και φτάνει σε μια ελάχιστη τιμή. Μπορούμε να αντιληφθούμε ότι η διεργασία εισήλθε στην φάση της αστάθειας καθώς εμφανίζεται τριγμός στο έμβολο και έντονος θόρυβος. Η τέταρτη και τελευταία φάση της κατεργασίας της διέλασης είναι η ανάπτυξη του ελαττώματος. Σε αυτή την φάση έχει ελαττωθεί τόσο πολύ το προς κατεργασία υλικό στον θάλαμο με αποτέλεσμα το κεντρικό της τμήμα να χάνει την επαφή με το έμβολο και να δημιουργείται μια κοιλότητα. Αυτό έχει ως συνέπεια το τελικό προϊόν να φέρει την συγκεκριμένη κοιλότητα άρα να θεωρείται ελαττωματικό, να αποκόπτεται και να θεωρείται άχρηστο. Αυτή η φάση συνοδεύεται από απότομη αύξηση της απαιτούμενης δύναμης του εμβόλου και πρέπει να σταματήσουμε την κατεργασία αφού απλά θα υπάρχει σπατάλη καυσίμου για την άσκηση της επιπλέον δύναμης που θα παράγει άχρηστο προϊόν. Στο σχήμα 3.2 παρουσιάζεται η διακύμανση της απαιτούμενης δύναμης για την κατεργασία της διέλασης ανά φάση άρα και ανά θέση του εμβόλου όπου επαληθεύονται όλα τα παραπάνω στοιχεία.



Σχήμα 3.2: Διακύμανση φορτίου ανά φάση της κατεργασίας της διέλασης<sup>[3]</sup>

Η διέλαση μπορεί να χωριστεί σε τέσσερις επιμέρους κατηγορίες, την άμεση διέλαση, την έμμεση διέλαση, την υδροστατική διέλαση και την δυναμική διέλαση. Στις επόμενες υποενότητες θα δούμε τα σημαντικότερα στοιχεία αυτών των τεσσάρων υποκατηγοριών.

### 3.2.1 Άμεση διέλαση

Η άμεση είναι η πρώτη κατηγορία διέλασης, είναι η κλασική μέθοδος διέλασης. Σε αυτή την κατηγορία η ροή του υλικού μέσα στον θάλαμο και στην μήτρα έχει την ίδια διεύθυνση με την κίνηση του εμβόλου για αυτό και πολλές φορές φέρει και την ονομασία ευθεία διέλαση. Αυτό συνεπάγεται όμως και το ότι η κίνηση του προς κατεργασία υλικού έχει έντονες τριβές με τον μεταλλικό θάλαμο καθώς κινείται επάνω στα τοιχώματα του θαλάμου, σε όλο το μήκος του θαλάμου. Στο σχήμα 3.3 που ακολουθεί στο τέλος αυτών των υποενοτήτων φαίνεται στο σχεδιάγραμμα α η κατεργασία της άμεσης διέλασης.

### 3.2.2 Έμμεση διέλαση

Η έμμεση διέλαση είναι η κατεργασία διέλασης κατά την οποία στο μέτωπο του εμβόλου έχει ενσωματωθεί η μήτρα. Αποτέλεσμα αυτής της διάταξης είναι η κίνηση της μήτρας προς το προς κατεργασία υλικό το οποίο τώρα παραμένει ακίνητο. Για να εξέλθει όμως το υλικό από την μήτρα απαιτείται και η ύπαρξη μιας οπής στο έμβολο από την οποία θα διέλθει το τελικό προϊόν. Σε αυτή την κατηγορία διέλασης η ροή του υλικού έχει την ίδια διεύθυνση αλλά αντίθετη φορά από την κίνηση του εμβόλου. Λόγω του ότι το προς

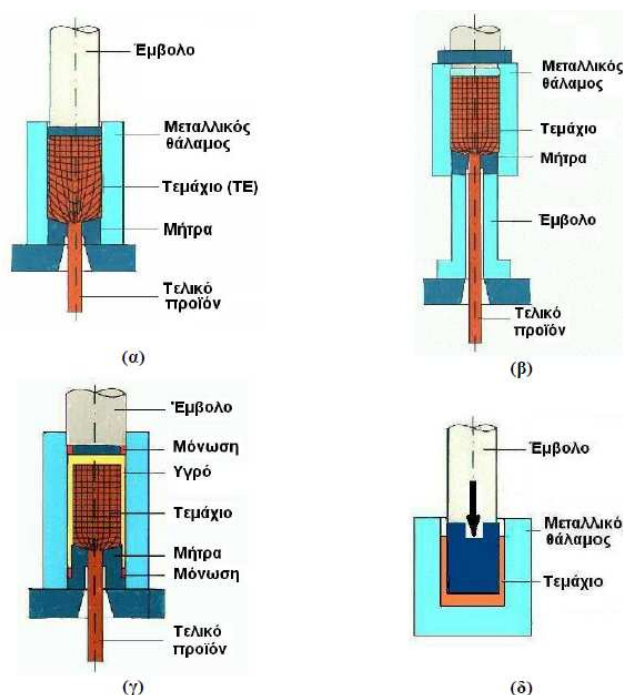
κατεργασία υλικό παραμένει ακίνητο υπάρχει δραστική μείωση των δυνάμεων τριβής οι οποίες ελαχιστοποιούνται. Στο σχήμα 3.3 φαίνεται η έμμεση διέλαση στο σχεδιάγραμμα β.

### 3.2.3 Υδροστατική διέλαση

Η τρίτη υποκατηγορία διέλασης είναι η υδροστατική διέλαση κατά την οποία ο μεταλλικός θάλαμος είναι γεμάτος με νερό το οποίο δέχεται την δύναμη του εμβόλου και συμπιέζεται. Το υγρό με την σειρά του πιέζει το προς κατεργασία τεμάχιο το οποίο οδηγείται στην μήτρα. Η διάταξη μοιάζει με την άμεση διέλαση όμως η ύπαρξη του ρευστού έχει ως αποτέλεσμα την εξαφάνιση των δυνάμεων τριβής μεταξύ του προς κατεργασία υλικού και των τοιχωμάτων του θαλάμου. Λόγω της ύπαρξης όμως του ρευστού εμφανίζονται προβλήματα στεγανότητας. Στο σχήμα 3.3 φαίνεται η υδροστατική διέλαση στο σχεδιάγραμμα γ.

### 3.2.4 Δυναμική διέλαση

Η δυναμική διέλαση είναι η τέταρτη και τελευταία κατηγορία διέλασης. Είναι μια έμμεσης μορφής διέλαση η οποία εκτελείται με πολύ μεγάλες ταχύτητες εμβόλου. Πολλές φορές φέρει και την ονομασία κρουστική διέλαση. Σε αυτή την περίπτωση δεν υπάρχει θάλαμος αλλά μια αβαθής κοιλότητα όπου το υλικό ρέει γύρω από το περίγραμμα του εμβόλου. Είναι αποτελεσματική κυρίως στα μαλακά μέταλλα. Στο σχήμα 3.3 φαίνεται η δυναμική διέλαση στο σχεδιάγραμμα δ. [3], [5], [10]



Σχήμα 3.3: Σχηματική αναπαράσταση κάθε υποκατηγορίας διέλασης [3]

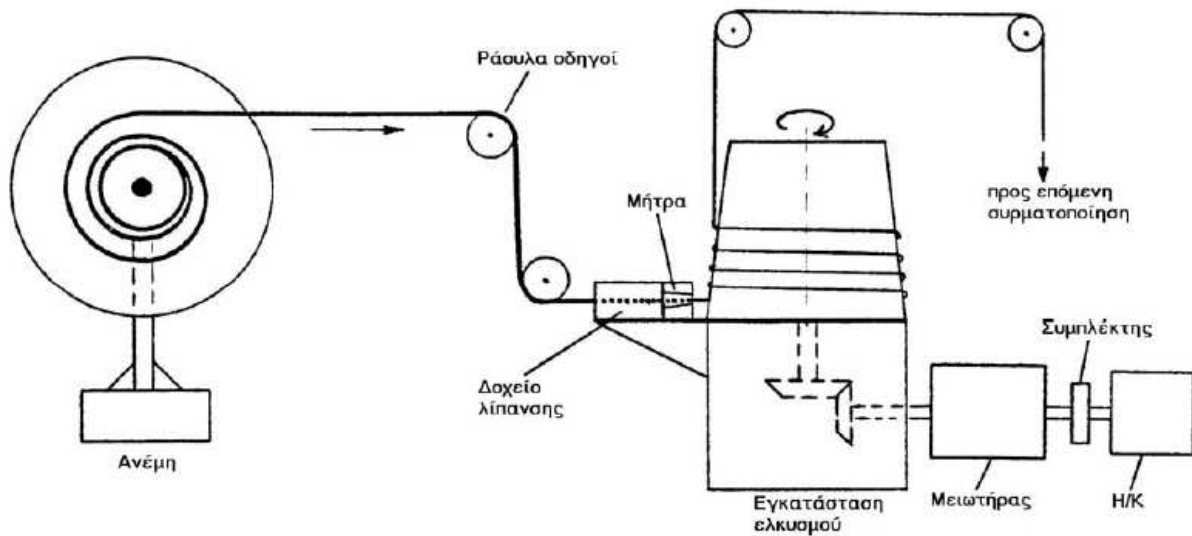
### **3.3 Ολκή**

Η ολκή είναι η τρίτη κατεργασία διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού. Η ολκή είναι η κατεργασία κατά την οποία το προς κατεργασία τεμάχιο υπόκειται σε πλαστική παραμόρφωση καθώς διέρχεται μέσα από μια μεταλλική μήτρα. Στην έξοδο της μήτρας το προς κατεργασία τεμάχιο δέχεται εφελκυστικά φορτία. Η μήτρα συνήθως είναι κωνικής μορφής. Για την σωστή λειτουργία της μήτρας απαιτείται αναγκαστικά λίπανση είτε με υγρό είτε με στερεό λιπαντικό. Στόχος της κατεργασίας της ολκής είναι η δραστική μείωση της διατομής του προς κατεργασία τεμαχίου και η ταυτόχρονη αύξηση του μήκους του.

Οι κατεργασίες ολκής είναι κατά βάση κατεργασίες εν ψυχρώ έτσι ώστε να επιτευχθούν καλή ποιότητα επιφάνειας του προϊόντος και ταυτόχρονη καλή διαστατική ακρίβεια. Βέβαια, κατά την διάρκεια της κατεργασίας, μέσα στην μήτρα, αναπτύσσονται πολύ μεγάλες κατεργασίες εξαιτίας των μεγάλων μειώσεων των διατομών. Οι κατεργασίες ολκής χωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατεργασίες. Η πρώτη είναι η συρματοποίηση, η δεύτερη είναι ο ελκυσμός ράβδου και η τρίτη είναι η σωληνοποίηση. Στις επόμενες δύο ενότητες θα δούμε αναλυτικότερα την συρματοποίηση και τον ελκυσμό της ράβδου. Η σωληνοποίηση δεν είναι τόσο σημαντική, γίνεται κυρίως με άλλες κατεργασίες.

#### **3.3.1 Συρματοποίηση**

Η συρματοποίηση είναι η κατεργασία ολκής κατά την οποία παράγεται σύρμα δηλαδή ράβδος με διάμετρο μικρότερη των 5 mm. Η διαδικασία αυτή προϋποθέτει τον αρχικό καθαρισμό του προς επεξεργασία τεμαχίου το οποίο συνήθως είναι μια ράβδος, αποτέλεσμα έλασης εν θερμώ, αποθηκευμένης για μεγάλο χρονικό διάστημα σε υπαίθριους χώρους άρα και οξειδομένης. Έτσι το πρώτο στάδιο της συρματοποίησης είναι ο καθαρισμός του προς κατεργασία τεμαχίου. Ο καθαρισμός γίνεται είτε χημικά είτε μηχανικά είτε με ηλεκτρόλυση. Στην συνέχεια το σύρμα τυλίγεται σε μια ανέμη, διέρχεται από δύο σταθερά ραούλα και καταλήγει στην μήτρα συρματοποίησης. Το άκρο του προς κατεργασία τεμαχίου εξέρχεται από την μήτρα συρματοποίησης και τυλίγεται σε ένα τύμπανο περιελίξεως το οποίο ονομάζεται και μηχανή ελκυσμού. Η περιστροφή της μηχανής ελκυσμού με ένα κινητήρα συνεπάγεται μείωση της διατομής και επιμήκυνση του σύρματος. Λόγω του ότι με την μείωση της διατομής πρέπει να αλλάζει η ταχύτητα περιστροφής πολλές φορές το τύμπανο περιελίξεως έχει κωνικό σχήμα ώστε να επιτυγχάνεται αυτό. Στο σχήμα 3.4 παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη συρματοποίησης.

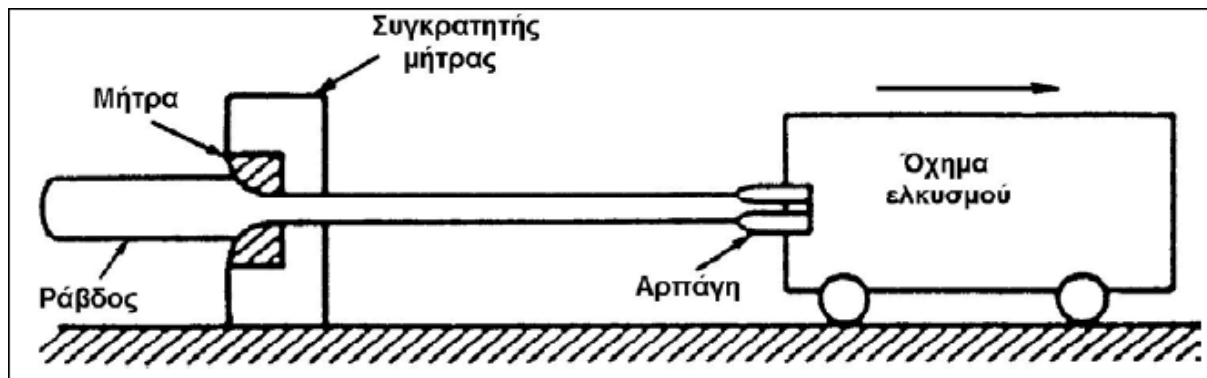


Σχήμα 3.4: Τυπική διάταξη συρματοποίησης <sup>[6]</sup>

Με την συρματοποίηση μπορεί να επέλθει έως και 90% μείωση στην τελική διατομή του προϊόντος. Για να γίνει αυτό όμως απαιτούνται πολλές διαδοχικές φάσεις αλλά και ενδιάμεσες κατεργασίες ανόπτησης έτσι ώστε να εξαλειφτεί η τοπικά δημιουργούμενη σκληρότητα.

### 3.3.2 Ελκυσμός ράβδου

Ο ελκυσμός ράβδου είναι η δεύτερη κατηγορία κατεργασιών ολκής. Στην κατεργασία του ελκυσμού το κατάλληλα κατεργασμένο άκρο μιας ράβδου διέρχεται εντός μιας μήτρας και το άκρο του συνδέεται σε ένα όχημα ελκυσμού. Ακολούθως, το όχημα ελκυσμού τραβάει την ράβδο έτσι ώστε να διέλθει από την μήτρα. Αναλόγως του μήκους της ράβδου διαφέρει και το όχημα ελκυσμού το οποίο μπορεί να είναι είτε ένα τύμπανο περιστροφής είτε μιας μηχανής που κινείται μέσω υδραυλικού συστήματος ή ατέρμονης αλυσίδας. Στο σχήμα 3.5 φαίνεται η τυπική διάταξη του ελκυσμού της ράβδου, όπως αυτή έχει περιγραφτεί παραπάνω.



Σχήμα 3.5: Τυπική διάταξη ελκυσμού ράβδου <sup>[6]</sup>

Κατά την διέλευση της ράβδου από την μήτρα μειώνεται η διατομή της. Η μείωση αυτή μπορεί να είναι πολύ μεγάλη. Σε μικρές διατομές η μείωση μπορεί να είναι ίση και με το 50% της αρχικής διατομής. Αντίθετα, σε μεγάλες διατομές η μείωση είναι αρκετά μικρότερη έτσι ώστε να επιτυγχάνεται καλύτερη διαστατική ακρίβεια. Οι ταχύτητες ελκυσμού είναι σχετικά μεγάλες, μπορεί να φτάσουν έως και τα 35 μέτρα ανά λεπτό. <sup>[6]</sup>

### **3.4 Σφυρηλάτηση**

Η τελευταία κατεργασία διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού με την οποία θα ασχοληθούμε είναι η σφυρηλάτηση. Σφυρηλάτηση είναι η πλαστική παραμόρφωση ενός υλικού σε ορισμένη θερμοκρασία και ταχύτητα παραμόρφωσης. Ως κατεργασία οφείλεται στην ευπλαστότητα που αποκτούν κάποια μέταλλα σε υψηλή θερμοκρασία με αποτέλεσμα να μπορούν να διαμορφωθούν πολύ εύκολα υπό την άσκηση θλιπτικών δυνάμεων. Μεταξύ αυτών των μετάλλων είναι και ο χάλυβας. Έτσι στην ουσία η σφυρηλάτηση είναι η εφαρμογή θλιπτικών δυνάμεων από το εργαλείο προς το προς κατεργασία τεμάχιο.

Ως κατεργασία η σφυρηλάτηση χρησιμοποιείται από αρχαιοτάτων χρόνων, πριν το 5000 π.Χ. με αποτέλεσμα να θεωρείται η παλιότερη μηχανουργική κατεργασία. Έχει ένα πολύ μεγάλο εύρος εφαρμογών, μπορεί να εφαρμοστεί σε πάρα πολλά υλικά, σε πολλά μεγέθη και σχήματα των προς κατεργασία τεμαχίων. Μεταξύ άλλων, τυπικά σφυρήλατα προϊόντα είναι οι εκκεντροφόροι άξονες, οι διωστήρες, οι οδοντωτοί τροχοί, οι χειροτροχοί, τα πτερύγια ελίκων και πολλά άλλα.

Το κάθε υλικό έχει μια ιδιότητα που ονομάζεται κατεργασιμότητα των υλικών σε σφυρηλάτηση. Αυτή η ιδιότητα εκφράζει την ικανότητα του κάθε υλικού να παραμορφώνεται πλαστικά, σε ορισμένη θερμοκρασία και ταχύτητα παραμόρφωσης, χωρίς να αστοχεί. Αυτή η κατεργασιμότητα των υλικών εξαρτάται από πολλές μηχανικές ιδιότητές τους με κυριότερες την ολκιμότητα και την αντοχή και δευτερεύουσες την απαιτούμενη θερμοκρασία κατεργασίας, την συμπεριφορά έναντι τριβής και την ποιότητα του τελικού προϊόντος. Οι χάλυβες είναι από τα μέταλλα που εμφανίζουν υψηλή κατεργασιμότητα σε σφυρηλάτηση. Τα πλέον ευκατέργαστα σε σφυρηλάτηση όμως είναι τα κράματα αλουμινίου και χαλκού εξαιτίας της μαλακότητάς τους. Η κατεργασιμότητα ενός κράματος, ανεξαρτήτως υλικού, καθορίζεται από εργαστηριακές – πειραματικές μεθόδους, συγκεκριμένα από τις δοκιμές συμπίεσης και στρέψης.

Η σφυρηλάτηση ως κατεργασία μπορεί να διεξαχθεί είτε εν ψυχρώ, είτε εν θερμώ είτε σε μια ενδιάμεση θερμοκρασία. Στην μεγάλη πλειοψηφία των εφαρμογών της όμως η

σφυρηλάτηση εφαρμόζεται εν θερμώ. Η θερμοκρασία εξαρτάται φυσικά από το προς κατεργασία υλικό. Η υψηλότερη θερμοκρασία απαιτείται για την σφυρηλάτηση χάλυβα ενώ η χαμηλότερη απαιτείται για τα κράματα αλουμινίου. Βέβαια, διάφορα άλλα κράματα από δύστηκτα μέταλλα μπορεί να απαιτούν υψηλότερη θερμοκρασία σφυρηλάτησης από αυτή του χάλυβα. Στον πίνακα 1 καταγράφονται οι θερμοκρασίες σφυρηλάτησης αναλόγως του τύπου του προς κατεργασία υλικού.

**Πίνακας 1: Θερμοκρασίες σφυρηλάτησης τυπικών μετάλλων <sup>17]</sup>**

Υλικό	Θερμοκρασία σφυρηλάτησης [°C]
<b>Κράματα αλουμινίου</b>	400 – 450
<b>Κράματα χαλκού</b>	625 – 950
<b>Χάλυβες</b>	925 – 1250
<b>Κράματα τιτανίου</b>	750 – 975
<b>Δύστηκτα κράματα</b>	975 – 1650

Για την σφυρηλάτηση απαραίτητη είναι η ύπαρξη λίπανσης. Το λιπαντικό είναι χρήσιμο γιατί μειώνει πολύ τις τριβές άρα και τις φθορές στην διεπιφάνεια μεταξύ του προς κατεργασία τεμαχίου και του εργαλείου κατεργασίας. Ταυτόχρονα διευκολύνει την ροή στις κοιλότητες του καλουπιού. Επίσης αποτελεί ένα ενδιάμεσο σώμα μεταξύ του θερμού υλικού και του ψυχρού καλουπιού μειώνοντας τον ρυθμό απόψυξης του υλικού, οδηγώντας έτσι σε μια ομαλότερη απόψυξη. Ταυτόχρονα, η ύπαρξη του στο ενδιάμεσο υλικού και καλουπιού αποτρέπει το υλικό από το να κολλήσει στο καλούπι. Το είδος του χρησιμοποιούμενου λιπαντικού εξαρτάται από το εάν η λίπανση θα είναι εν θερμώ ή εν ψυχρώ.

Εκτός του λιπαντικού σοβαρός παράγοντας που βελτιώνει πολύ την κατεργασία της σφυρηλάτησης είναι η ύπαρξη υδροστατικής πίεσης. Η υδροστατική πίεση έχει ως συνέπεια την αύξηση της ολκιμότητας του προς κατεργασία υλικού αυξάνοντας έτσι την κατεργασιμότητα του σε σφυρηλάτηση όπως έχουμε ήδη αναφέρει. Επίσης, εάν υπάρχει υδροστατική πίεση παρουσιάζονται καλύτερα αποτελέσματα στην εν ψυχρώ σφυρηλάτηση, η αστοχία επέρχεται σε μεγαλύτερες παραμορφώσεις. Τέλος, το υδροστατικό υλικό μπορεί να αποτελέσει ένα ενδιάμεσο μέσο μεταφοράς της δύναμης κατεργασίας από το εργαλείο στο προς κατεργασία τεμάχιο εξασφαλίζοντας έτσι καλύτερη κατανομή της δύναμης.

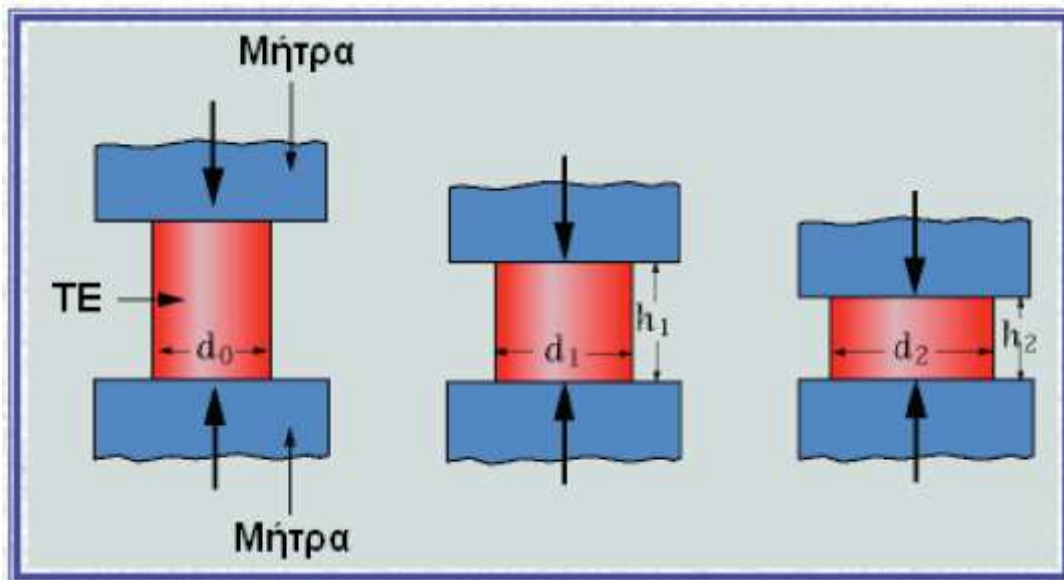
Η σφυρηλάτηση χωρίζεται σε τρεις υποκατηγορίες κατεργασιών. Αυτές είναι η σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας, η σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας, και η τύπωση. Οι κυριότερες είναι οι δύο πρώτες ενώ η τύπωση χρησιμοποιείται για την παραγωγή



νομισμάτων. Στις επόμενες ενότητες θα αναλύσουμε ξεχωριστά την κάθε κατηγορία σφυρηλάτησης.

### 3.4.1 Σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας

Η σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας είναι η κατεργασία σφυρηλάτησης κατά την οποία δυνάμεις συμπίεσης ασκούνται από το εργαλείο τοπικά στο προς κατεργασία τεμάχιο χωρίς να υπάρχει πλευρικός περιορισμός της ροής του μετάλλου. Σε αυτή την κατηγορία εντάσσονται και οι σφυρηλατήσεις που έχουν πολύ μικρό πλάγιο περιορισμό της ροής του μετάλλου. Το τελικό σχήμα του προς κατεργασία τεμαχίου επιτυγχάνεται με την περιστροφή του μεταξύ συνεχών χτυπημάτων. Η σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας είναι η πρώτη κατεργασία σφυρηλάτησης που έχει χρησιμοποιηθεί. Στο σχήμα 3.6 εμφανίζεται η κατεργασία σφυρηλάτησης ανοικτής μήτρας.



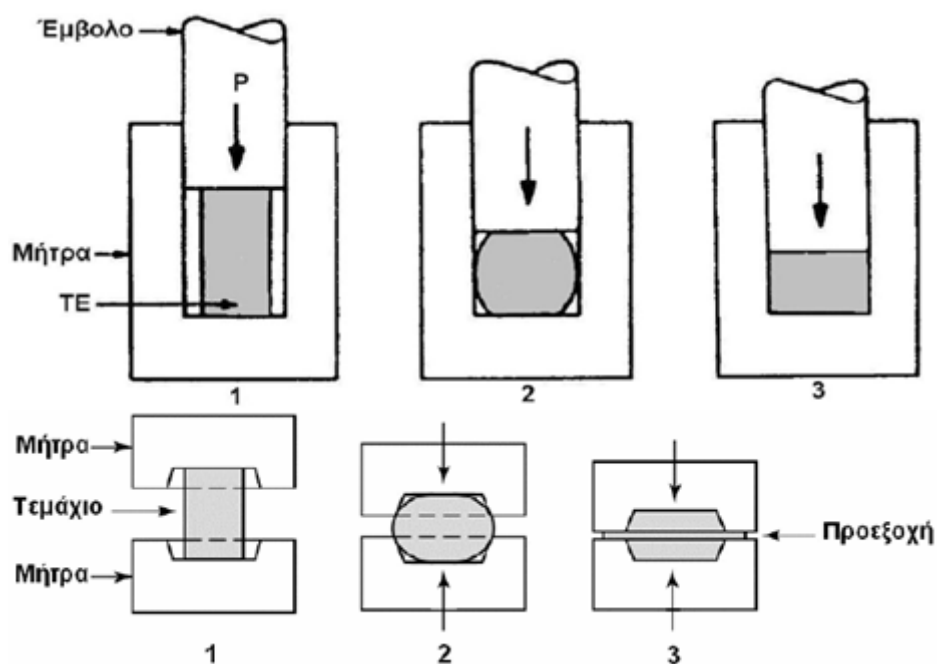
Σχήμα 3.6: Σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας <sup>[7]</sup>

Σε σχέση με τις υπόλοιπες κατεργασίες σφυρηλάτησης παρουσιάζει μια σειρά πλεονεκτημάτων. Καταρχήν χρησιμοποιεί πολύ απλά και φθηνά εργαλεία τα οποία ανάγονται σε μια σφύρα και διάφορα άλλα παρελκόμενα. Επίσης μπορεί να εφαρμοστεί σε πάρα πολλά μεγέθη κατεργαζόμενων τεμαχίων των οποίων μάλιστα προσδίδει και χαρακτηριστικά καλής αντοχής. Αυτά την καθιστούν πολύ χρήσιμη για εφαρμογή στην παραγωγή μικρού αριθμού προϊόντων. Ταυτόχρονα όμως έχει και μια σειρά μειονεκτημάτων. Πρώτο είναι το ότι δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε πολύπλοκες γεωμετρίες τεμαχίων. Δεύτερο είναι η δυσκολία στην ύπαρξη διαστατικής ακρίβειας. Επίσης εμφανίζεται μικρή

εκμετάλλευση του υλικού. Τέλος, ο αργός ρυθμός παραγωγής και η απαίτηση τεχνικής δεξιοτήτας και εμπειρίας από τον εργάτη είναι ακόμη δύο μειονεκτήματα αυτής της μεθόδου.

### 3.4.2 Σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας

Η σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας είναι η κατεργασία κατά την οποία θλιπτικά φορτία ασκούνται σε όλη την επιφάνεια του προς κατεργασία μετάλλου το οποίο βρίσκεται εντός ειδικά διαμορφωμένου καλουπιού. Το προς κατεργασία υλικό καταλαμβάνει όλο τον διαθέσιμο χώρο της κοιλότητας του καλουπιού. Η κοιλότητα του καλουπιού έχει το σχήμα του τελικού προϊόντος. Πολλές φορές χρησιμοποιείται μια παραλλαγή αυτής της κατηγορίας, η σφυρηλάτηση σε κλειστή μήτρα με προεξοχή. Σε αυτή την κατεργασία το προς κατεργασία υλικό πλεονάζει δηλαδή σε όγκο είναι μεγαλύτερο από την κοιλότητα του καλουπιού. Αυτό συνεπάγεται ότι τμήμα του εξέρχεται εκτός καλουπιού δημιουργώντας μια προεξοχή. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται πολύ καλύτερη πλήρωση της κοιλότητας του καλουπιού. Ταυτόχρονα, στην εν θερμώ σφυρηλάτηση η συγκεκριμένη προεξοχή δρα και ως πτερύγιο υποβοηθώντας την ψύξη του τελικού προϊόντος. Στο σχήμα 3.7 φαίνεται η σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας επάνω και η σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας με προεξοχή κάτω.



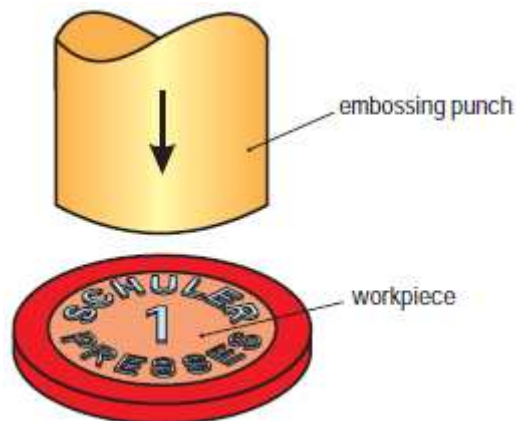
Σχήμα 3.7: Σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας και σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας με προεξοχή<sup>171</sup>

Η σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας παρουσιάζει αρκετά πλεονεκτήματα σε σχέση με την σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας. Πρώτο από αυτά τα πλεονεκτήματα είναι η πολύ καλύτερη αξιοποίηση του προς κατεργασία υλικού. Δεύτερο είναι η επίτευξη πολύ μεγαλύτερης διαστατικής ακρίβειας και πολύ καλύτερων ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος.

Ταυτόχρονα επιτυγχάνεται πολύ μεγάλος ρυθμός παραγωγής και καλύτερη παραγωγικότητα των προϊόντων. Υπάρχει όμως και μια σειρά μειονεκτημάτων με κυριότερο το πολύ υψηλό κόστος, ειδικά εάν είναι για την παραγωγή μεμονωμένων τεμαχίων. Επίσης η κατεργασία με σφυρηλάτηση σε κλειστή μήτρα δεν αποκλείει την αναγκαιότητα ύπαρξης δευτερογενούς κατεργασίας για βελτίωση κάποιων εκ των ιδιοτήτων του τελικού προϊόντος.

### 3.4.3 Τύπωση

Η τύπωση προσομοιάζει περισσότερο την σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας. Συγκεκριμένα το υλικό βρίσκεται δέχεται θλιπτικές δυνάμεις από ένα εργαλείο χωρίς να βρίσκεται εντός κάποιας μήτρας. Το εργαλείο αυτό συνήθως φέρει και το αποτύπωμα αυτού που θέλουμε να αναγράφεται στο νόμισμα. Αυτή η κατεργασία χρησιμοποιείται κατά βάση στην παραγωγή νομισμάτων. Μια δεύτερη εφαρμογή της είναι η παραγωγή μεταλλίων. Η αυτοματοποίηση της παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε πολύ μεγάλους ρυθμούς παραγωγής νομισμάτων. Στο σχήμα 3.8 φαίνεται διαγραμματικά η κατεργασία της τύπωσης. <sup>[5], [7], [9]</sup>



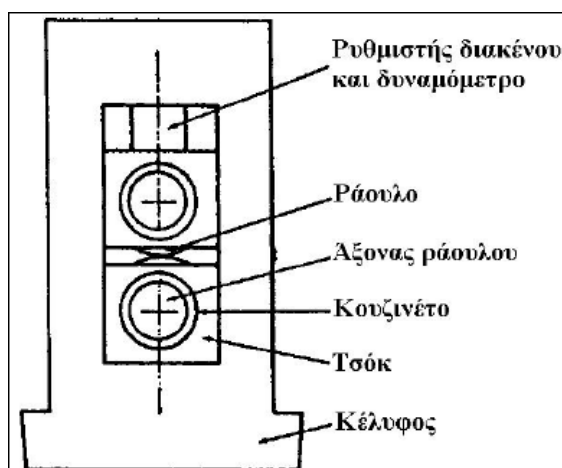
Σχήμα 3.8: Κατεργασία τύπωσης <sup>[9]</sup>

### 3.5 Εργαλειομηχανές

Οι εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούνται για τις κατεργασίες διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού είναι κυρίως τριών τύπων. Η πρώτη είναι τα έλαστρα που χρησιμοποιούνται στην κατεργασία της έλασης. Η δεύτερη είναι οι πρέσες που χρησιμοποιούνται στις κατεργασίες της διέλασης και της σφυρηλάτησης. Τρίτη κατηγορία είναι οι σφύρες που χρησιμοποιούνται στην κατεργασία της σφυρηλάτησης. Στις επόμενες παραγράφους θα δούμε ενδελεχέστερα αυτές τις κατηγορίες των εργαλειομηχανών.

### 3.5.1 Έλαστρα

Τα έλαστρα είναι οι εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία της έλασης. Αποτελούνται από περιστρεφόμενα ράουλα. Τα ράουλα αυτά περιστρέφονται με άξονες οι οποίοι εδράζονται σε κουζινέτα. Οι άξονες λαμβάνουν κίνηση από ένα ηλεκτροκινητήρα με την παρεμβολή συνήθως ενός μειωτήρα. Όταν απαιτείται μεγάλη παραγωγή τότε προτιμάται η έλαση εν σειρά όπου τα έλαστρα τοποθετούνται διαδοχικά και το προς κατεργασία τεμάχιο διέρχεται από όλα. Με αυτό τον τρόπο μειώνεται βαθμιαία το πάχος του. Στο σχήμα 3.9 παρουσιάζεται μια τυπική διάταξη ενός ελάστρου.



Σχήμα 3.9: Τυπική εργαλειομηχανή έλαστρο <sup>14)</sup>

Τα ράουλα είναι το εξάρτημα στο οποίο λαμβάνει χώρα η κατεργασία της έλασης. Είναι συνήθως χαλύβδινα κυλινδρικά τύμπανα. Συνήθως έχουν ομοιόμορφη διατομή αλλά πιθανόν να έχουν και κάποια ειδική μορφή έτσι ώστε να αποδώσουν το επιθυμητό σχήμα στο τελικό προϊόν. Σε ένα έλαστρο δύναται να συναντήσουμε ράουλα είτε με οριζόντιο άξονα είτε με κατακόρυφο. Τα ράουλα με οριζόντιο άξονα είναι αυτά που είναι υπεύθυνα για την πλαστική παραμόρφωση του υλικού. Αντίθετα, τα ράουλα με κατακόρυφο άξονα είναι βοηθητικά, χρησιμοποιούνται μόνο για τον έλεγχο του πλάτους του τελικού προϊόντος και δεν συνεισφέρουν στην πλαστική παραμόρφωση.

Τα έλαστρα μπορούν να χωριστούν σε διάφορες κατηγορίες αναλόγως του αριθμού των ραούλων και της διάταξης που βρίσκονται αυτά. Έτσι μπορούν να διακριθούν οι παρακάτω κατηγορίες:

- Έλαστρο δύο ραούλων: Είναι η πιο απλή εκδοχή ελάστρου.
- Έλαστρο δύο ραούλων με αναστροφόμενη κίνηση: Με αναστροφή της κίνησης των ραούλων εξασφαλίζει περαιτέρω μείωση τη διατομής του υλικού.

- Έλαστρο τριών ραούλων: Το μεσαίο ράουλο περιστρέφεται μόνο του εξαιτίας της τριβής, στοχεύει στην περαιτέρω μείωση της διατομής του υλικού.
- Έλαστρο τεσσάρων ραούλων: Δύο μεγάλα ράουλα επενεργούν υποστηρικτικά στα δύο μικρότερης διαμέτρου ενεργά ράουλα. Με αυτό τον τρόπο δεν υπάρχει κάμψη των ραούλων από τα φορτία έλασης και έτσι εξοικονομείται ενέργεια και μπορεί να μειωθεί πολύ περισσότερο η διατομή του προς κατεργασία τεμαχίου.
- Έλαστρο τύπου cluster: Κάθε ενεργό ράουλο στηρίζεται από δύο ράουλα αντιστήριξης μεγαλύτερης διαμέτρου. Κάθε ράουλο αντιστήριξης στηρίζεται από άλλα δύο ράουλα αντιστήριξης ακόμη μεγαλύτερης διαμέτρου. Με αυτό τον τρόπο δύναται να μειωθεί πολύ το πάχος του υλικού. Για αυτό τον λόγο αυτά τα έλαστρα χρησιμοποιούνται για την κατεργασία πολύ λεπτών ελασμάτων.

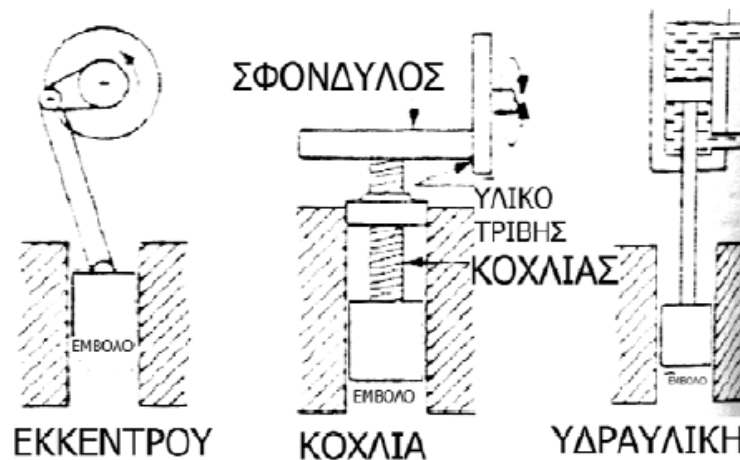
### 3.5.2 Πρέσες

Οι πρέσες είναι εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούνται για την διέλαση και την σφυρηλάτηση. Στοχεύουν στην μετάδοση πίεσης σε ένα έμβολο ώστε αυτό με την σειρά του να οδηγήσει στην μορφοποίηση του προς κατεργασία υλικού. Οι πρέσες είναι είτε μηχανικές είτε υδραυλικές, αναλόγως του τρόπου με τον οποίο μεταδίδεται η κίνηση στο έμβολο.

Οι μηχανικές πρέσες μεταφέρουν την κίνηση του κινητήρα τους στο έμβολο με ένα σύστημα διωστήρα στροφάλου. Το έμβολο, αλλιώς και ωστική κεφαλή, διανύει σε αυτή την περίπτωση μια καθορισμένη διαδρομή και διαμορφώνει το αντικείμενο μέσα στην μήτρα ή το σπρώχνει να διαπεράσει την μήτρα. Οι μηχανικές πρέσες χωρίζονται σε τρεις επιμέρους κατηγορίες αναλόγως του τρόπου με τον οποίο μεταφέρουν την κίνηση. Η πρώτη κατηγορία είναι οι πρέσες έκκεντρο που χρησιμοποιούν ένα έκκεντρο για μεταφορά της κίνησης. Χρησιμοποιούνται σε μικρού και μεσαίου μεγέθους πρέσες και δίδουν πολύ καλά αποτελέσματα καθώς έχουν την δυνατότητα πολύ καλής ρύθμισης του ύψους. Δεύτερη κατηγορία είναι οι πρέσες στροφάλου που χρησιμοποιούν στρόφαλο για μεταφορά της κίνησης. Χρησιμοποιούνται σε μεγάλου μεγέθους πρέσες και φέρουν πολύ μεγάλη δύναμη. Τελευταία κατηγορία μηχανικών πρεσών είναι οι πρέσες με γόνατο όπου στην θέση που το γόνατο είναι τεντωμένο εμφανίζουν πολύ μεγάλες θλιπτικές δυνάμεις.

Η δεύτερη κατηγορία πρεσών είναι οι υδραυλικές πρέσες. Αυτές έχουν την δυνατότητα να διατηρήσουν σταθερή δύναμη κατά την διαδρομή του εμβόλου. Επίσης μπορεί να ρυθμιστεί έτσι ώστε να υπάρχει μεταβολή στην δύναμη. Στις υδραυλικές πρέσες είναι δυνατή η τοποθέτηση πέραν του ενός εμβόλων έτσι μπορεί να γίνει ευκολότερη η

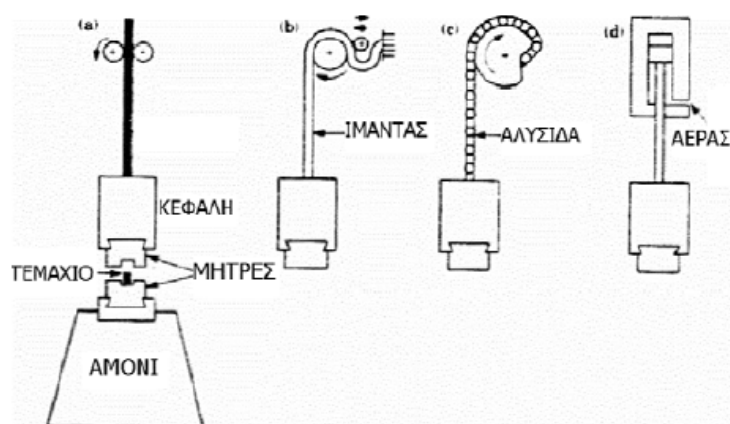
κατεργασία πολύπλοκων αντικειμένων. Στο σχήμα 3.10 παρουσιάζονται τριών ειδών πρέσες, η πρέσα έκκεντρον, η πρέσα στροφάλου και η υδραυλική πρέσα.



Σχήμα 3.10: Διάφορα είδη πρεσών [8]

### 3.5.3 Σφύρες

Οι σφύρες είναι εργαλειομηχανές που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία της σφυρηλάτησης. Η λειτουργία τους βασίζεται στην μετατροπή της δυναμικής ενέργειας ενός βάρους (ωστικής κεφαλής) σε κινητική ενέργεια. Η κινητική ενέργεια με την σειρά της θα μετατραπεί σε έργο παραμόρφωσης κατά την σύγκρουση της ωστικής κεφαλής με το προς κατεργασία τεμάχιο. Αυτές οι σφύρες λειτουργούν με πτώση βάρους και έχουν την δυνατότητα να εκτελούν έως και 240 κτυπήματα ανά λεπτό. Σε κάθε κτύπημα παράγουν έργο παραμόρφωσης ίσο με 1000 kNm. Το έργο αυτό μεταβάλλεται αναλόγως του ύψους της διαδρομής κατά την οποία υπάρχει πτώση του βάρους και αναλόγως του μεγέθους του βάρους. Χρησιμοποιούνται κυρίως για την εν ψυχρώ σφυρηλάτηση και σπανίως για την εν θερμώ σφυρηλάτηση η οποία γίνεται κυρίως από πρέσες. Στο σχήμα 3.11 παρουσιάζονται κάποιες διατάξεις σφυρών. [4], [7], [8], [9]



Σχήμα 3.11: Μηχανικές σφύρες [8]

# 4<sup>ο</sup> ΚΕΦΑΛΑΙΟ

## “ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΥΨΗΛΟΥ ΡΥΘΜΟΥ ΕΝΕΡΓΕΙΑΣ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗΣ”

### 4.1 Γενικά στοιχεία

Οι κατεργασίες υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης (HERF) είναι η τελευταία εξέλιξη της τεχνολογίας στον χώρο των κατεργασιών παραμόρφωσης. Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν όλες αυτές οι κατεργασίες οι οποίες έχουν ως στόχο την διαμόρφωση ενός υλικού και το επιτυγχάνουν με τάσεις που δημιουργούνται από ταχέως μεταβαλλόμενα φορτία. Είναι κατεργασίες που αναπτύχθηκαν τις δεκαετίες του 60, του 70 και του 80 και βρίσκουν μερικές εφαρμογές αλλά δεν μπορούν να θεωρηθούν ως κύριες κατηγορίες διαμόρφωσης υλικών.

Οι κυριότερες κατεργασίες υψηλού ρυθμού ενέργειας είναι η ηλεκτρομαγνητική διαμόρφωση, η ηλεκτροϋδραυλική διαμόρφωση και η εκρηκτική διαμόρφωση. Εκτός από αυτές τις τρεις κατεργασίες υπάρχει πλειάδα άλλων κατεργασιών, όμως αυτές είναι οι σημαντικότερες. Οι δύο πρώτες είναι ηλεκτρικές μέθοδοι. Σε αυτές οι τάσεις παραμόρφωσης προέρχονται από τη μετατροπή ηλεκτρικής ενέργειας σε χρονικό διάστημα της τάξεως του μs. Αυτή η ηλεκτρική ενέργεια βρίσκεται αποθηκευμένη σε πυκνωτές μέχρι να χρησιμοποιηθεί. Η τρίτη μέθοδος είναι εκρηκτική. Σε αυτή την μέθοδο η τάση παραμόρφωσης προέρχεται από την έκλυση της χημικής ενέργειας του εκρηκτικού.

Στις κατεργασίες υψηλού ρυθμού ενέργειας υπάρχει μια διαφοροποίηση εν συγκρίσει με τις κατεργασίες των προηγούμενων κεφαλαίων. Σε αυτές τις κατεργασίες οι τάσεις δεν οφείλονται μόνο στα φορτία που ασκούνται στο προς κατεργασία υλικό. Υπάρχει και μια δεύτερη συνιστώσα των τάσεων, προερχόμενη από τις αδρανειακές δυνάμεις του υλικού. Έτσι πλέον υπάρχει ομοιόμορφη κατανομή των τάσεων στο προς κατεργασία υλικό και το αποτέλεσμα είναι διαφορετικό από τις συμβατικές μεθόδους διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού.

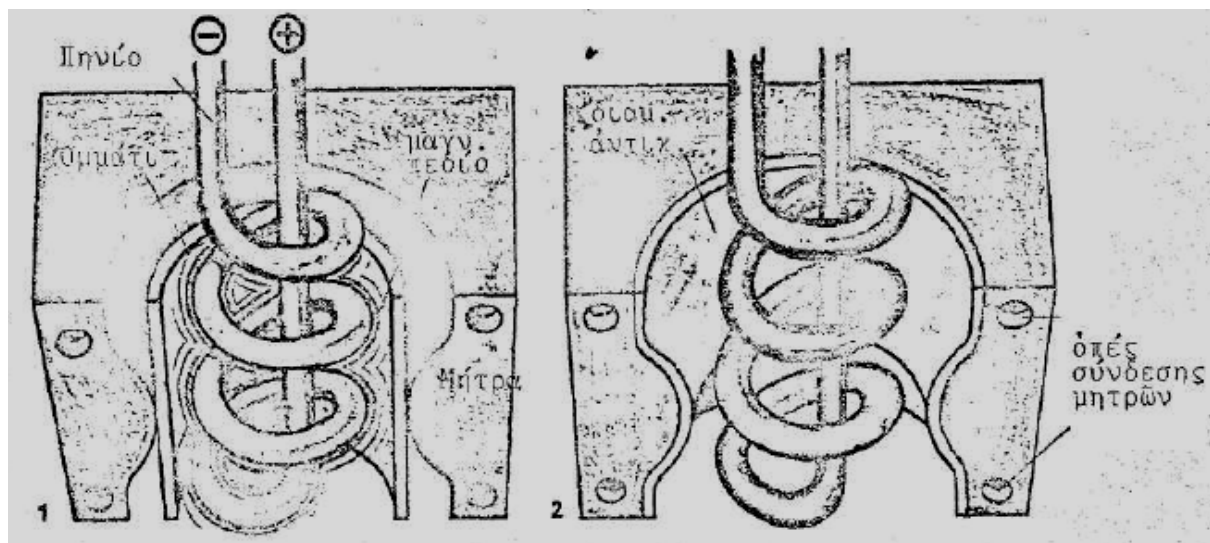
### 4.2 Ηλεκτρομαγνητική διαμόρφωση

Η ηλεκτρομαγνητική διαμόρφωση βρίσκει εφαρμογές κυρίως στην διαμόρφωση μετάλλων και κραμάτων τα οποία είναι και καλοί αγωγοί του ηλεκτρισμού και εμφανίζουν μεγάλη ολκιμότητα. Τα συνηθέστερα μέταλλα στα οποία εφαρμόζεται η ηλεκτρομαγνητική

διαμόρφωση είναι το αλουμίνιο και ο χαλκός και φυσικά τα κράματά τους. Σπανιότερα η ηλεκτρομαγνητική διαμόρφωση βρίσκει εφαρμογές και σε κράματα χαλύβων και τιτανίου.

Για την εφαρμογή της ηλεκτρομαγνητικής διαμόρφωσης απαιτείται η συσσώρευση ηλεκτρικής ενέργειας. Για αυτό τον λόγο χρησιμοποιείται συστοιχία πυκνωτών οι οποίοι βρίσκονται υπό υψηλή τάση. Με το κλείσιμο του διακόπτη που σημαίνει και την έναρξη της ηλεκτρομαγνητικής διαμόρφωσης η ηλεκτρική ενέργεια των πυκνωτών απελευθερώνεται και τροφοδοτεί ένα πηνίο. Το πηνίο τροφοδοτούμενο με ηλεκτρικό ρεύμα έχει την δυνατότητα να παράγει ισχυρό ηλεκτρομαγνητικό πεδίο μεταβαλλόμενης έντασης.

Η ύπαρξη ενός έντονου μαγνητικού πεδίου έχει ως αποτέλεσμα την δημιουργία δινορευμάτων στην μάζα του προς κατεργασία μετάλλου. Ταυτόχρονα δημιουργεί και αντίστοιχα μαγνητικά πεδία. Αποτέλεσμα της επίδρασης των δύο μαγνητικών πεδίων είναι η βίαιη απόθεση και εκτόνωση του προς κατεργασία υλικού σαν να επρόκειτο για έκρηξη. Η εκτίναξη του προς κατεργασία υλικού συνεπάγεται και την συμπίεσή του πάνω στα τοιχώματα της μήτρας με αποτέλεσμα εν τέλει να παίρνει το σχήμα της. Με αυτό τον τρόπο το προς κατεργασία υλικό παίρνει το τελικό του σχήμα. Στο σχήμα 4.1 φαίνεται το πηνίο εντός της μήτρας. Στον κενό χώρο μεταξύ των δύο τοποθετείται το προς κατεργασία υλικό.



Σχήμα 4.1: Πηνίο και μήτρα ηλεκτρομαγνητικής διαμόρφωσης <sup>[11]</sup>

### 4.3 Ηλεκτροϋδραυλική διαμόρφωση

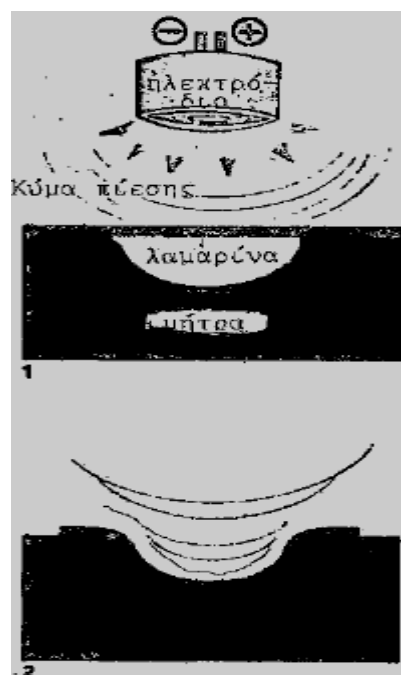
Η ηλεκτροϋδραυλική διαμόρφωση είναι η δεύτερη κατηγορία διαμορφώσεων υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης. Χρησιμοποιεί την ίδια πηγή ενέργειας με την ηλεκτρομαγνητική διαμόρφωση, δηλαδή την ηλεκτρική ενέργεια, η οποία και πάλι ευρίσκεται αποθηκευμένη σε συστοιχία πυκνωτών υψηλής τάσης. Αυτή την φορά όμως η



ηλεκτρική ενέργεια που απελευθερώνεται από τους πυκνωτές μετατρέπεται σε μηχανική και θερμική ενέργεια.

Αυτή η διαδικασία λαμβάνει χώρα με την βοήθεια ενός ισχυρού σπινθήρα. Ο σπινθήρας γίνεται μέσα στο νερό με αποτέλεσμα την μετατροπή του σε πλάσμα ατμού. Η ισχύς μεταφέρεται στην υπόλοιπη μάζα του νερού με κύματα πίεσης σφαιρικά. Εάν αυτά τα κύματα πίεσης συναντήσουν ένα αντικείμενο που παρεμποδίζει την πορεία τους τότε έχουν την ισχύ ώστε να το παραμορφώσουν. Εάν το αντικείμενο αυτό είναι το προς διαμόρφωση τεμάχιο τότε μπορούν να το παραμορφώσουν και να του δώσουν το επιθυμητό σχήμα. Το επιθυμητό σχήμα δίδεται από μια μήτρα στην οποία θα πατήσει επάνω το προς κατεργασία τεμάχιο εξαιτίας της υψηλής πίεσης των κυμάτων πίεσης.

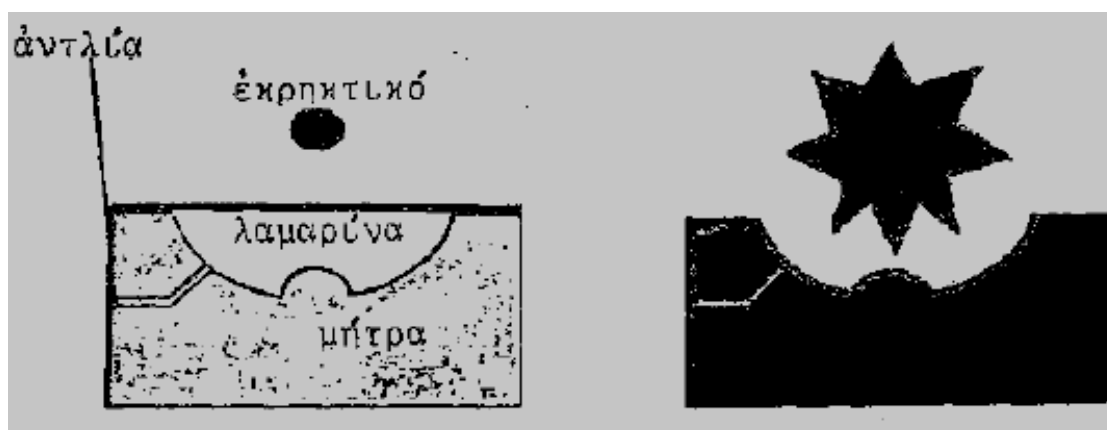
Με αυτή την μέθοδο υπάρχει η δυνατότητα για κατεργασία πολλών αντικειμένων ταυτόχρονα. Επίσης, εν συγκρίσει με την ηλεκτρομαγνητική διαμόρφωση, αυτή την φορά δεν απαιτείται το προς κατεργασία τεμάχιο να είναι καλός αγωγός του ηλεκτρισμού γιατί δεν απαιτείται η ανάπτυξη δινορευμάτων ώστε να προκαλέσουν μαγνητικά πεδία. Σε σύγκριση με τις άλλες μεθόδους υψηλής ενέργειας παραμόρφωσης η συγκεκριμένη είναι οικονομικότερη όμως και πάλι είναι αρκετά ακριβή ώστε να μην είναι επιθυμητή για την κατασκευή μικρού αριθμού τεμαχίων. Αντίθετα είναι άκρως επιθυμητή για παραγωγή μεγάλου αριθμού τελικών προϊόντων. Στο σχήμα 4.2 παρουσιάζεται η ηλεκτροϋδραυλική διαμόρφωση. Στο 1 φαίνεται η δημιουργία των κυμάτων πίεσης στο ρευστό και στο 2 φαίνεται η απόκτηση του σχήματος της μήτρας από την προς κατεργασία λαμαρίνα.



Σχήμα 4.2: Ηλεκτροϋδραυλική διαμόρφωση <sup>[11]</sup>

#### 4.4 Εκρηκτική διαμόρφωση

Η τρίτη και τελευταία μέθοδος υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης που θα αναλύσουμε είναι η εκρηκτική διαμόρφωση. Αυτή η μέθοδος, εν συγκρίσει με τις προηγούμενες, βασίζεται στην χημική ενέργεια του υπό έκρηξη μέσου. Μετά την έκρηξη τα καυσαέρια της έκρηξης δημιουργούν ισχυρά κύματα πίεσης. Τα κύματα αυτά δύναται να παραμορφώσουν αντικείμενα που παρεμβάλλονται στην πορεία τους. Εάν τα αντικείμενα αυτά περιβάλλονται από μια μήτρα τότε θα κολλήσουν επάνω σε αυτή και θα πάρουν το σχήμα της. Στην εκρηκτική διαμόρφωση όμως το σχήμα του τελικού αντικειμένου δεν εξαρτάται μόνο από το σχήμα της μήτρας αλλά εξαρτάται και από το σχήμα του εκρηκτικού. Το σχήμα του εκρηκτικού δίδει διαφορετική μορφή στο κύμα πίεσης της έκρηξης άρα αυτό αλλάζει την μορφή του τελικού προϊόντος. Στο σχήμα 4.3 παρουσιάζεται η εκρηκτική διαμόρφωση.



Σχήμα 4.3: Εκρηκτική διαμόρφωση <sup>[11]</sup>

Αυτή η μέθοδος όμως παρουσιάζει κάποια προβλήματα. Το πρώτο είναι ο υπολογισμός της δύναμης που πρέπει να έχει η έκρηξη ώστε να επιτευχθεί το απαιτούμενο αποτέλεσμα. Το δεύτερο είναι η εστίαση της έκρηξης στο προς διαμόρφωση αντικείμενο. Το τρίτο είναι η ύπαρξη καταστρεπτικών φαινομένων σε μια έκρηξη όπως για παράδειγμα το θερμικό κύμα. Για τον περιορισμό του θερμικού κύματος η διάταξη της εκρηκτικής διαμόρφωσης είναι συνήθως βυθισμένη σε νερό. Αυτό όμως δημιουργεί άλλο πρόβλημα καθώς το νερό μεταξύ του προς κατεργασία αντικειμένου και της μήτρας πρέπει να απομακρυνθεί πριν την έκρηξη.

Παρόλα τα προβλήματα της όμως η εκρηκτική μέθοδος βρίσκει εφαρμογές γιατί έχει ένα πολύ μεγάλο πλεονέκτημα, την μηδενική ύπαρξη μηχανημάτων για την εφαρμογή της. Αυτό το πλεονέκτημα την καθιστά ιδανική για επιτόπια διαμόρφωση μεγάλων σε μέγεθος

αντικειμένων των οποίων η μεταφορά είναι πολύ δύσκολη. Επίσης έχει σχετικά μικρό κόστος, το μεγαλύτερο ποσοστό του κόστους είναι το κόστος κατασκευής της μήτρας. Λόγω του χαμηλού κόστους είναι οικονομικά αποδεκτή και η διαμόρφωση μικρού αριθμού τεμαχίων με την εκρηκτική διαμόρφωση.

## ΕΠΙΛΟΓΟΣ - ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Η παρούσα εργασία εστίασε στις μηχανουργικές κατεργασίες με παραμόρφωση, δηλαδή στις κατεργασίες κατά τις οποίες δεν υπάρχει αφαίρεση υλικού αλλά υπάρχει μόνο πλαστική παραμόρφωση. Αποτέλεσμα όλων αυτών των κατεργασιών που παρουσιάστηκαν σε αυτή την εργασία είναι η μεταβολή του σχήματος των υλικών και με όποιες μεταβολές συνεπάγεται αυτό στις ιδιότητές του χωρίς όμως να μεταβληθεί η μάζα του.

Οι κατεργασίες παραμόρφωσης χωρίζονται σε δύο μεγάλες κατηγορίες. Η πρώτη κατηγορία αφορά τις κατεργασίες παραμόρφωσης που αφορούν τα συμπαγή υλικά. Η δεύτερη κατηγορία αφορά τις κατεργασίες παραμόρφωσης που αφορούν τα ελάσματα. Τέλος, υπάρχει και μια τρίτη κατηγορία, οι κατεργασίες με υψηλή ενέργεια παραμόρφωσης, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως σε εφαρμογές μεγάλου μεγέθους που δεν μπορούν να μετακινηθούν. Σε βιομηχανικές μονάδες αυτές οι κατεργασίες χρησιμοποιούνται από πολύ λίγο έως καθόλου.

Από την παρούσα εργασία μπορεί να εξαχθεί μια σειρά συμπερασμάτων. Τα σημαντικότερα είναι τα ακόλουθα:

- Η πλαστική παραμόρφωση μπορεί να λάβει χώρα εν θερμώ ή εν ψυχρώ, αναλόγως των ιδιοτήτων που θέλουμε να επιτευχθούν, των δυνάμεων που απαιτεί η κατεργασία και της ευκολίας ή δυσκολίας κάθε μεθόδου.
- Οι κατεργασίες διαμόρφωσης ελάσματος είναι αρκετές σε αριθμό με τις σημαντικότερες να είναι η διάτρηση – απότμηση, η κάμψη και η κοίλανση. Οι κατεργασίες αυτές είναι οι σημαντικότερες κατεργασίες με τις οποίες μπορούμε να διαμορφώσουμε ελάσματα στα διάφορα, επιθυμητά σχήματα.
- Η κατεργασία της κάμψης πραγματοποιείται με εργαλειομηχανές κάμψης που ονομάζονται στράντζες ή στραντζόπρες αναλόγως του αν συνυπάρχει και η άσκηση πίεσης ταυτόχρονα με την κάμψη.
- Οι κατεργασίες της διάτρησης – απότμησης και της κοίλανσης λαμβάνουν χώρα σε πρέσες, είτε μηχανικές είτε υδραυλικές.
- Οι κατεργασίες διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού επίσης είναι αρκετές σε αριθμό, σημαντικότερες εξ αυτών είναι η έλαση, η διέλαση, η ολκή και η σφυρηλάτηση. Οι κατεργασίες αυτές χρησιμοποιούνται σε πλειάδα εφαρμογών, από την παραγωγή ράβδων χάλυβα, την παραγωγή συρμάτων, την παραγωγή σωλήνων έως και την παραγωγή νομισμάτων.

- Η διεργασία της έλασης λαμβάνει χώρα σε εργαλειομηχανές οι οποίες ονομάζονται έλαστρα. Μάλιστα, στις περισσότερες των περιπτώσεων γίνεται εν θερμώ και το υπό κατεργασία υλικό δεν κατεργάζεται μόνο από ένα έλαστρο αλλά από μια σειρά αρκετών ελάστρων.
- Οι κατεργασίες της διέλασης, της ολκής και της σφυρηλάτησης λαμβάνουν χώρα σε εργαλειομηχανές οι οποίες ονομάζονται πρέσες και μπορούν να είναι είτε μηχανικές, είτε υδραυλικές, αναλόγως του τρόπου με τον οποίο μεταφέρεται η παραγόμενη πίεση στο έμβολο.
- Οι κατεργασίες της σφυρηλάτησης μπορούν να γίνουν και με κάποιες άλλες εργαλειομηχανές οι οποίες ονομάζονται σφύρες και έχουν την δυνατότητα να επιφέρουν συνεχόμενα χτυπήματα υψηλής ισχύος στο προς κατεργασία τεμάχιο.
- Οι κατεργασίες υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης περιλαμβάνουν τις κατεργασίες ηλεκτρομαγνητικής, ηλεκτροϋδραυλικής και εκρηκτικής διαμόρφωσης, χωρίς όμως να βρίσκουν μεγάλες εφαρμογές.

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. ΤΕΙ Κρήτης, «Κατεργασίες με παραμόρφωση», Σημειώσεις μαθήματος, ΤΕΙ Κρήτης, Παράρτημα Χανίων, Τμήμα Τεχνολογίας Συστημάτων Διαχείρισης Φυσικών Πόρων. Λήψη από:  
<http://dml.chania.teicrete.gr/mathimata/Simeiwseis/Kataskeuastikes/4-FORM.pdf>
2. ΤΕΙ Κρήτης, «Στοιχεία μορφοποίησης υλικών», Σημειώσεις μαθήματος, ΤΕΙ Κρήτης, Παράρτημα Χανίων, Τμήμα Τεχνολογίας Συστημάτων Διαχείρισης Φυσικών Πόρων. Λήψη από:  
<http://dml.chania.teicrete.gr/mathimata/Simeiwseis/Kataskeuastikes/4-FORM.pdf>
3. Ι. Κεχαγιάς, «Διέλαση», Σημειώσεις μαθήματος Εισαγωγή στις μηχανικές κατεργασίες, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Λήψη από:  
[http://www.mie.uth.gr/ekp\\_yliko/07-extrusion.pdf](http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/07-extrusion.pdf)
4. Ι. Κεχαγιάς, «Έλαση», Σημειώσεις μαθήματος Εισαγωγή στις μηχανικές κατεργασίες, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Λήψη από:  
[http://www.mie.uth.gr/ekp\\_yliko/06-Rolling.pdf](http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/06-Rolling.pdf)
5. Β. Δρακόπουλος, «Επαγγελματικός κίνδυνος στη βιομηχανία μετάλλου και μεταλλικών προϊόντων», Ελληνικό Ινστιτούτο Υγιεινής και Ασφάλειας της Εργασίας, Αθήνα, 2007.
6. Ι. Κεχαγιάς, «Ολκή», Σημειώσεις μαθήματος Εισαγωγή στις μηχανικές κατεργασίες, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Λήψη από:  
[http://www.mie.uth.gr/ekp\\_yliko/08-Drawing.pdf](http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/08-Drawing.pdf)
7. Ι. Κεχαγιάς, «Σφυρηλάτηση», Σημειώσεις μαθήματος Εισαγωγή στις μηχανικές κατεργασίες, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Λήψη από:  
[http://www.mie.uth.gr/ekp\\_yliko/05-forging.pdf](http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/05-forging.pdf)
8. Γ. Βοσνιάκος, «Κατεργασίες διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού», Παρουσιάσεις μαθήματος Επισκόπηση κατεργασιών διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Λήψη από:  
[http://users.ntua.gr/vosniak/teaching/man\\_tech/23%20bulk%20forming%20B.pdf](http://users.ntua.gr/vosniak/teaching/man_tech/23%20bulk%20forming%20B.pdf)
9. SCHULER GmbH, «Metal Forming handbook», Springer – Verlag, Berlin, 1998.

10. <http://moisiadis-publications.gr/wp-content/uploads/2010/09/ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ-ΣΥΜΠΙΑΓΟΥΣ-ΥΛΙΚΟΥ.pdf>
11. Εργαστήριο μηχανολογικού σχεδιασμού, «Μέθοδοι υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης», Σημειώσεις μαθήματος Τεχνολογία Παραγωγής, Δημοκρίτειο Πανεπιστήμιο Θράκης, Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης. Λήψη από: [http://medilab.pme.duth.gr/book/kefalaio\\_4/4\\_8\\_herf.pdf](http://medilab.pme.duth.gr/book/kefalaio_4/4_8_herf.pdf)
12. Γ. Βοσνιάκος, «Κατεργασίες διαμόρφωσης ελάσματος», Παρουσιάσεις μαθήματος Επισκόπηση κατεργασιών διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Λήψη από: [http://users.ntua.gr/vosniak/teaching/man\\_tech/22%20sheet%20forming%20processes.pdf](http://users.ntua.gr/vosniak/teaching/man_tech/22%20sheet%20forming%20processes.pdf)
13. Ι. Κεχαγιάς, «Κάμψη», Σημειώσεις μαθήματος Εισαγωγή στις μηχανικές κατεργασίες, Πανεπιστήμιο Θεσσαλίας, Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών. Λήψη από: [http://www.mie.uth.gr/ekp\\_yliko/12-bending.pdf](http://www.mie.uth.gr/ekp_yliko/12-bending.pdf)

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

Σχήμα 1.1: Διάγραμμα τάσεων – παραμορφώσεων <sup>[1]</sup> ..... 10

Σχήμα 2.1: Διαδικασία απότμησης <sup>[1]</sup> .....	15
Σχήμα 2.2: Ελεύθερη κάμψη <sup>[13]</sup> .....	16
Σχήμα 2.3: Κάμψη V <sup>[13]</sup> .....	16
Σχήμα 2.4: Κάμψη προβόλου <sup>[13]</sup> .....	17
Σχήμα 2.5: Διπλή κάμψη <sup>[13]</sup> .....	17
Σχήμα 2.6: Περιτροφική κάμψη <sup>[13]</sup> .....	18
Σχήμα 2.7: Κάμψη με χρήση ραούλων <sup>[9]</sup> .....	18
Σχήμα 2.8: Διατάξεις κοίλανσης με και χωρίς συγκράτηση <sup>[1]</sup> .....	19
Σχήμα 2.9: Μορφές ανακοίλανσης <sup>[12]</sup> .....	21
Σχήμα 2.10: Στράντζα και τα κυριότερα μέρη της <sup>[13]</sup> .....	22
Σχήμα 2.11: Τυπική δομή μιας στραντζόπρεσας <sup>[13]</sup> .....	23
Σχήμα 3.1: Φάσεις έλασης και κατηγορίες παραγόμενων προϊόντων <sup>[4]</sup> .....	25
Σχήμα 3.2: Διακύμανση φορτίου ανά φάση της κατεργασίας της διέλασης <sup>[3]</sup> .....	27
Σχήμα 3.3: Σχηματική αναπαράσταση κάθε υποκατηγορίας διέλασης <sup>[3]</sup> .....	28
Σχήμα 3.4: Τυπική διάταξη συρματοποίησης <sup>[6]</sup> .....	30
Σχήμα 3.5: Τυπική διάταξη ελκυσμού ράβδου <sup>[6]</sup> .....	30
Σχήμα 3.6: Σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας <sup>[7]</sup> .....	33
Σχήμα 3.7: Σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας και σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας με προεξοχή <sup>[7]</sup> .....	34
Σχήμα 3.8: Κατεργασία τύπωσης <sup>[9]</sup> .....	35
Σχήμα 3.9: Τυπική εργαλειομηχανή έλαστρο <sup>[4]</sup> .....	36
Σχήμα 3.10: Διάφορα είδη πρεσών <sup>[8]</sup> .....	38
Σχήμα 3.11: Μηχανικές σφύρες <sup>[8]</sup> .....	38
Σχήμα 4.1: Πηνίο και μήτρα ηλεκτρομαγνητικής διαμόρφωσης <sup>[11]</sup> .....	40
Σχήμα 4.2: Ηλεκτροϋδραυλική διαμόρφωση <sup>[11]</sup> .....	41
Σχήμα 4.3: Εκρηκτική διαμόρφωση <sup>[11]</sup> .....	42

## ΚΑΤΑΛΟΓΟΣ ΠΙΝΑΚΩΝ

Πίνακας 1: Θερμοκρασίες σφυρηλάτησης τυπικών μετάλλων <sup>[7]</sup> .....	32
--	----

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες .....	3
-------------------	---



Περίληψη.....	4
Abstract .....	5
Πρόλογος.....	6
1 ο Κεφάλαιο “Εισαγωγή – κατεργασίες υλικών” .....	7
1.1 Γενικά στοιχεία κατεργασιών υλικών .....	7
1.2 Πλαστική παραμόρφωση.....	11
1.2.1 Παραμόρφωση εν ψυχρώ και εν θερμώ.....	11
1.2.2 Είδη κατεργασιών με παραμόρφωση.....	13
2 ο Κεφάλαιο “Κατεργασίες διαμόρφωσης ελάσματος” .....	14
2.1 Απότμηση - Διάτρηση .....	14
2.2 Κάμψη .....	16
2.3 Κοίλανση .....	19
2.4 Εργαλειομηχανές.....	22
2.4.1 Καμπτικές μηχανές - στράντζες.....	22
2.4.2 Πρέσες κάμψεως - στραντζόπρες.....	23
3 ο Κεφάλαιο “Κατεργασίες διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού” .....	24
3.1 Έλαση .....	24
3.2 Διέλαση.....	26
3.2.1 Άμεση διέλαση.....	27
3.2.2 Έμμεση διέλαση.....	28
3.2.3 Υδροστατική διέλαση .....	28
3.2.4 Δυναμική διέλαση .....	28
3.3 Ολκή .....	29
3.3.1 Συρματοποίηση .....	30
3.3.2 Ελκυσμός ράβδου.....	31
3.4 Σφυρηλάτηση .....	32
3.4.1 Σφυρηλάτηση ανοικτής μήτρας.....	33
3.4.2 Σφυρηλάτηση κλειστής μήτρας.....	34
3.4.3 Τύπωση.....	35
3.5 Εργαλειομηχανές.....	36
3.5.1 Έλαστρα .....	36
3.5.2 Πρέσες.....	38
3.5.3 Σφύρες.....	39
4 ο Κεφάλαιο “Κατεργασίες υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης” .....	40

4.1	Γενικά στοιχεία .....	40
4.2	Ηλεκτρομαγνητική διαμόρφωση.....	40
4.3	Ηλεκτροϋδραυλική διαμόρφωση .....	41
4.4	Εκρηκτική διαμόρφωση .....	43
	Επίλογος-Συμπεράσματα.....	44
	Βιβλιογραφία.....	46
	Κατάλογος σχημάτων.....	48
	Κατάλογος πινάκων .....	48
	Περιεχόμενα .....	49

