



ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕ ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Τα διάφορα μηχανολογικά εξαρτήματα παίρνουν την αρχική τους μορφή κατά κανόνα με μεθόδους μορφοποίησης (ιδιαίτερα χύτευση) χωρίς αφαίρεση υλικού, αφήνοντας μικρή ποσότητα υλικού για την τελική κατεργασία. Η τελική κατεργασία στη διαμόρφωση ενός εξαρτήματος μπορεί να επιτευχθεί κυρίως με μεθόδους αφαίρεσης υλικού, μια και προκύπτει με τέτοιες κατεργασίες μεγαλύτερη ακρίβεια στις διαστάσεις και καλύτερη ποιότητα επιφάνειας. Με τη μορφοποίηση με παραμόρφωση επιτυγχάνεται η διαμόρφωση ενός προϊόντος χωρίς μεγάλη απώλεια υλικού. Στο σχήμα 1.1 φαίνονται διάφορα αντικείμενα, που έχουν παραχθεί με κατεργασίες διαμόρφωσης.



Σχήμα 1.1 : Αντικείμενα που έχουν παραχθεί με διαδικασίες διαμόρφωσης

Με τις κατεργασίες διαμόρφωσης συνήθως παράγονται προϊόντα κοντά στην τελική μορφή τους. Τέλος, με τις κατεργασίες με προσθήκη (συνδέσεις, κολλήσεις, κ.λπ.), παράγονται προϊόντα από διαφορετικά εξαρτήματα, τα οποία συνδέονται μεταξύ τους είτε μόνιμα (συγκολλήσεις, κολλήσεις) είτε προσωρινά (κοχλιοσυνδέσεις).

1.1 Πλαστική παραμόρφωση

Οι σημαντικότερες αλλαγές στις διαδικασίες μορφοποίησης των μετάλλων έγιναν τον 18^ο και 19^ο αιώνα, που άρχισαν να υιοθετούνται οι μηχανικές διεργασίες. Η ανάπτυξη αυτή της τεχνολογίας διαμορφώσεως των μετάλλων είχε ως αποτέλεσμα την έρευνα σε νέα υλικά, στα οποία μπορούσαν να εφαρμοσθούν οι νέες τεχνικές και αντίστοιχα την ανακάλυψη νέων υλικών που οδήγησε στην ανάπτυξη νέων μεθόδων διαμόρφωσης.

Κατά τη διαμόρφωση, το μέταλλο παραμορφώνεται. Αυτό έχει ως συνέπεια ότι η ανάλυση της διαδικασίας της διαμόρφωσης απαιτεί την ανάλυση των **τάσεων** και των **παραμορφώσεων**. (βλ. Αντοχή των Υλικών). Η τάση, που είναι η ανά μονάδα επιφάνειας δύναμη, ορίζεται ως το διάνυσμα σε ένα σημείο μίας διατομής με μέτρο ίσο με τη δύναμη προς την επιφάνεια. Οι τιμές των τάσεων, ορθών ή διαμηθικών, είναι καθοριστικές για την επιλογή του κατάλληλου υλικού σε κάποια μηχανολογική κατασκευή. Η μέγιστη ορθή τάση αποτελεί κριτήριο ελέγχου για

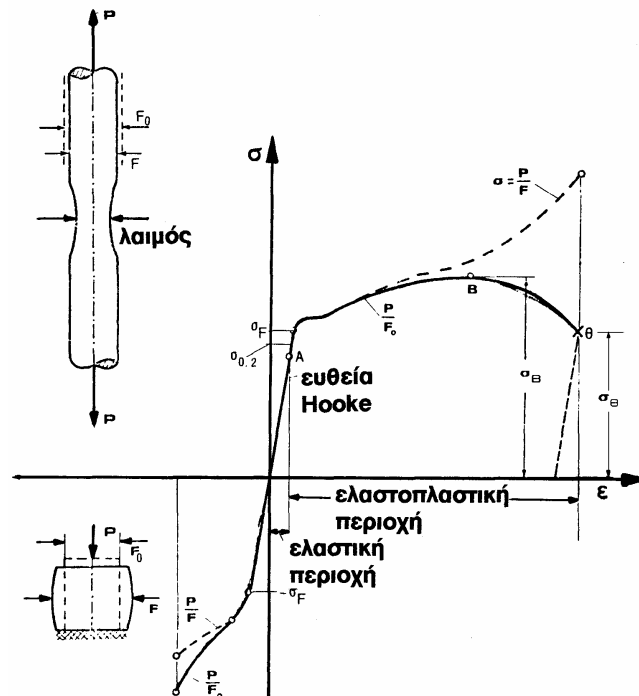
τα ψαθυρά υλικά, μια και αυτά σπάνε κάθετα στη διεύθυνση της ορθής τάσης. Αντίθετα η μέγιστη διατμητική τάση λαμβάνεται ως κριτήριο για τα όλκιμα υλικά που διαρρέουν πριν αστοχήσουν.

1.1.1 Παραμορφώσεις

Παραμόρφωση σε ένα στερεό σώμα είναι το σύνολο των μετατοπίσεων όλων των σημείων ενός σώματος, που οδηγούν σε αλλαγή της γεωμετρίας του. Αντίστοιχα με τις τάσεις, στις παραμορφώσεις διακρίνουμε τις ορθές παραμορφώσεις, που συμβολίζονται με το γράμμα ϵ και εκφράζουν την ανά μονάδα μήκους επιμήκυνση ή βράχυνση μιας στοιχειώδους ευθείας του σώματος, και τις διατμητικές παραμορφώσεις που συμβολίζονται με το γράμμα τ και εκφράζουν τη στρέβλωση της γωνίας, που σχηματίζουν δύο αρχικά κάθετες μεταξύ τους ευθείες.

Στο σχήμα 1.2 παρουσιάζεται το διάγραμμα των τάσεων και των παραμορφώσεων για την περίπτωση ενός κοινού χάλυβα. Το διάγραμμα αυτό προκύπτει από το πείραμα εφελκυσμού. Όπως παρατηρείται από το σχήμα, διακρίνονται δύο κύριες περιοχές, η ελαστική και η ελαστοπλαστική περιοχή. Στην ελαστική περιοχή, η οποία οριοθετείται από το όριο αναλογίας σ_A , ισχύει ο νόμος του **Hooke**, όπου η τάση και η παραμόρφωση έχουν μεταξύ τους την παρακάτω γραμμική σχέση :

$$\sigma = \epsilon \cdot E \quad (1)$$



Σχήμα 1.2 : Διάγραμμα τάσεων παραμορφώσεων

όπου με **E** συμβολίζεται το **μέτρο ελαστικότητας** ή **μέτρο του Young**, το οποίο για κάθε υλικό έχει διαφορετική αλλά σταθερή τιμή (για το χάλυβα $E = 1.85 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$ έως $2.15 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$). Στον πίνακα Π.1.1 παρουσιάζονται για διάφορα υλικά τα αντίστοιχα μέτρα ελαστικότητας και διάφορες άλλες χαρακτηριστικές σταθερές.

| Υλικό | Σύμβολο | Ειδικό βάρος σε θερμοκρασία περιβάλλοντος γ [ρ/cm^3] | Μέτρο ελαστικότητας σε θερμοκρασία περιβάλλοντος E [$10^4 Nmm^{-2}$] | Σταθερά εγκάρσιας παραμόρφωσης ή Λόγος του Poisson ν | Σταθερά θερμικής διαστολής μεταξύ 0° και $100^\circ C$ α [$10^{-6}/^\circ C$] |
|-------------|---------|--|--|---|---|
| Αλουμίνιο | Al | 2,70 | 7,2 | 0,34 | 24,0 |
| Μόλυβδος | Pb | 11,35 | 1,7 | 0,44 | 29,0 |
| Σίδηρος | Fe | 7,86 | 21,6 | 0,28 | 12,0 |
| Χάλυβας | - | 7,85 | 21,0 | 0,28 | 11,0 |
| Χυτοσίδηρος | - | 7,10 - 7,30 | 7,5 - 13,0 | 0,24 - 0,26 | 9,0 |
| Χρυσός | Au | 19,3 | 8,1 | 0,42 | 14,0 |
| Χαλκός | Cu | 8,93 | 12,6 | 0,35 | 16,2 |
| Μπρούτζος | - | 8,73 | 11,1 | 0,35 | 17,0 |
| Μαγνήσιο | Mg | 1,74 | 4,5 | 0,28 | 26,0 |
| Νικέλιο | Ni | 8,90 | 20,5 | 0,31 | 13,0 |
| Ορείχαλκος | - | 8,30 - 8,50 | 9,0 - 10,0 | 0,38 | 18,0 - 19,0 |
| Ψευδάργυρος | Zn | 7,13 | 4,0 - 13,0 | 0,20 - 0,30 | 26,0 |
| Κασσίτερος | Sn | 7,30 | 5,6 | 0,33 | 27,0 |
| Άργυρος | Ag | 10,50 | 8,1 | 0,37 | 20,0 |
| Μπετόν | - | 1,50 - 2,40 | 2,5 - 4,5 | 0,20 | 12,0 |
| Γυαλί | - | 2,20 - 2,60 | 4,0 - 10,0 | 0,19 - 0,28 | 3,0 - 10,0 |

Πίνακας Π.1.1 : Χαρακτηριστικές σταθερές υλικών

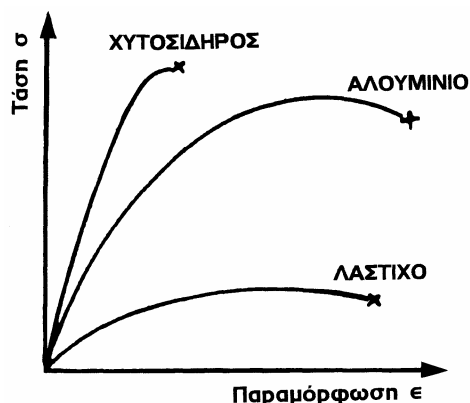
Στο πείραμα του εφελκυσμού εφαρμόζεται αξονική δύναμη σε ένα δοκίμιο προδιαγραμμένης γεωμετρίας. Η αξονική δύναμη επιφέρει μια τριαξονική κατάσταση παραμόρφωσης, όπου οι εγκάρσιες παραμορφώσεις είναι ανάλογες με την αντίστοιχη αξονική, με συντελεστή αναλογίας το **λόγο του Poisson** ή αλλιώς "σταθερά εγκάρσιας παραμόρφωσης", που για διάφορα υλικά παρουσιάζεται επίσης στον πίνακα Π.1.1.

Στην ελαστική περιοχή, το υλικό συμπεριφέρεται αναλογικά και ελαστικά, πράγμα που σημαίνει πως η παραμόρφωση είναι *ανάλογη* της αναπτυσσόμενης τάσης και ταυτόχρονα είναι *ελαστική*, δηλαδή το σώμα επιστρέφει στην αρχική του κατάσταση. Η ελαστικότητα αυτή συνεχίζεται για λίγο ακόμα, πέρα από την ελαστική περιοχή και το όριο αναλογίας μέχρι το όριο ελαστικότητας, και στο δοκίμιο δεν παρατηρούνται μόνιμες παραμορφώσεις. Μετά από αυτή την τάση σ_F το δοκίμιο παρουσιάζει μόνιμες παραμορφώσεις και δεν επανέρχεται πλέον στην αρχική του κατάσταση. Ως όριο διαρροής λαμβάνεται ένα τεχνητό μέγεθος, που αντιστοιχεί σε εκείνη την τάση που επιφέρει μία μετρήσιμη μόνιμη παραμόρφωση. Έτσι, το $\sigma_{0.2}$ που χρησιμοποιείται συχνά, είναι εκείνη η τάση που επιφέρει στο δοκίμιο μόνιμη παραμόρφωση $\epsilon=0.002$ ή 0.2%. Με την αύξηση της τάσης πέρα από το όριο διαρροής, το δοκίμιο συνεχίζει να παραμορφώνεται πλαστικά μέχρι το όριο θραύσης σ_B , όπου η τάση μειώνεται ενώ η παραμόρφωση συνεχίζεται. Το φαινόμενο αυτό συνεχίζεται μέχρι την τάση θραύσης σ_Θ .

1.1.2 Ενδοτράχυνση

Στο σχήμα 1.3 παρουσιάζονται τα διαγράμματα τάσης - παραμόρφωσης για την περίπτωση τριών χαρακτηριστικών υλικών, του χυτοσιδήρου, του αλουμινίου και του λάστιχου. Από το σχήμα γίνεται φανερό πως σε μερικά υλικά η μετάβαση από την ελαστική στην πλαστική περιοχή γίνεται πολύ ομαλά, χωρίς να εμφανίζεται

έντονα το όριο διαρροής. Η αιτία αυτής της συμπεριφοράς είναι η **ενδοτράχυνση** που ξεκινά ιδιαίτερα νωρίς γι' αυτά τα υλικά.



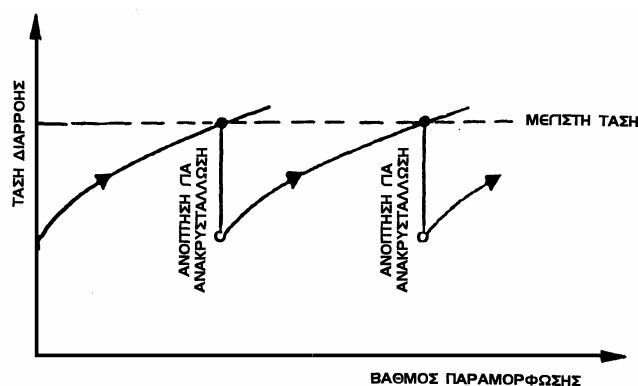
Σχήμα 1.3 : Συμπεριφορά διαφόρων υλικών

Η **ενδοτράχυνση** ή **εργοσκλήρυνση** είναι ένα χαρακτηριστικό φαινόμενο των υλικών, κατά το οποίο η συνεχής αύξηση της παραμόρφωσης απαιτεί ολοένα και μεγαλύτερη αύξηση της τάσης. Το υλικό, το οποίο αναγκάζεται σε παραμόρφωση, αυξάνει την αντίστασή του σε κάθε προσπάθεια αύξησης του ποσού της παραμόρφωσης. Η εργοσκλήρυνση, όπως παρουσιάστηκε, είναι μια διαδικασία, η οποία αντιτίθεται στην παραμόρφωση. Υπάρχουν όμως άλλες διαδικασίες με τη βοήθεια των οποίων επιτυγχάνονται αντίθετα με την εργοσκλήρυνση αποτελέσματα.

1.1.3 Επίδραση συνθηκών παραμόρφωσης

Η επίδραση της θερμοκρασίας στο όριο παραμόρφωσης ενός υλικού είναι πολύ σημαντική. Σε πολλά εξαρτήματα διαφόρων υλικών παρουσιάζεται ένα ανώτερο όριο παραμόρφωσης πέρα από το οποίο το εξάρτημα θα ραγίσει ή θα σπάσει. Με την αύξηση όμως της θερμοκρασίας, μπορούν να ενεργοποιηθούν διεργασίες αποκατάστασης ή διευθέτησης των αταξιών του υλικού, με αποτέλεσμα τη δυνατότητα παραπέρα παραμόρφωσης. Συχνά, το προς παραμόρφωση εξάρτημα θερμαίνεται μέχρι τη θερμοκρασία ανοπτήσεως, πιο πάνω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης και διατηρείται σε αυτή για ορισμένο χρονικό διάστημα. Η ανόπτηση αυτή, στην οποία υποβάλλεται, έχει ως συνέπεια να σχηματίζονται νέοι απαυαμόρφωτοι κόκκοι στο υλικό και ταυτόχρονα να εξαφανίζεται ή να επαναδιευθετείται μεγάλος αριθμός αταξιών, ενώ δημιουργούνται καινούριες με μικρότερο ενεργειακό περιεχόμενο.

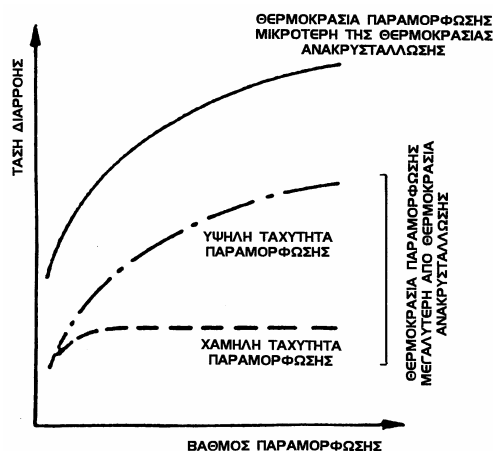
Στο τέλος της ανόπτησης, λόγω των παραπάνω, το εξάρτημα μπορεί να δεχθεί επιπλέον σοβαρή παραμόρφωση, ενώ όλη η διαδικασία μπορεί να επαναληφθεί και άλλες φορές. Στο σχήμα 1.4 παρουσιάζεται αυτή η επίδραση της διαδικασίας της ανόπτησης στη δυνατότητα παραμόρφωσης. Όπως φαίνεται από το σχήμα, οι ενδιάμεσες ανοπτήσεις και παραμορφώσεις δίνουν τη δυνατότητα μεγάλης συνολικής παραμόρφωσης, χωρίς όμως να έχει ξεπεραστεί το ανώτερο επιτρεπτό όριο.



Σχήμα 1.4 : Επίδραση της ανόπτησης στην επιτρεπόμενη παραμόρφωση

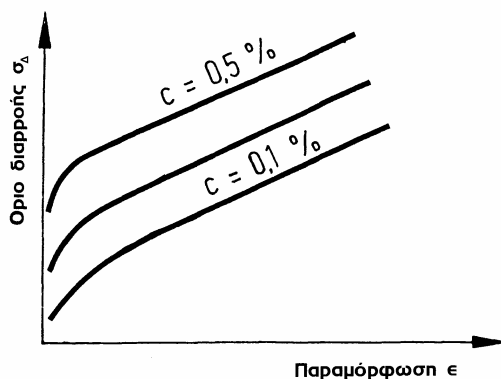
Γενικά, η αύξηση της θερμοκρασίας σε ένα υλικό επιφέρει τη μείωση του ορίου διαρροής, ιδιαίτερα σε θερμοκρασίες πάνω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης, όπου και εκτελούνται οι κατεργασίες διαμορφώσεως των μετάλλων εν θερμώ. Ταυτόχρονα, τις περισσότερες φορές, με την αύξηση της θερμοκρασίας αυξάνεται η ολκιμότητα του μετάλλου, ενώ το όριο ελαστικότητάς του μειώνεται. Η διαμόρφωση των μετάλλων εν θερμώ προαπαιτεί τη βέλτιστη επιλογή της θερμοκρασίας εκτέλεσης της διεργασίας, θερμοκρασία που πρέπει να είναι τέτοια ώστε να επιτυγχάνεται σημαντική πτώση του ορίου διαρροής σε συνδυασμό με επαρκή ολκιμότητα.

Ανάλογα με το διαμορφούμενο μέταλλο αλλά και τις συνθήκες εκτέλεσης της διεργασίας διαμόρφωσης, το μέταλλο παραμορφώνεται με διαφορετική ταχύτητα. Η επίδραση αυτής της ταχύτητας επί του ορίου διαρροής είναι σημαντική σε υψηλές θερμοκρασίες. Στο σχήμα 1.5 παρουσιάζεται η επίδραση της ταχύτητας παραμόρφωσης ανάλογα με τη θερμοκρασία, στο όριο διαρροής του υλικού. Από το σχήμα γίνεται φανερό πως η αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης συνεπάγεται αύξηση του ορίου διαρροής, άρα και της μέγιστης αντοχής του υλικού.



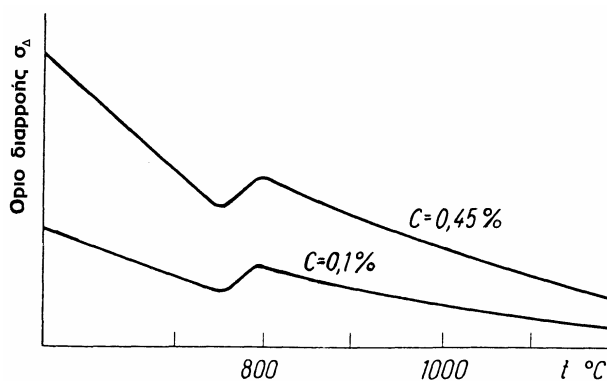
Σχήμα 1.5 : Επίδραση της ταχύτητας παραμόρφωσης στο όριο διαρροής

Η επίδραση της περιεκτικότητας άνθρακα στους χάλυβες στο όριο διαρροής τους είναι εξίσου σημαντική. Στο σχήμα 1.6 παρουσιάζεται η σχέση ορίου διαρροής - παραμόρφωσης για χάλυβες διαφόρων περιεκτικοτήτων σε άνθρακα. Από το σχήμα γίνεται φανερό πως όσο πιο μεγάλη είναι η περιεκτικότητα σε άνθρακα σε ένα χάλυβα, τόσο μεγαλύτερο είναι το όριο διαρροής του.



Σχήμα 1.6 : Επίδραση περιεκτικότητας σε C στο όριο διαρροής χάλυβων σε σχέση με την παραμόρφωση

Η επίδραση της περιεκτικότητας σε άνθρακα για χάλυβες στο όριο διαρροής τους, σε συνάρτηση με τη θερμοκρασία, φαίνεται στο σχήμα 1.7. Στο σχήμα αυτό μπορεί να παρατηρηθεί πως, αυξανόμενης της θερμοκρασίας, το όριο διαρροής μειώνεται σημαντικά μέχρι τους 750°C, ενώ για μεγαλύτερες θερμοκρασίες η μείωση δεν είναι τόσο σημαντική. Επίσης, οι χάλυβες με μεγαλύτερη περιεκτικότητα σε άνθρακα στην ίδια θερμοκρασία έχουν και μεγαλύτερο όριο διαρροής, γεγονός που είχε διαπιστωθεί και από το σχήμα 1.6.



Σχήμα 1.7: Επίδραση περιεκτικότητας σε C στο όριο διαρροής χαλύβων σε συνάρτηση της θερμοκρασίας τους.

1.2 Παραμόρφωση εν θερμώ και εν ψυχρώ

Οι μηχανικές διαμορφώσεις πραγματοποιούνται εν θερμώ ή εν ψυχρώ. Η διαφορά στις δύο αυτές περιπτώσεις είναι η θερμοκρασία στην οποία βρίσκεται το υλικό πριν δεχθεί τη δύναμη παραμόρφωσης. Έτσι, αν το υλικό βρίσκεται σε θερμοκρασία χαμηλότερη από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσής του, τότε λέμε ότι η παραμόρφωση γίνεται **εν ψυχρώ**, ενώ αντίστοιχα σε υψηλότερες θερμοκρασίες από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης λέμε ότι γίνεται **εν θερμώ**. Για τα περισσότερα μέταλλα, η θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης βρίσκεται περίπου στο μισό της θερμοκρασίας στην οποία το υλικό λιώνει, δηλαδή τη θερμοκρασία τήξης.

Οι δύο αυτές περιπτώσεις κατεργασιών διαμόρφωσης παρουσιάζουν πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.

Πλεονεκτήματα εν θερμώ

- Επειδή το υλικό βρίσκεται πάνω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλλωσης δε σκληραίνει από την επίδραση του φορτίου παραμόρφωσης.
- Σε υψηλές θερμοκρασίες το όριο διαρροής του υλικού είναι μικρότερο και κατά συνέπεια το υλικό μπορεί να παραμορφωθεί εντονότερα.
- Επειδή η αντοχή σε διάτμηση μειώνεται σε υψηλές θερμοκρασίες, για την ίδια παραμόρφωση στην εν θερμώ διαμόρφωση απαιτείται λιγότερη δύναμη από ότι στην εν ψυχρώ.

Μειονεκτήματα εν θερμώ

- Μερικά μέταλλα δεν μπορούν να διαμορφωθούν εν θερμώ, επειδή σε υψηλές θερμοκρασίες παρουσιάζουν ευθραυστότητα.
- Λόγω της διαστολής, που γίνεται από τη θερμοκρασία, δεν μπορεί να επιτευχθεί μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις. Ο έλεγχος σε αυτή την περίπτωση της θερμοκρασίας του κομματιού που παραμορφώνεται είναι δύσκολος.
- Η συγκράτηση του τεμαχίου που είναι σε υψηλές θερμοκρασίες είναι δύσκολη.

Πλεονεκτήματα εν ψυχρώ

- Η εν ψυχρώ παραμόρφωση αυξάνει την αντοχή και την επιφανειακή σκληρότητα του κατεργαζόμενου τεμαχίου.
- Αφού δεν υπάρχουν υψηλές θερμοκρασίες, δεν παρουσιάζονται οξειδία στην επιφάνεια του τεμαχίου, με αποτέλεσμα η ποιότητα της επιφάνειάς του να είναι καλύτερη.
- Επιτυγχάνεται καλύτερη ακρίβεια στις τελικές διαστάσεις.
- Είναι εύκολος ο χειρισμός και η συγκράτηση των τεμαχίων.

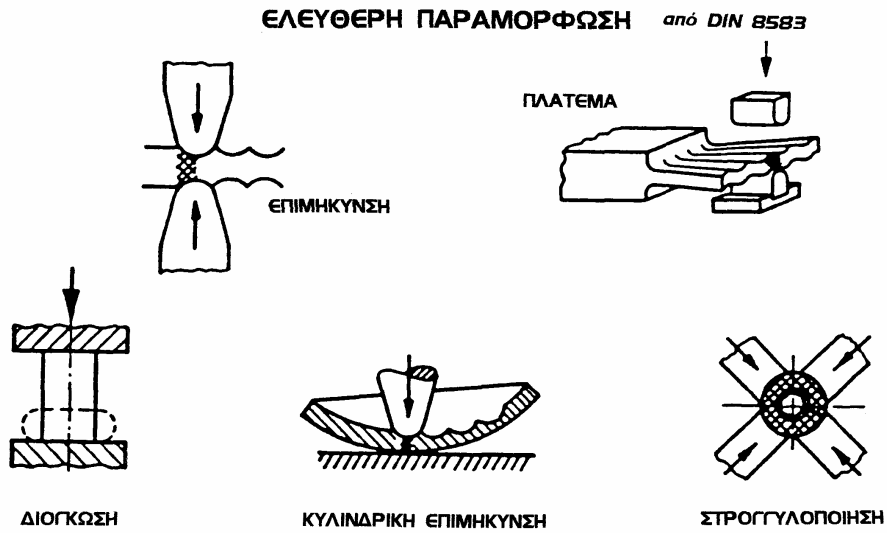
Μειονεκτήματα εν ψυχρώ

- Το υλικό έχει υψηλό όριο διαρροής και απαιτεί περισσότερο φορτίο για να παραμορφωθεί.

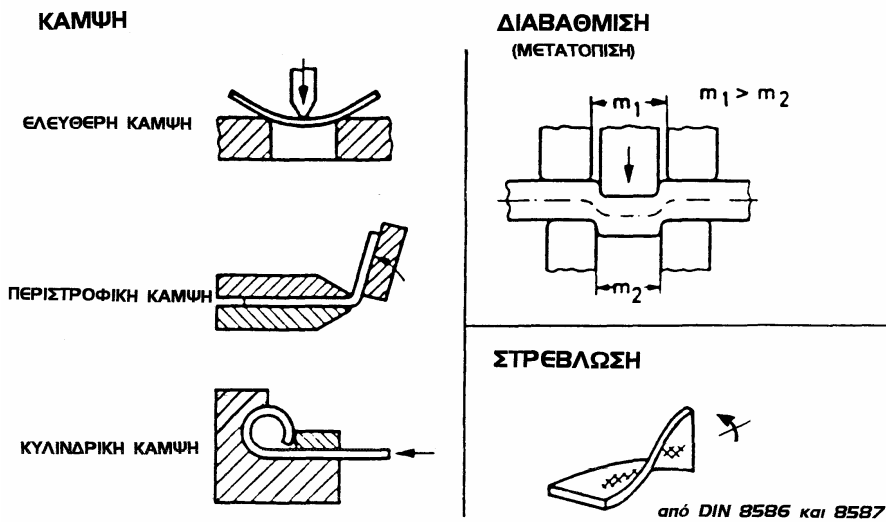
- Το υλικό με την εν ψυχρώ παραμόρφωση ενδοτραχύνεται, δηλαδή αντιστέκεται στην περαιτέρω παραμόρφωσή του. Περισσότερη παραμόρφωση μπορεί να γίνει, αφού προηγηθεί ανόπτηση και με αυτό τον τρόπο μείωση του ορίου διαρροής.
- Διάφορα εύθραυστα υλικά δε μπορούν να διαμορφωθούν εν ψυχρώ.

1.3 Είδη μηχανικών διαμορφώσεων

Διάφορα είδη μηχανικών διαμορφώσεων παρουσιάζονται στα παρακάτω σχήματα. Οι μέθοδοι αυτοί αναλύονται στα επόμενα κεφάλαια ξεχωριστά.

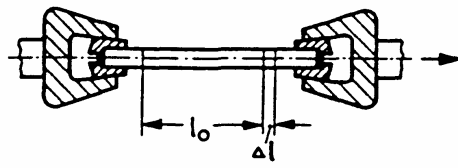


Σχήμα 1.8 : Ελεύθερη παραμόρφωση

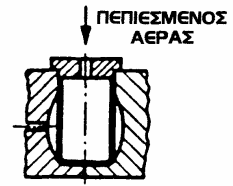


Σχήμα 1.9 : Κάμψη, διαβάθμιση, στρέβλωση

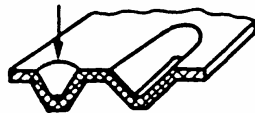
ΜΗΚΥΝΣΗ



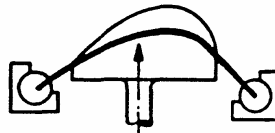
ΠΛΑΤΥΝΣΗ



ΒΑΘΥΝΣΗ



ΚΟΙΛΗ ΔΙΑΜΟΡΦΩΣΗ



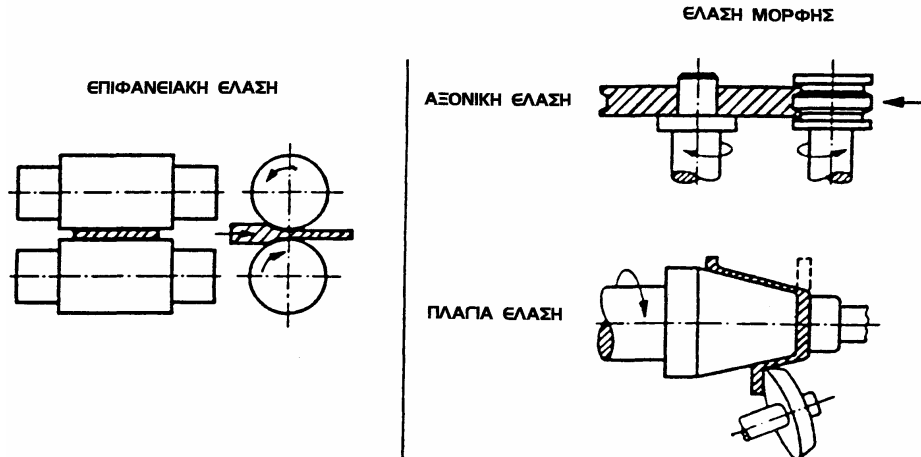
ΕΚΤΑΣΗ ΤΕΜΑΧΙΟΥ



από DIN 8585

Σχήμα 1.10 : Μήκυνση, Βάθυνση, Πλάτυνση

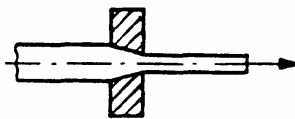
ΕΛΑΣΗ από DIN 8583



Σχήμα 1.11 : Έλαση

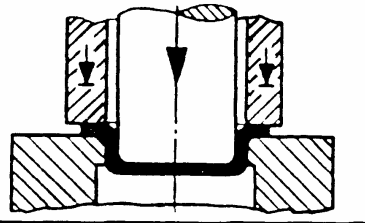
ΟΛΚΗ

ΣΥΡΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗ
ΟΛΚΗ ΜΕ ΕΡΓΑΛΕΙΟ ΜΟΡΦΗΣ

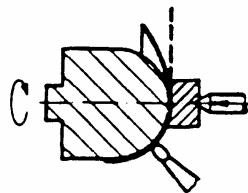


από DIN 8584

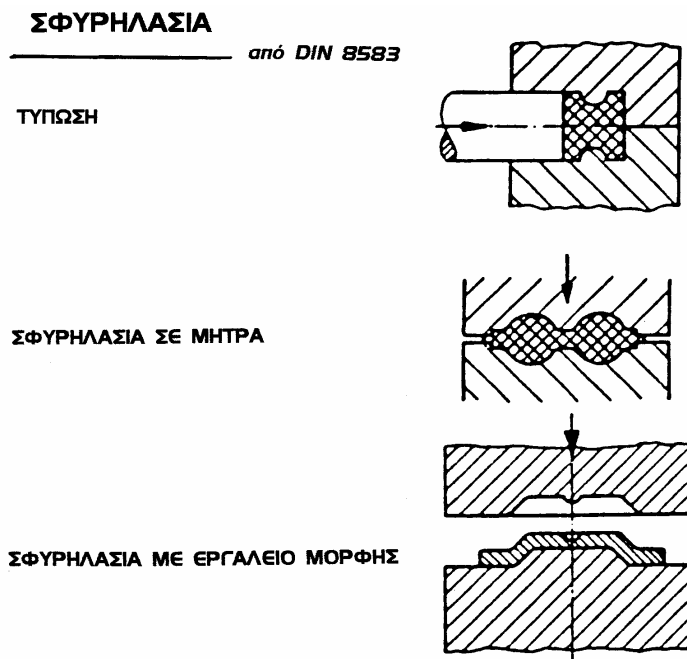
ΒΑΘΕΙΑ ΚΟΙΛΑΝΣΗ



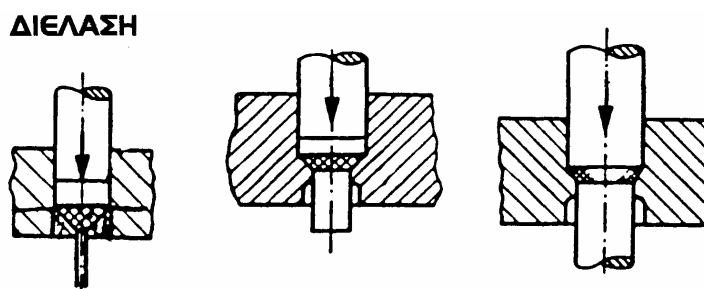
**ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ
ΣΥΜΠΙΕΣΗ
(ΠΕΡΙΩΘΗΣΗ)**



Σχήμα 1.12 : Ολκή, Βαθεία κοίλανση, Περίωθηση



Σχήμα 1.13 : Σφυρηλασία



Σχήμα 1.14 : Διέλαση ή Εξώθηση

1.4 Πρέσες

Οι πρέσες είναι μηχανήματα τα οποία, χρησιμοποιώντας μηχανική ή υδραυλική ενέργεια, πραγματοποιούν τις μηχανικές διαμορφώσεις. Οι πρέσες διακρίνονται ανάλογα με τον τύπο του πλαισίου, την απόδοσή τους, την πηγή ενέργειας κ.λπ..

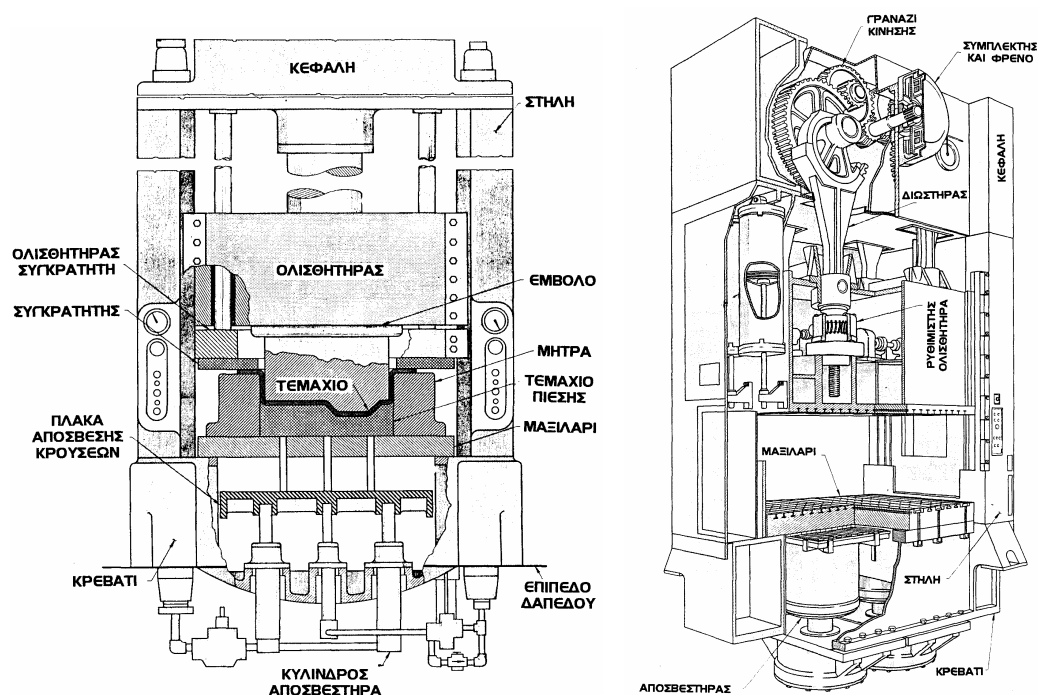
1.4.1 Πηγή ενέργειας

Οι Πρέσες για παραμόρφωση μπορεί να είναι **μηχανικές** ή **υδραυλικές**. Στις μηχανικές πρέσες ένας στρόφαλος χρησιμοποιείται ως πηγή ενέργειας, ενώ στις υδραυλικές πρέσες ένα ή περισσότερα έμβολα δίνουν την ενέργεια για την παραμόρφωση. Οι βασικές διαφορές ανάμεσα στα δύο αυτά είδη πρεσών είναι :

- Οι υδραυλικές πρέσες εξασκούν σταθερή δύναμη ανά εμβολισμό, ενώ στις μηχανικές πρέσες η δύναμη εξαρτάται από την εκάστοτε θέση του διωστήρα.
- Στις υδραυλικές πρέσες το μήκος εμβολισμού μπορεί να ορισθεί εύκολα και με ακρίβεια, κάτι που δε συμβαίνει στις μηχανικές πρέσες.
- Η ταχύτητα εμβολισμού στις υδραυλικές πρέσες μπορεί να ορισθεί μέσα σε ένα μεγάλο εύρος, ενώ στις μηχανικές πρέσες περιορίζεται από τον τύπο του κιβωτίου ταχυτήτων.
- Οι υδραυλικές πρέσες δεν μπορούν να υπερφορτωθούν και να υποστούν ζημιές. Όταν η δύναμη που εξασκείται ξεπεράσει μία οριακή τιμή, η υδραυλική πρέσα σταματά, ενώ η μηχανική πρέσα, αν δε διαθέτει ειδική διάταξη για υπερφόρτωση, κινδυνεύει να υποστεί σοβαρές ζημιές.

- Οι μηχανικές πρέσες επανέρχονται γρήγορα και είναι καλύτερες για μεγάλη παραγωγικότητα, σε αντίθεση με τις υδραυλικές πρέσες, που παρουσιάζουν καθυστερήσεις.
- Επειδή η μηχανική ενέργεια αποθηκεύεται στο στρόφαλο, οι μηχανικές πρέσες χρησιμοποιούν μικρότερο κινητήρα. Σε αρκετές εφαρμογές το μέγεθος του κινητήρα που απαιτείται για μία υδραυλική πρέσα είναι 2,5 φορές μεγαλύτερο από το αντίστοιχο της ισοδύναμης μηχανικής πρέσας.
- Η ταχύτητα του εμβόλου στις μηχανικές πρέσες είναι μεγαλύτερη, με συνέπεια οι μηχανικές πρέσες να είναι πιο αποδοτικές στην απότμηση και διάτρηση, που απαιτείται ιδιαίτερα μεγάλο κρουστικό φορτίο. Αντίστοιχα, στις υδραυλικές πρέσες παρουσιάζεται ο κίνδυνος, λόγω του μεγάλου κρουστικού φορτίου, να υποστεί βλάβη το υδραυλικό σύστημα.

Στο σχήμα 1.15 παρουσιάζονται μία μηχανική και μία υδραυλική πρέσα αντίστοιχα.

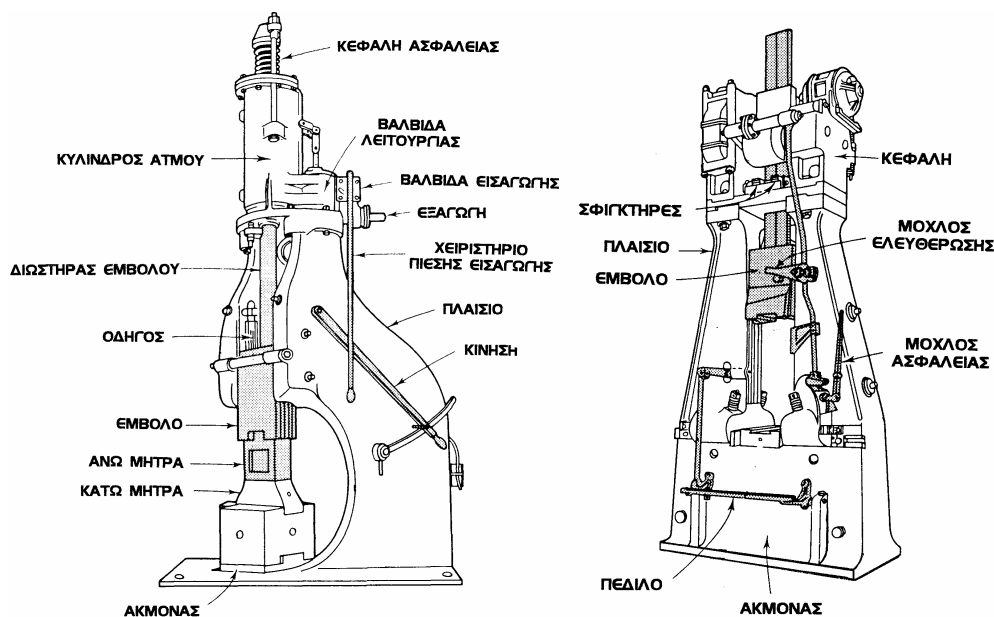


Σχήμα 1.15 : Μηχανική και υδραυλική πρέσα

1.4.2 Τύπος πλαισίου

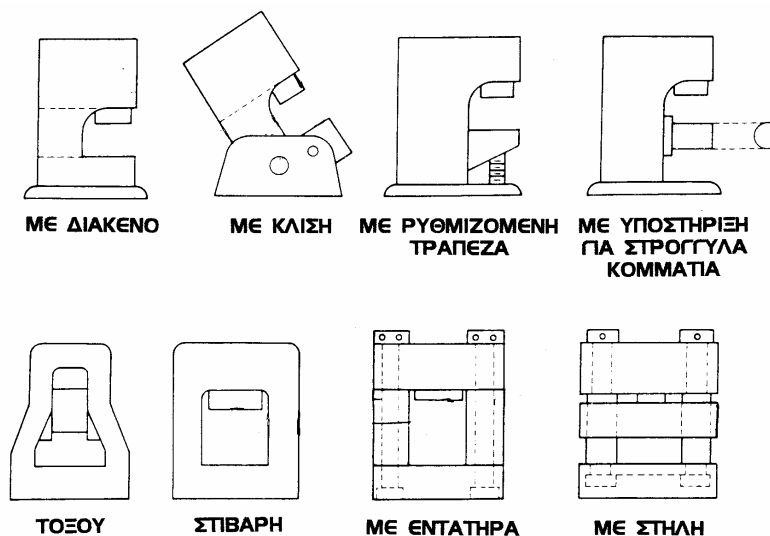
Οι πρέσες, σε σχέση με τη γεωμετρία του πλαισίου από το οποίο αποτελούνται, διακρίνονται κυρίως σε δύο είδη, τις πρέσες διακένου ή C-πρέσες και τις ευθείες πρέσες. Στο σχήμα 1.16 παρουσιάζονται μία πρέσα διακένου και μία ευθεία πρέσα αντίστοιχα.

- Οι πρέσες διακένου θυμίζουν από πλάγια το λατινικό γράμμα C και έχουν το πλεονέκτημα ότι διαθέτουν άμεση πρόσβαση στο χώρο τοποθέτησης της μήτρας από εμπρός, αλλά και από τις δύο πλαϊνές πλευρές.
- Οι ευθείες πρέσες αποτελούνται από βάση και δύο κάθετες κολόνες που δένονται με την κεφαλή.



Σχήμα 1.16 : Πρέσα διακένου και ευθεία πρέσα

Μία πιο ειδική κατηγοριοποίηση των πρεσών παρουσιάζεται στο σχήμα 1.17, που φαίνονται διάφοροι τύποι πρεσών σε σχέση με το πλαίσίό τους.



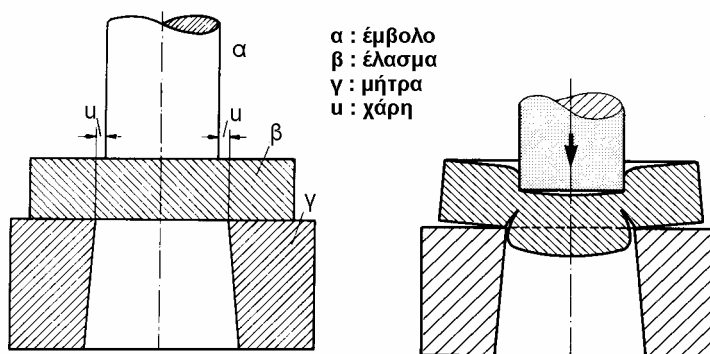
Σχήμα 1.17 : Τύποι πρεσών με βάση τον τύπο του πλαισίου τους.

Εκτός από την ήδη αναφερθείσα κατηγοριοποίηση υπάρχουν και άλλα είδη πρεσών, όπως οι ατμόσφυρες, οι πρέσες με δυνατότητα κλίσης κ.λπ..

1.5 Απότμηση

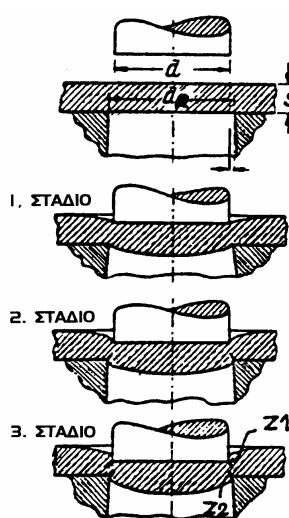
Η **απότμηση** είναι η κατεργασία διαμόρφωσης κατά την οποία αποχωρίζεται μέρος από το υλικό ενός ελάσματος μέσω κατάλληλου εργαλείου. Το κοπτικό εργαλείο το οποίο εκτελεί την απότμηση, κινείται ενάντια στο έλασμα με κινηματική και συνθήκες που εκτελούνται σε μια πρέσσα εκκέντρου ή σπανιότερα σε υδραυλική πρέσσα.

Στο σχήμα 1.18 παρουσιάζεται ένα εργαλείο αποτμήσεως το οποίο ονομάζεται και **έμβολο** (α) και η ακίνητη **μήτρα** (c) στην οποία πιέζεται το **κατεργαζόμενο τεμάχιο** (b) μέσω του εμβόλου. Στο ίδιο σχήμα φαίνεται η αναγκαία **χάρη** u ανάμεσα στο έμβολο και την μήτρα καθώς και ο μηχανισμός απότμησης.



Σχήμα 1.18 : Εργαλείο και μηχανισμός απότμησης

Το έμβολο εισέρχεται στο τεμάχιο το οποίο λόγω της συγκράτησής του από την μήτρα, παραμορφώνεται. Η διαδικασία της απότμησης ακολουθεί τρία στάδια, όσον αφορά τα φαινόμενα που λαμβάνουν χώρα, τα οποία φαίνονται στο σχήμα 1.19.



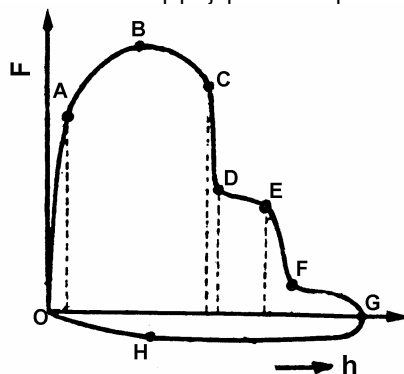
Σχήμα 1.19 : Τα στάδια της απότμησης (Κύκλος απότμησης)

- 1^ο στάδιο : ελαστική συμπίεση του υλικού ανάμεσα στο έμβολο και την μήτρα και ελαφρά διείδυση των κόψεων εμβόλου και μήτρας μέσα στο υλικό.
- 2^ο στάδιο : εισχώρηση του εμβόλου στο υλικό και αντίστοιχη, μικρότερη όμως, εισχώρηση της μήτρας.
- 3^ο στάδιο : εμφάνιση μιας ή δύο ρωγμών πάνω και κάτω στο έλασμα και επέκτασή τους μέχρι την συνάντησή τους και την τελική απότμηση του τεμαχίου από το έλασμα.

Η ταχύτητα με την οποία εκτελείται η κατεργασία της απότμησης είναι καθοριστικός παράγοντας για την προκύπτουσα επιφάνεια αλλά και για την απαιτούμενη δύναμη για την απότμηση. Όπως έχει ήδη περιγραφεί στο κεφάλαιο της πλαστικότητας, η αύξηση της ταχύτητας παραμόρφωσης έχει σαν αποτέλεσμα την αντίστοιχη αύξηση του όριου διαρροής του παραμορφούμενου υλικού και κατά συνέπεια την ενίσχυση της αντοχής του. Έτσι η απαιτούμενη δύναμη σε μια τέτοια περίπτωση, άρα και η ισχύς της εργαλειομηχανής, είναι μεγαλύτερη, ενώ η προκύπτουσα επιφάνεια παρουσιάζεται καλύτερη. Η δύναμη της απότμησης συναρτηθεί της μετατόπισης του εμβόλου, παρουσιάζεται διαγραμματικά στο σχήμα 1.20. Οι επιμέρους περιοχές του διαγράμματος αντιστοιχούν σε διαφορετική κατάσταση όσον αφορά την κατεργασία, ενώ η αρνητική περιοχή αντιπροσωπεύει την επιστροφή του εμβόλου.

Όπως φαίνεται στο σχήμα 1.20, ο κύκλος απότμησης διακρίνεται βασικά σε δύο περιοχές σε σχέση με την διαδρομή του εμβόλου. Έτσι φαίνονται η ενεργός και η νεκρά διαδρομή του εμβόλου που αντιστοιχούν σε θετική ή αρνητική δύναμη απότμησης. Η θέση **A** στο διάγραμμα αντιστοιχεί στο τέλος της ελαστικής παραμόρφωσης και την αρχή της πλαστικής παραμόρφωσης με συνεχή μείωση της επιφάνειας απότμησης, ενώ η θέση **B** στο

διάγραμμα αντιστοιχεί στην μεγαλύτερη τιμή της δύναμης απότμησης. Στην περιοχή ανάμεσα στις θέσεις **C** και **D** αναπτύσσονται ρωγμές στο κατεργαζόμενο υλικό χωρίς πλέον αυτό να υφίσταται σημαντική πλαστική παραμόρφωση, ενώ μετά τη θέση **D** αναπτύσσεται ισχυρή τριβή ανάμεσα στο έμβολο την μήτρα και το τεμάχιο. Η πλήρης απότμηση του τεμαχίου επιτυγχάνεται στην θέση **F**, ενώ στη συνέχεια για την επιστροφή του εμβόλου απαιτείται νέα δύναμη για την έξοδό του από το κατεργαζόμενο έλασμα

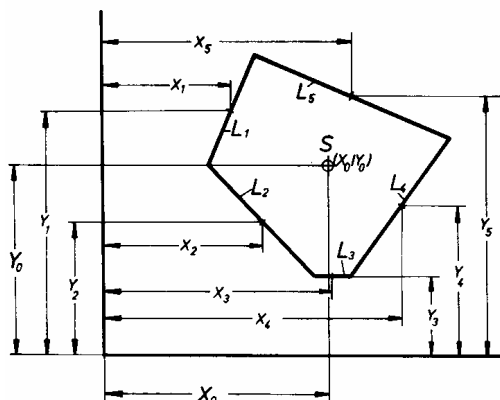


Σχήμα 1.20 : Η δύναμη της απότμησης (Κύκλος απότμησης)

1.5.1 Σημείο εφαρμογής δύναμης στην απότμηση

Για την περίπτωση που το αποτεμνόμενο τεμάχιο δεν έχει συμμετρική μορφή, είναι απαραίτητη η γνώση του σημείου εφαρμογής της δύναμης απότμησης, ώστε να αποφεύγονται επιπλέον καταπονήσεις στην εργαλειομηχανή και το εργαλείο.

Στο σχήμα 1.21 παρουσιάζεται ο αναλυτικός τρόπος προσδιορισμού του σημείου εφαρμογής το οποίο ταυτίζεται με το κέντρο βάρους της περιμέτρου του σχήματος. Σε περίπτωση που υπάρχουν περισσότερα του ενός σχήματα, το σημείο εφαρμογής προσδιορίζεται σαν το κέντρο βάρους όλων των επιμέρους σχημάτων.



Σχήμα 1.21 : Αναλυτικός υπολογισμός σημείου εφαρμογής δύναμης απότμησης

Για την γενική περίπτωση του σχήματος 1.21, το κέντρο βάρους του σχήματος, άρα και το σημείο εφαρμογής της δύναμης, προκύπτει από τις σχέσεις :

$$x_0 = \frac{L_1 \cdot x_1 + L_2 \cdot x_2 + L_3 \cdot x_3 + L_4 \cdot x_4 + L_5 \cdot x_5}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5} \quad (1.1)$$

$$y_0 = \frac{L_1 \cdot y_1 + L_2 \cdot y_2 + L_3 \cdot y_3 + L_4 \cdot y_4 + L_5 \cdot y_5}{L_1 + L_2 + L_3 + L_4 + L_5}$$

- όπου L_i : τα μήκη των επιμέρους τμημάτων,
 x_i : οι X συντεταγμένες των μέσων των τμημάτων,
 y_i : οι Y συντεταγμένες των μέσων των τμημάτων,
i : τα επιμέρους τμήματα που αποτελούν το σχήμα,

$S(x_0, y_0)$: το σημείο εφαρμογής της δύναμης απότμησης.

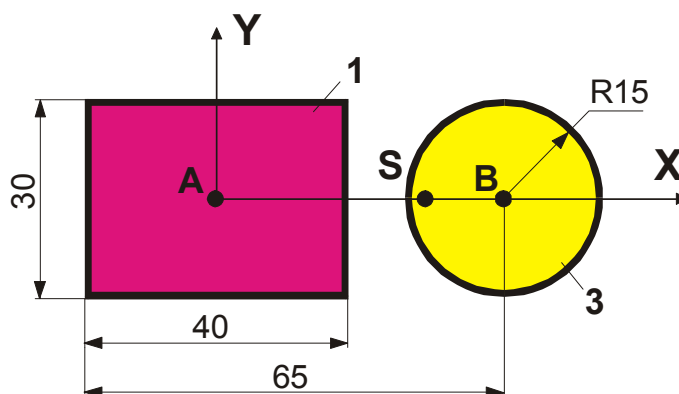
Στην περίπτωση που το έμβολο της απότμησης πρέπει να κόψει παραπάνω από ένα κλειστά σχήματα την ίδια στιγμή, η μέθοδος υπολογισμού του σημείου εφαρμογής της δύναμης απότμησης, δηλαδή της θέσης που θα δεθεί το έμβολο στην πρέσα, αλλάζει. Στην περίπτωση αυτή ισχύουν αντίστοιχοι τύποι με τις σχέσεις 1.1, αλλά στη θέση των συντεταγμένων των μέσων τοποθετούνται οι συντεταγμένες των κέντρων βάρους κάθε σχήματος, ενώ στη θέση των μηκών των τμημάτων L τοποθετούνται οι περιμέτροι U κάθε σχήματος. Έτσι, για την περίπτωση τριών σχημάτων, οι σχέσεις 1.1 μετασχηματίζονται στις παρακάτω σχέσεις 1.2

$$x_0 = \frac{U_1 \cdot x_1 + U_2 \cdot x_2 + U_3 \cdot x_3}{U_1 + U_2 + U_3} \quad (1.2)$$

$$y_0 = \frac{U_1 \cdot y_1 + U_2 \cdot y_2 + U_3 \cdot y_3}{U_1 + U_2 + U_3}$$

όπου U_i : οι περιμέτροι των επιμέρους σχημάτων,
 x_i : οι X συντεταγμένες των κέντρων βαρών των σχημάτων,
 y_i : οι Y συντεταγμένες των κέντρων βαρών των σχημάτων,
 i : τα επιμέρους σχήματα που αποτελούν το έμβολο,
 $S(x_0, y_0)$: το σημείο εφαρμογής της δύναμης απότμησης.

Εφαρμογή : Ζητείται το σημείο εφαρμογής της δύναμης για την απότμηση των διαμορφώσεων του σχήματος 1.22.



Σχήμα 1.22 : Εφαρμογή

Επειδή το σχήμα αποτελείται από δύο επιμέρους σχήματα, το σημείο εφαρμογής της δύναμης θα προκύψει ως το κέντρο βάρους και των δύο σχημάτων μαζί. Για τον υπολογισμό αυτό απαιτούνται οι περιμέτροι των δύο σχημάτων (U_1 και U_2) και οι συντεταγμένες των κέντρων των δύο σχημάτων, δηλαδή οι συντεταγμένες των σημείων A και B.

Έτσι ισχύει :

- περίμετρος του 1^{ου} σχήματος $U_1 = 2 \cdot 30 + 2 \cdot 40 = 140$ mm
- περίμετρος του 2^{ου} σχήματος $U_2 = 2\pi R = 2 \cdot 3,14 \cdot 15 = 94,2$ mm
- συντεταγμένες του κέντρου του 1^{ου} σχήματος (σημείο A) : $x_1=0$ και $y_1=0$, μια και το σύστημα συντεταγμένων έχει το κέντρο του στο σημείο A.
- συντεταγμένες του κέντρου του 2^{ου} σχήματος (σημείο B) : $x_2=45$ και $y_2=0$, μια και το σύστημα συντεταγμένων έχει το κέντρο του στο σημείο A.

Με αντικατάσταση στις σχέσεις (14.3) προκύπτουν οι σχέσεις :

$$x_0 = \frac{U_1 \cdot x_1 + U_2 \cdot x_2}{U_1 + U_2} = \frac{40 \cdot 0 + 94,2 \cdot 45}{40 + 94,2} = \frac{4239}{134,2} = 31,6$$

$$y_0 = \frac{U_1 \cdot y_1 + U_2 \cdot y_2}{U_1 + U_2} = \frac{40 \cdot 0 + 94,2 \cdot 0}{40 + 94,2} = \frac{0}{134,2} = 0$$

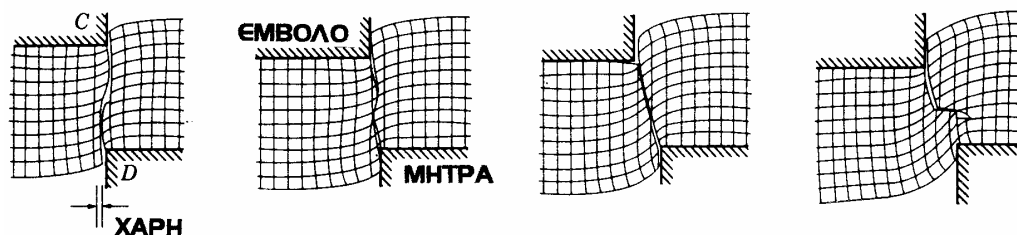
Τελικό αποτέλεσμα είναι ότι το σημείο εφαρμογής της δύναμης απότμησης S έχει συντεταγμένες $x_0=31,6$ mm και $y_0=0$ mm. Το ότι η συντεταγμένη y του γραμμικού κέντρου βάρους και των δύο σχημάτων είναι 0, δηλαδή το κέντρο βάρους είναι πάνω στον άξονα X, ήταν αναμενόμενο, μια και τα δύο σχήματα είναι συμμετρικά ως προς τον άξονα αυτό.

1.5.2 Χάρη στην απότμηση

Όπως φάνηκε στο σχήμα 1.18, ανάμεσα στο έμβολο και την μήτρα απαιτείται να αφηθεί ένα προκαθορισμένο διάκενο το οποίο ονομάζεται **χάρη**. Η εκλογή της σωστής χάρης έχει σημαντική επίδραση στην απότμηση. Όπως φαίνεται και από το σχήμα η διάμετρος του διάκενου της μήτρας D δίνεται από τη σχέση

$$D = d + 2 \cdot u \quad (1.3)$$

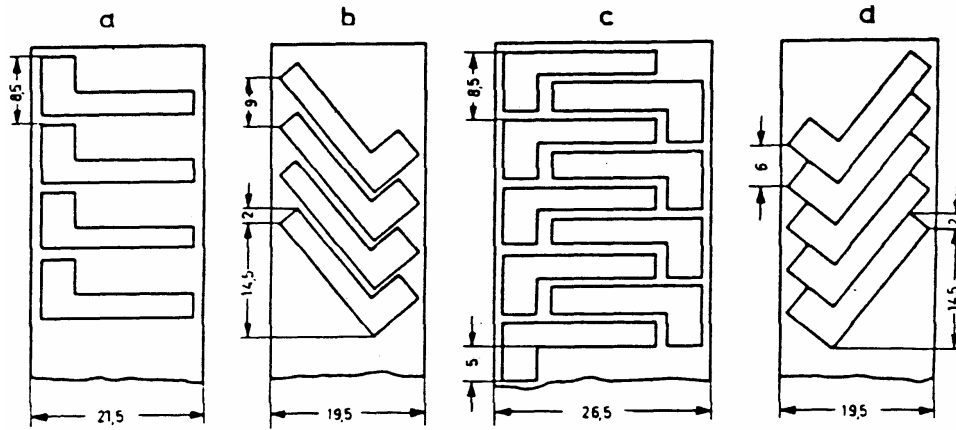
Για διάφορα μεγέθη της επιλεγόμενης χάρης, στο σχήμα 1.23 παρουσιάζεται η συμπεριφορά του κατεργαζόμενου υλικού. Στην πράξη το μέγεθος της χάρης κυμαίνεται από 2 έως 10% του πάχους του τεμαχίου που θα αποκοπεί.



Σχήμα 1.23 : Επίδραση της χάρης στην παραμόρφωση του υλικού

1.5.3 Συντελεστής εκμετάλευσης υλικού στην απότμηση

Ο **συντελεστής εκμετάλευσης** του ελάσματος ξ είναι ο λόγος του εμβαδού του τεμαχίου προς το εμβαδόν του διατιθέμενου ελάσματος. Ο συντελεστής αυτός που χαρακτηρίζει την κατεργασία απότμησης, επιδιώκεται να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος ώστε να γίνεται βέλτιστη η εκμετάλευση της επιφάνειας του ελάσματος. Ταυτόχρονα οι διαστάσεις του ελάσματος δεν πρέπει να είναι πολύ οριακές με τις διαστάσεις της απότμησης. Η περίμετρος της απότμησης πρέπει να απέχει κάποια ελάχιστη απόσταση από το περίγραμμα του τεμαχίου καθώς και από το περίγραμμα του γειτονικού σχήματος. Οι τιμές αυτές εξαρτώνται κυρίως από το υλικό του τεμαχίου και από το πάχος του. Στο σχήμα 1.24 παρουσιάζονται διαφορετικές περιπτώσεις τοποθέτησης για την κοπή του ίδιου περιγράμματος και αντίστοιχα τα ποσοστά απωλειών ελάσματος.



ΠΟΣΟΣΤΟ ΕΛΑΣΜΑΤΟΣ ΠΟΥ ΧΑΝΕΤΑΙ ΣΕ ΣΧΕΣΗ ΜΕ ΑΥΤΟ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΕΙΤΑΙ

100 %

80 %

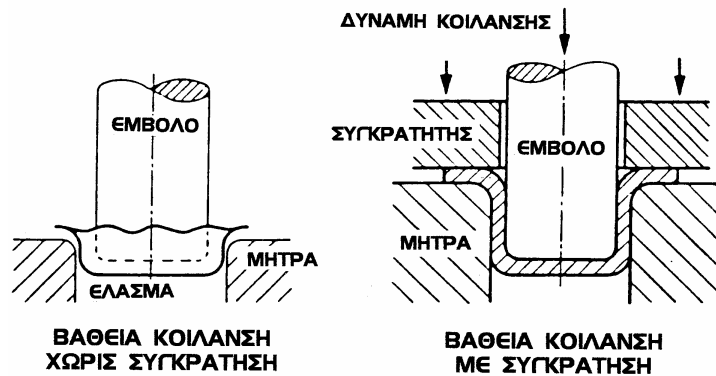
~45 %

~30 %

Σχήμα 1.24 : Βέλτιστη οριοθέτηση τεμαχίων για απότμηση

1.6 Βαθεία Κοίλανση

Η **βαθεία κοίλανση** είναι η κατεργασία κατά την οποία διαμορφώνεται ένα επίπεδο έλασμα σε κοίλο, μέσω κατάλληλου εργαλείου. Η βαθεία κοίλανση, που άρχισε να εφαρμόζεται γύρω στα 1700, έχει γίνει σήμερα μία από τις σημαντικότερες κατεργασίες διαμόρφωσης. Το σημαντικότερο χαρακτηριστικό της κατεργασίας αυτής είναι η όσο το δυνατόν διατήρηση του πάχους του αρχικού ελάσματος. Στο σχήμα 1.25 παρουσιάζονται δύο στοιχειώδεις διατάξεις βαθείας κοίλανσης, όπου διακρίνονται το έλασμα προς διαμόρφωση, το έμβολο, η μήτρα. Στην δεξιά περίπτωση κοίλανσης χρησιμοποιείται συγκρατητής για να συγκρατεί το έλασμα.



Σχήμα 1.25 : Διάταξη βαθείας κοίλανσης.

Στο σχήμα 1.26 παρουσιάζονται τεμάχια που παράγονται με τη διαδικασία της βαθείας κοίλανσης.



Σχήμα 1.26 : Προϊόντα Βαθείας κοίλανσης.

1.6.1 Λόγος Κοίλανσης

Για την απλή περίπτωση που παρουσιάζεται στο σχήμα 1.25, της κοίλανσης ενός κυκλικού ελάσματος πάχους s (δίσκος) και διαμέτρου D , σε κοίλο κυάθιο διαμέτρου d , ονομάζεται **λόγος κοίλανσης β** ο λόγος της αρχικής με την τελική διάμετρο, δηλαδή :

$$\beta = \frac{D}{d} \quad (1.4)$$

Κατά την βαθεία κοίλανση ενός ελάσματος απαιτούνται πολλές φορές αρκετές διαδοχικές κοιλάνσεις οι οποίες ονομάζονται **ανακοιλάνσεις**. Ο λόγος κοίλανσης για κάθε μια από τις ενδιάμεσες φάσεις προκύπτει από τον τύπο (1.4). Σαν λόγος κοίλανσης συναντάται και ο λόγος του ύψους του κυαθίου ως προς την διάμετρό του. Ο λόγος αυτός όσο μεγαλώνει, δηλαδή όσο μεγαλύτερο ύψος έχει το τελικό κυάθιο ως προς την τελική διάμετρο, τόσο δυσκολώτερη είναι και η απαιτούμενη κοίλανση. Για την αποφυγή τέτοιων προβλημάτων, γίνονται οι προαναφερόμενες διαδοχικές ανακοιλάνσεις του ελάσματος οι οποίες συνοδεύονται συνήθως από ανόπηση, ώστε το διαμορφούμενο υλικό να μαλακώσει για να δεχτεί την επόμενη κοίλανση. Τέτοιες διαδικασίες είναι γενικά αντιοικονομικές και γίνεται προσπάθεια να αποφεύγονται.

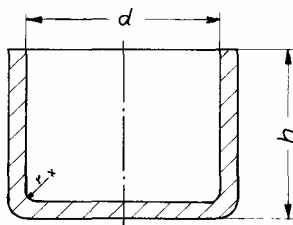
Ο λόγος κοίλανσης β , σε οποιαδήποτε από τις ενδιάμεσες φάσεις ή την μία και μοναδική φάση, απαιτείται να είναι όσο το δυνατόν μεγαλύτερος, γεγονός που ισοδυναμεί με μεγαλύτερη παραμόρφωση, άρα αποδοτικότερη κατεργασία, κατά την κοίλανση. Ο λόγος β δεν μπορεί όμως να παίρνει οποιεσδήποτε μεγάλες τιμές. Η οριακή του τιμή εξαρτάται από τη γεωμετρία του εργαλείου κοίλανσης, από το κατεργαζόμενο υλικό, την πίεση συγκράτησης, την επιθυμητή διάμετρο d και το πάχος του ελάσματος s .

1.6.2 Ανάπτυγμα ελάσματος

Για τον υπολογισμό του αναπτύγματος του ελάσματος που πρόκειται να υποστεί κοίλανση, θεωρείται ότι δεν λαμβάνει ουσιαστική μεταβολή του πάχους του ελάσματος και ότι η επιφάνεια του αναπτύγματος είναι ίση με την αντίστοιχη του τελικού τεμαχίου. Στη συνέχεια παρουσιάζονται παραδείγματα υπολογισμού του αναπτύγματος απλών μορφών τεμαχίων.

Απλό κυλινδρικό τεμάχιο ($r < 10\text{mm}$)

Για το τεμάχιο του σχήματος 1.27, με ακτίνα καμπυλότητας στην βάση του μικρότερη από 10mm, προκύπτει από την ισότητα της αρχικής και τελικής επιφάνειας η διάμετρος του αρχικού ελάσματος



Σχήμα 1.27 : Κυλινδρικό τεμάχιο ($r < 10\text{mm}$)

Η σχέση που εκφράζει την αρχική διάμετρο εξάγεται από την ισότητα :

$$\frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \frac{d^2 \cdot \pi}{4} + d \cdot \pi \cdot h$$

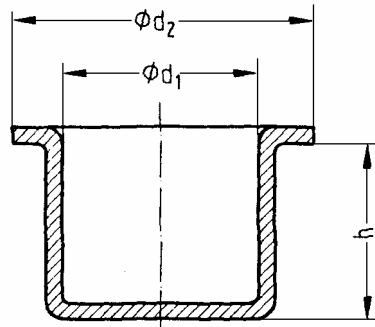
από την οποία τελικά προκύπτει :

$$D = \sqrt{d^2 + 4 \cdot d \cdot h}$$

όπου : **D** η διάμετρος του αρχικού ελάσματος σε mm
d η εσωτερική διάμετρος του κυαθίου σε mm
h το ύψος του κυαθίου σε mm

Κυλινδρικό τεμάχιο με χείλος

Για το τεμάχιο του [σχήματος 1.28](#), με ακτίνα καμπυλότητας στην βάση του, μικρότερη από 10mm και με χείλος στο πάνω μέρος, προκύπτει από την ισότητα της αρχικής και τελικής επιφάνειας η διάμετρος του αρχικού ελάσματος.



Σχήμα 1.28 : Κυλινδρικό τεμάχιο με χείλος ($r < 10\text{mm}$)










Η σχέση που εκφράζει την αρχική διάμετρο προκύπτει από την ισότητα :

$$\frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \frac{d_1^2 \cdot \pi}{4} + d_1 \cdot \pi \cdot h + (d_2^2 - d_1^2) \cdot \frac{\pi}{4} \quad \text{από την οποία προκύπτει :}$$

$$\frac{D^2 \cdot \pi}{4} = \frac{\pi}{4} \cdot (d_1^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h + d_2^2 - d_1^2) \Rightarrow D = \sqrt{d_2^2 + 4 \cdot d_1 \cdot h}$$

- όπου :
- D** η διάμετρος του αρχικού ελάσματος σε mm
 - d₁** η εσωτερική διάμετρος του κυαθίου σε mm
 - d₂** η διάμετρος του χείλους του κυαθίου σε mm
 - h** το ύψος του κυαθίου σε mm

Για οποιαδήποτε περίπτωση τεμαχίου εκ περιστροφής, για τον υπολογισμό της διαμέτρου του αρχικού ελάσματος, αρκεί να εκφραστεί το άθροισμα των επιφανειών των επιμέρους τμημάτων του τελικού τεμαχίου σαν ίσο με την επιφάνεια του αρχικού ελάσματος. Στο παρακάτω [σχήμα 1.29](#) φαίνονται διάφορες μορφές αντικειμένων που προήλθαν από βαθεία κοίλανση και αντίστοιχα οι αρχικές διαμέτροι των ελασμάτων από τα οποία παρήχθησαν.

| | |
|---|--|
|  | $\sqrt{d^2 + 4 d h}$ |
|  | $\sqrt{d_2^2 + 4 d_1 h}$ |
|  | $\sqrt{d_3^2 + 4 (d_1 h_1 + d_2 h_2)}$ |
|  | $\sqrt{d_1^2 + 4 d_1 h + 2 f \cdot (d_1 + d_2)}$ |
|  | $\sqrt{d_2^2 + 4 (d_1 h_1 + d_2 h_2) + 2 f (d_2 + d_3)}$ |
|  | $\sqrt{2 d^2} = 1.4 d$ |
|  | $\sqrt{d_1^2 + d_2^2}$ |
|  | $1.4 \sqrt{d_1^2 + f(d_1 + d_2)}$ |
|  | $1.4 \sqrt{d^2 + 2 d h}$ |

Σχήμα 1.29 : Διάμετροι αρχικού ελάσματος για τη βαθεία κοίλανση διαφόρων μορφών.

1.6.3 Διαδικασία κοίλανσης

Κατά την κοίλανση, όπως αναφέρθηκε, ένα επίπεδο έλασμα διαμορφώνεται σε κυλινδρικό ή ορθογωνικό κύathio με την βοήθεια κατάλληλου εμβόλου και μήτρας. Οι βασικές παράμετροι που επηρεάζουν την κατεργασία είναι οι ακόλουθοι :

- οι ιδιότητες του κατεργαζόμενου υλικού,
- ο λόγος της διαμέτρου του ελάσματος προς την διάμετρο του εμβόλου,
- η χάρη ανάμεσα στο έμβολο και την μήτρα,
- η καμπυλότητα στα άκρα του εμβόλου και της μήτρας,
- η δύναμη συγκράτησης,
- η τριβή και η λίπανση κατά την κοίλανση,
- η ταχύτητα της κοίλανσης.

Κατά τη διάρκεια της κοίλανσης το έλασμα υπόκειται σε εφελκυστικές κυρίως τάσεις. Το έλασμα περιλαμβάνει ουσιαστικά τρεις κύριες περιοχές οι οποίες μετέχουν στην κοίλανση με διαφορετικό τρόπο. Οι περιοχές αυτές είναι :

- Το μέρος του ελάσματος που έρχεται σε επαφή με την μήτρα. Το τμήμα αυτό υφίσταται συνεχή ολκή κατά την κοίλανση και καθώς διέρχεται από το χείλος της μήτρας, υφίσταται πλαστική κάμψη και λεπτύνει.
- Το μέρος του ελάσματος που δεν έρχεται σε επαφή ούτε με την μήτρα ούτε με το έμβολο. Το τμήμα αυτό κυρίως εφελκύεται μεταξύ μήτρας και εμβόλου, ενώ μέρος του ολισθαίνει και κάμπτεται προς το μέρος του χείλους της μήτρας ή του εμβόλου.

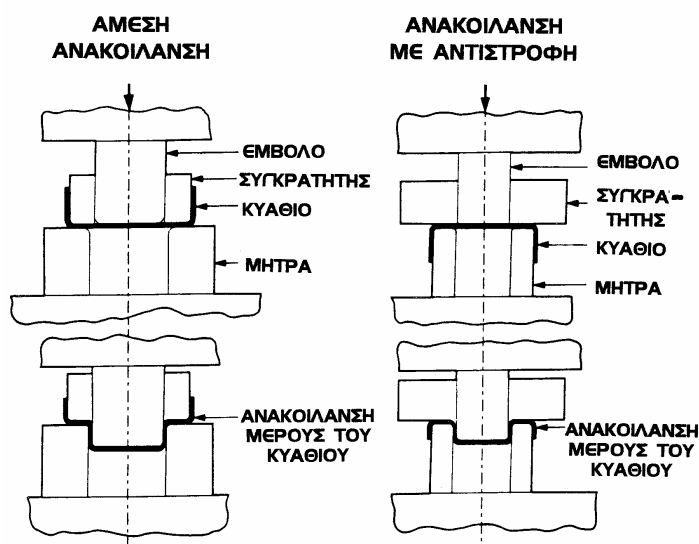
- Το μέρος του ελάσματος που βρίσκεται σε επαφή με το έμβολο και που αποτελεί τον πάτο του κυάθιου. Το τμήμα αυτό ανάλογα τις συνθήκες τριβής, τεντώνει και ολισθαίνει πάνω στην επιφάνεια του εμβόλου.

Συνολικά τα διάφορα τμήματα του ελάσματος υφίστανται :

- το έλασμα μεταξύ μήτρας και συγκρατητή, **ακτινική ολκή**,
- το έλασμα στο χείλος της μήτρας, **κάμψη και ολίσθηση**,
- το έλασμα ανάμεσα στη μήτρα και το έμβολο, **εφελκυσμό**,
- το έλασμα στο καμπύλο μέρος του εμβόλου, **κάμψη και ολίσθηση**,
- το έλασμα στην επιφάνεια πίεσης του εμβόλου, **έκταση και ολίσθηση**.

1.6.4 Ανακοίλωση

Κατά την κοίλωση, όπως περιγράφηκε, ο λόγος κοίλωσης β , δηλαδή ο λόγος της διαμέτρου του ελάσματος προς την διάμετρο του τεμαχίου, δεν μπορεί να είναι ιδιαίτερα μεγάλος. Σε περίπτωση που ο λόγος κοίλωσης ξεπερνά την επιτρεπόμενη τιμή του, είναι απαραίτητο η κοίλωση να γίνει σε διαδοχικές φάσεις με μικρότερο λόγο κοίλωσης. Ανάμεσα στις φάσεις αυτές είναι δυνατή η ανόπηση του κατεργαζόμενου υλικού η οποία αφενός αυξάνει το κόστος της κατεργασίας, αφετέρου όμως επιτρέπει την χρησιμοποίηση μεγαλύτερου λόγου κοίλωσης. Οι ανακοιλάνσεις που αναφέρθηκαν μπορεί να είναι *άμεσες* ή *με αντιστροφή*. Η ουσιαστική διαφορά των δύο μεθοδολογιών είναι πως στην ανακοίλωση με αντιστροφή, το έλασμα γυρίζει μέσα-έξω και η μέχρι πριν εξωτερική επιφάνεια μετά την ανακοίλωση γίνεται εσωτερική. Στο σχήμα 1.30 φαίνονται οι δύο βασικές μέθοδοι ανακοίλωσης, η άμεση και η ανακοίλωση με αντιστροφή.



Σχήμα 1.30 : Μέθοδοι ανακοίλωσης.