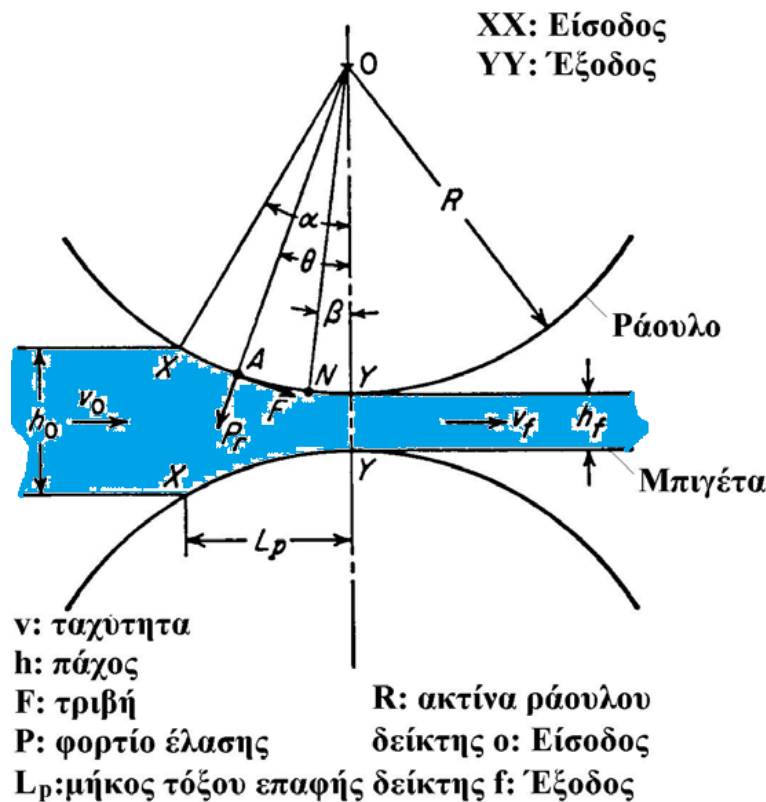
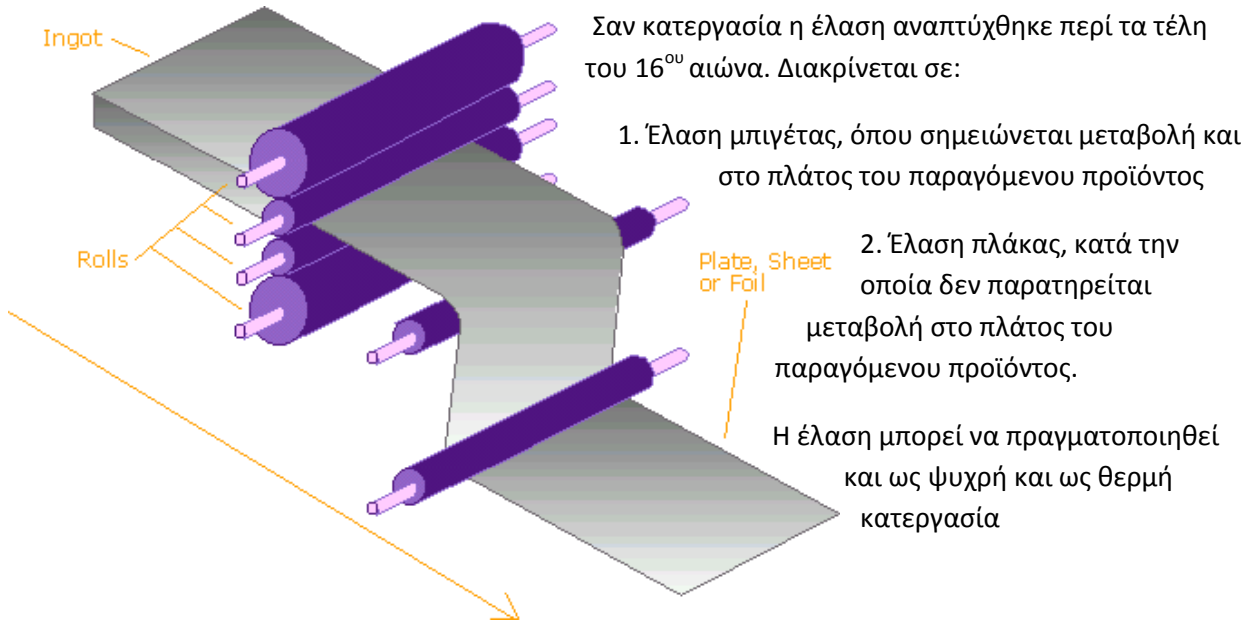


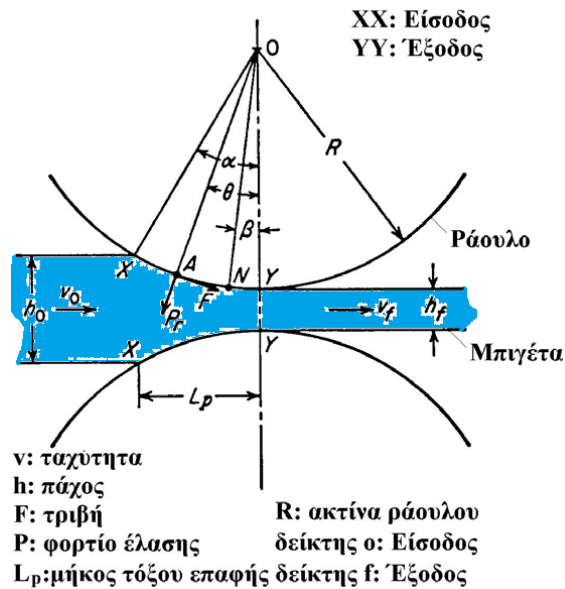
Έλαση

Στην έλαση η μπιγιέτα υφίσταται πλαστική παραμόρφωση καθώς διέρχεται μέσα από το άνοιγμα μεταξύ δύο αντίθετα περιστρεφόμενων ραούλων (τυμπάνων). Αποτέλεσμα της έλασης είναι η παραγωγή αντίστοιχου προϊόντος με μικρότερη διατομή και μεγαλύτερο μήκος.



ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΗΣ ΕΛΑΣΗΣ

1. Ταχύτητες



Η εξίσωση συνέχειας στη ροή του υλικού:

$b h_0 v_0 = b h_f v_f$. ($b =$ πλάτος) Επειδή ισχύει

$h_0 > h > h_f$, θα είναι προφανώς

$v_0 < v < v_f$.

Αρχικά η γραμμική ταχύτητα στην περιφέρεια του ραούλου θα είναι μεγαλύτερη από την ταχύτητα της

μπιγιέτας στην είσοδο του ανοίγματος για να μπορεί να εισαχθεί στην

πλαστική ζώνη, στη συνέχεια υπάρχει βαθμιαία αύξηση της ταχύτητας της μπιγιέτας μέσα στην πλαστική ζώνη μέχρις ότου αυτή εξισωθεί με την γραμμική ταχύτητα του ραούλου και στη συνέχεια μέχρι την έξοδο η ταχύτητα της μπιγιέτας θα υπερβαίνει την γραμμική ταχύτητα του ραούλου. Η παρατήρηση αυτή οδηγεί στο συμπέρασμα ότι μέσα στην πλαστική ζώνη θα υφίσταται ροή του υλικού προς την είσοδο και προς την) έξοδο.

2. Δυνάμεις

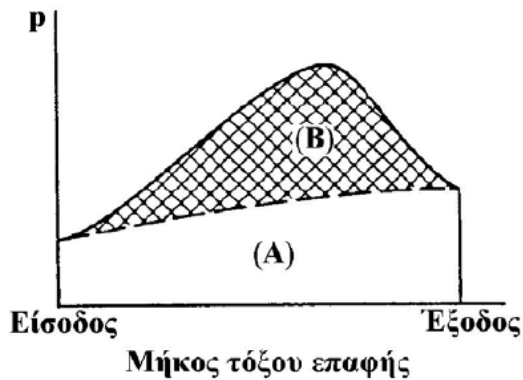
Οι δυνάμεις που ασκούνται πάνω στη μπιγιέτα σε τυχόν σημείο μέσα στην πλαστική ζώνη είναι το ακτινικό φορτίο έλασης P και η τριβή F που αντιτίθεται στη ροή του υλικού. Η σχέση που συνδέει το φορτίο έλασης με την τριβή είναι: $F = \mu P$

3. Μήκος τόξου

Η επιφάνεια επαφής μπιγιέτας/ραούλου εκτείνεται κατά μήκος του τόξου επαφής XY , το οποίο έχει μήκος L_p ίσο με:

$$L_p = \left[R \cdot (h_0 - h_f) - \frac{(h_0 - h_f)^2}{4} \right]^{1/2} \approx [R \cdot (h_0 - h_f)]^{1/2} = (R \cdot \Delta h)^{1/2}$$

4. Κατανομή της πίεσης



Κατανομή της πίεσης στην πλαστική ζώνη

Η κατανομή της πίεσης p των ραούλων φαίνεται στο σχήμα. Αρχικά σημειώνεται αύξηση της πίεσης μέχρι μια μέγιστη τιμή και στη συνέχεια μειώνεται εκ νέου. Διακρίνονται δύο χαρακτηριστικές περιοχές, η περιοχή A που αντιπροσωπεύει το πλαστικό έργο που απαιτείται για την ομογενή παραμόρφωση του τεμαχίου και η περιοχή B που αντιστοιχεί στο πρόσθετο έργο για την υπερνίκηση των

τριβών. Η μορφή της καμπύλης κατανομής της πίεσης ραούλων μας εξασφαλίζει τον προσδιορισμό του σημείου εφαρμογής της συνισταμένης δύναμης έλασης και διευκολύνει έτσι τον προσδιορισμό της απαιτούμενης ροπής στρέψης και της ισχύος κατεργασίας.

5. Έναρξη της έλασης

Το τόξο επαφής αντιστοιχεί σε επίκεντρη γωνία α , μετρούμενη στο ράουλο. Για να επιτευχθεί η είσοδος της κατεργαζόμενης μπιγέτας μέσα στο άνοιγμα μεταξύ ραούλων θα πρέπει η συνολική οριζόντια συνιστώσα στην είσοδο να είναι θετική, δηλαδή θα ισχύει

$$F \cdot \cos \alpha - P_r \cdot \sin \alpha \geq 0 \quad \text{ή ισοδύναμα} \quad \frac{F}{P_r} \geq \tan \alpha$$

και δεδομένου ότι ο πρώτος όρος ισούται με τον μέσο συντελεστή τριβής μ , η οριακή συνθήκη έναρξης της έλασης γράφεται $\mu = \tan \alpha$

6. Μέγιστη μείωση

Από το σχήμα προκύπτει εύκολα ότι $\tan \alpha = \frac{L_p}{R - \frac{\Delta h}{2}}$ ή

$$\tan \alpha = \frac{\sqrt{R \cdot \Delta h}}{R - \frac{\Delta h}{2}} \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{R}} \quad \text{οπότε, λαμβάνοντας υπόψη και τη συνθήκη έναρξης της έλασης } (\mu = \tan \alpha) \text{ και επιλύοντας ως προς } \Delta h, \text{ προκύπτει η μέγιστη δυνατή μείωση πάχους σε ένα πάσο ίση προς}$$

$$(\Delta h)_{\max} = \mu^2 \cdot R$$

7. Πλάτυνση της ακτίνας

Λόγω των ισχυρών φορτίων έλασης, το ραούλο υφίσταται τοπικά στο τόξο επαφής ελαστική παραμόρφωση, που έχει ως συνέπεια τοπικά την πλάτυνση (μείωση της καμπυλότητας) του. Αποτέλεσμα αυτής της ελαστικής παραμόρφωσης είναι το τόξο επαφής να ανήκει σε κύκλο ακτίνας $R' > R$, η οποία προσδιορίζεται από την ημιεμπειρική σχέση:

$$R' = R \cdot \left(1 + \frac{C \cdot P'}{b \cdot \Delta h} \right)$$

όπου η σταθερά $C = 16(1 - \nu^2) / \pi E$

χαρακτηρίζει το υλικό του ραούλου και για χάλυβα λαμβάνει την τιμή $C = 2,16 \times 10^{-11} \text{ Pa}^{-1}$, ν ο λόγος Poisson και E το μέτρο ελαστικότητας του υλικού του ραούλου, b το πλάτος της μιγέτας, R η ακτίνα του απαραμόρφωτου ραούλου και P' το φορτίο έλασης βασισμένο όμως στην ακτίνα R' του παραμορφωμένου ραούλου.

8. Φορτίο έλασης

(α) Ομοιογενής παραμόρφωση

Το φορτίο P προκύπτει από τη μέση πίεση ραούλου πολλαπλασιασμένη με την επιφάνεια επαφής, δηλαδή

$$P = p \cdot b \cdot L_p$$

(β) Ανομοιογενής παραμόρφωση (προσεγγιστική λύση)

Θεωρώντας το μέσο πάχος $h = (h_0 + h_f) / 2$, προκύπτει ο προσεγγιστικός τύπος

$$P = \frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \bar{\sigma}_0 \cdot \left[\frac{1}{Q} (e^Q - 1) \cdot b \cdot \sqrt{R \cdot \Delta h} \right] \quad \text{όπου } \bar{\sigma}_0 = (Y_0 + Y_f) / 2 \text{ και } Q = \mu \cdot L_p / \bar{h}$$

Η εξίσωση μας δείχνει:

- Το φορτίο έλασης αυξάνει όταν αυξάνει η διάμετρος των ελάστρων.
- Καθώς μειώνεται η R μειώνονται τα L_p και το P . Άρα με μικρότερης διαμέτρου έλαστρα, πετυχαίνουμε μικρότερο πάχος φύλλου.
- Μπορούμε να φτάσουμε σε σημείο όπου η αντίσταση στη διαμόρφωση του φύλλου γίνεται μεγαλύτερη από την ασκούμενη πίεση των ελάστρων, οπότε θα έχουμε ελαστική παραμόρφωση ελάστρων.
- Όσο λεπτότερο είναι το φύλλο που εισάγεται τόσο περισσότερο είναι το ασκούμενο φορτίο

8. Φορτίο έλασης

Η τριβή μεταξύ φύλλου και ελαστρων έχει μεγάλη σημασία:

- Απαιτείται για να μπορεί το φύλλο να εισέλθει στα ελαστρα
- Μεγάλο μέρος του φορτίου οφείλεται στις δυνάμεις τριβής
- Είναι πολύ δύσκολο να μετρηθεί το μ (είναι διαφορετικό σε κάθε σημείο)
- Όλες οι θεωρίες τελικά χρησιμοποιούν σταθερό μ
- Έλαση εν ψυχρώ με λιπαντικά $\mu=0,05-1$
- Έλαση εν θερμώ $\mu>0,2$

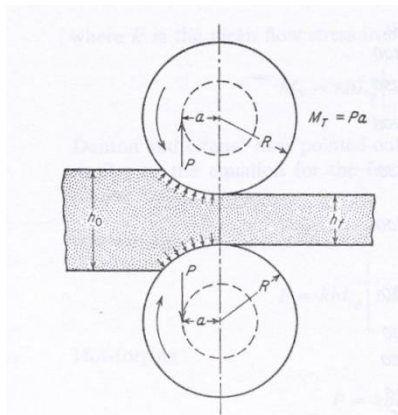
9. Ροπή στρέψης-Ισχύς

Ροπή στρέψης ραούλων : $T=2P(\lambda L_p)$

όπου ο συντελεστής λ ισούται με 0.5 για θερμή έλαση ή 0.45 για ψυχρή έλαση.

Απαιτούμενο έργο κατεργασίας: $W=2(2\pi\lambda L_p)P$

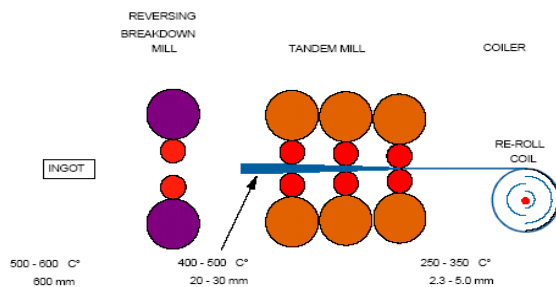
Ισχύς κατεργασίας: $4\pi\lambda L_p P N$ όπου N η συχνότητα περιστροφής των ραούλων



Είναι συνηθισμένη πρακτική να υπολογίζουμε το λόγο του βραχίονα a με το ανηγμένο μήκος του τόξου επαφής: $\lambda=a/L_p$

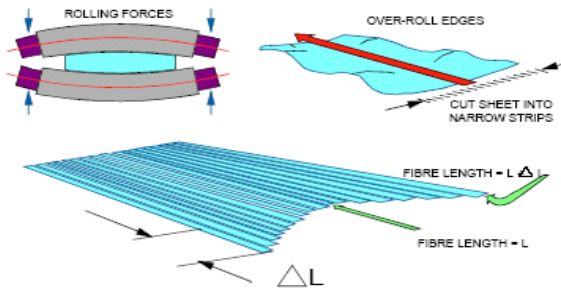
Η συνολική δύναμη με την οποία πιέζονται τα ελαστρα κατανέμεται σε όλο το τόξο. Πάντως η συνολική δύναμη μπορεί να θεωρηθεί, ότι ασκείται σε ένα σημείο του τόξου επαφής και σε μια

απόσταση (a) από τη γραμμή των κέντρων των κυλίνδρων.

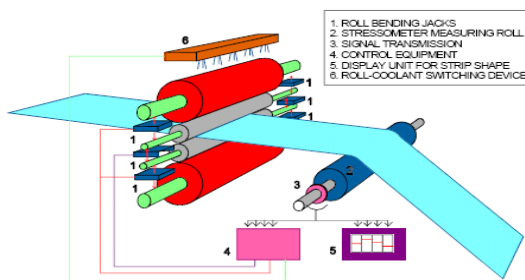
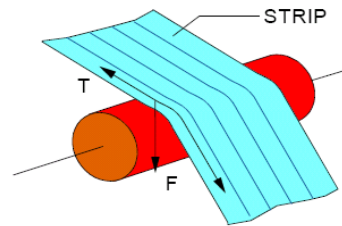
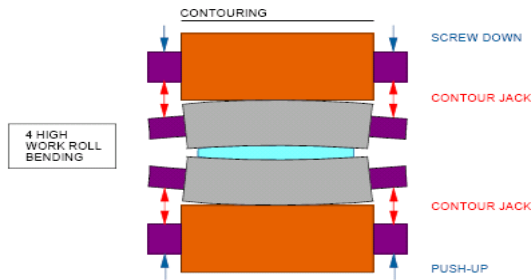


- Έλαση εν θερμώ.

Θερμοκρασία κατά την είσοδο 400-500° C. Μπορεί να υπάρχουν 3 ή και 5 σειρές ελαστρων.

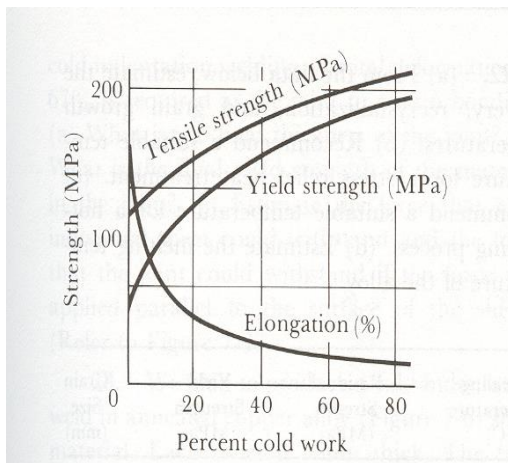


- Προβλήματα επιπεδότητας και διορθωτικές ενέργειες



- Αυτόματος έλεγχος της επιπεδότητας κατά την έλαση

Άσκηση: Υπολογίστε α) την ενδοτράχυνση β) τις τελικές ιδιότητες αλουμινίου 3105 που από αρχικό πάχος 50mm μειώνεται με ψυξηλασία σε πάχος 6,25 mm. Δίνεται το διάγραμμα:



Υπολογίζουμε την ενδοτράχυνση:
 Ενδοτράχυνση = $100(A_0 - A_f)/A_0 = 87,5\%$

Από το διάγραμμα βρίσκουμε ότι

Αντοχή = 220 Mpa

Όριο διαρροής = 200Mpa

Επιμήκυνση = 2,5%

Άσκηση: Να υπολογιστεί η δύναμη που πρέπει να ασκούν τα ελαστρα όταν έχουμε έλαση εν θερμώ φύλλου πάχους 40mm και πλάτους 760mm, ποσοστό

ενδοτράχυνσης 30%, έλαστρα διαμέτρου 900mm, όριο διαρροής 140 Μρα στην είσοδο 200 Μρα στην έξοδο. Θεωρείστε $\mu=0,3$

$$30\%=100(h_0-h_f)h_0 \quad h_f=28 \quad \Delta h=12$$

$$\bar{h} = \frac{h_0 + h_f}{2} = 34\text{mm} \quad Q = \frac{\mu \cdot Lp}{\bar{h}} = 0,3 \frac{\sqrt{450 \cdot 12}}{34} \quad Lp = \sqrt{R\Delta h}$$

$$F = \frac{2}{\sqrt{3}} \bar{\sigma}_0 \left[\frac{1}{Q} (e^Q - 1) b \sqrt{R\Delta h} \right] \Rightarrow F=15,7\text{MN}$$

Video που αφορούν την έλαση

Aluminum Can Production (3D Animation)

https://www.youtube.com/watch?v=WU_iSQa37aA

Production process of beverage cans

<https://www.youtube.com/watch?v=hcsDxCagWrY>

Rexam's Full Circle film - the lifecycle of an aluminium can

<https://www.youtube.com/watch?v=7dK1VVtja5c>

How it's made - Aluminium cans

<https://www.youtube.com/watch?v=V4TVDSWuR5E>

How It's Made: Aluminium Foil

<https://www.youtube.com/watch?v=f4OTj9yNOak>

How its Made Aluminium Pots and Pans

<https://www.youtube.com/watch?v=nDKAuB0mrFs>