

Παραμένουσες τάσεις και παραμορφώσεις

ΔΙΔΑΣΚΕΙΑ 11

ΜΕΡΟΣ Α

ΠΑΡΑΜΕΝΟΥΣΕΣ ΤΑΣΕΙΣ

Περιεχόμενα ενότητας

- ▶ Παραμένουσες τάσεις από ανομοιόμορφη κατανομή πλαστικών παραμορφώσεων
- ▶ Κατανομές παραμενουσών τάσεων
- ▶ Παράγοντες που επιδρούν στις παραμένουσες τάσεις
- ▶ Επιδράσεις των παραμενουσών τάσεων στη μηχανική συμπεριφορά
- ▶ Έλεγχος και μείωση των παραμενουσών τάσεων

Εισαγωγή στις παραμένουσες τάσεις

- Παραμένουσες τάσεις είναι οι τάσεις που επιδρούν σε ένα σώμα μετά την απομάκρυνση όλων των εξωτερικών φορτίων (δυνάμεων ή ροπών)
- Οι παραμένουσες τάσεις στις μεταλλικές κατασκευές αναπτύσσονται κατά τη διάρκεια διαφόρων κατεργασιών
 - Κατεργασίες μορφοποίησης (π.χ. χύτευση)
 - Κατεργασίες αφαίρεσης υλικού (π.χ. τórνευση, φραζάρισμα)
 - Κατεργασίες διαμορφώσεων (π.χ. έλαση, σφυρηλάτηση)
 - Θερμικές επιφανειακές κατεργασίες (π.χ. βαφή, ενανθράκωση)
 - Κατεργασίες συναρμολόγησης (π.χ. συγκολλήσεις, συνδέσεις)

Εισαγωγή στις παραμένουσες τάσεις

- Οι παραμένουσες τάσεις ταξινομούνται σε δυο κατηγορίες ανάλογα με το μηχανισμό που τις προκαλεί
 - Τάσεις που προκαλούνται από εξαναγκασμένη συναρμογή κατασκευαστικών στοιχείων
 - Τάσεις που προκαλούνται από ανομοιόμορφη κατανομή πλαστικών και θερμικών παραμορφώσεων

Εισαγωγή στις παραμένουσες τάσεις στις συγκολλήσεις

- ❑ Οφείλονται στην τοπική θέρμανση και στη δημιουργία θερμικών τάσεων και παραμορφώσεων
- ❑ Οι παραμένουσες τάσεις μπορεί να έχουν σημαντική επίδραση στην μηχανική αντοχή των συγκολλήσεων
- ❑ Ιδιαίτερα οι υψηλές εφελκυστικές τάσεις στην περιοχή της ραφής μπορεί να προκαλέσουν ρωγμάτωση ή πρόωρη αστοχία

Ισορροπία παραμένουσων τάσεων σε στερεό

- Επιδρούν σε στερεό όταν δεν επιβάλλεται εξωτερική φόρτιση. Δηλαδή για την συνισταμένη δύναμη και ροπή σε κάθε σημείο της διατομής ισχύει:

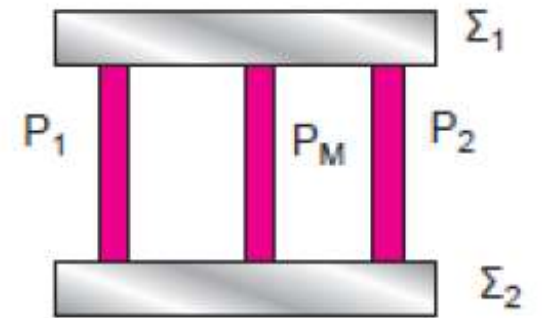
$$\int_{S_y} \sigma(y) dS_y = 0$$

$$\int dM = 0$$

- Αυτό πρακτικά σημαίνει ότι εάν σε μια περιοχή αναπτύσσονται εφελκυστικές τάσεις, τότε σε μια άλλη περιοχή της διατομής θα αναπτύσσονται θλιπτικές τάσεις για εξισορρόπηση

Παραμένουσες τάσεις λόγω ανομοιόμορφης κατανομής πλαστικών παραμορφώσεων

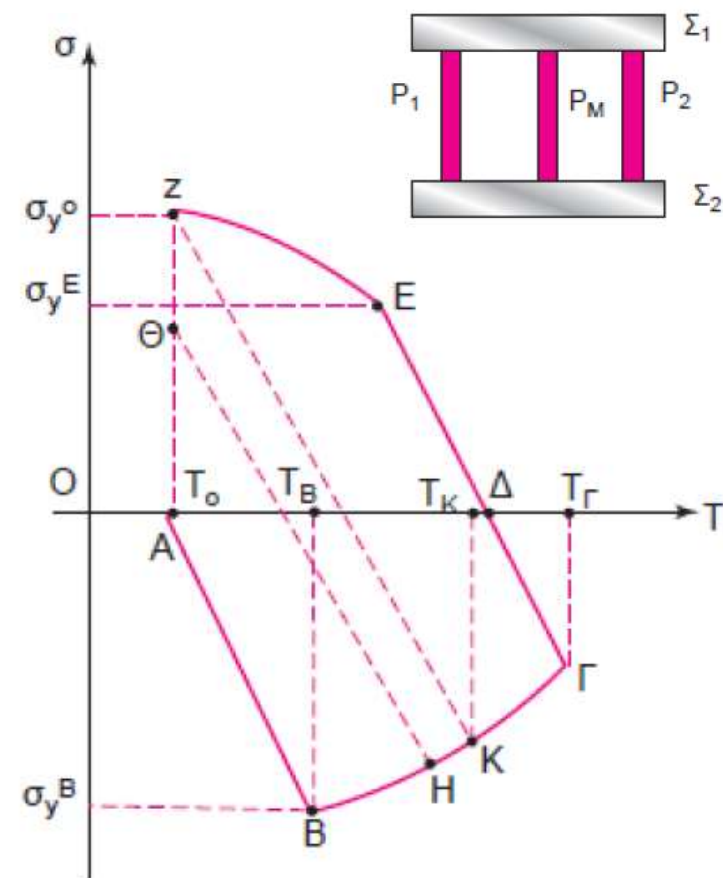
- ❑ Σύστημα 3 ράβδων συνδεδεμένο σε 2 σταθερά στηρίγματα
 - ✓ Δεν επιβάλλονται εξωτερικά φορτία
 - ✓ Θερμαίνεται μόνο η μεσαία ράβδος P_M , και αφήνεται να ψυχθεί σε θερμοκρασία περιβάλλοντος
 - ✓ Οι P_1 και P_2 δεν θερμαίνονται και δεν παραμορφώνονται



-

Παραμένουσες τάσεις λόγω ανομοιόμορφης κατανομής πλαστικών παραμορφώσεων

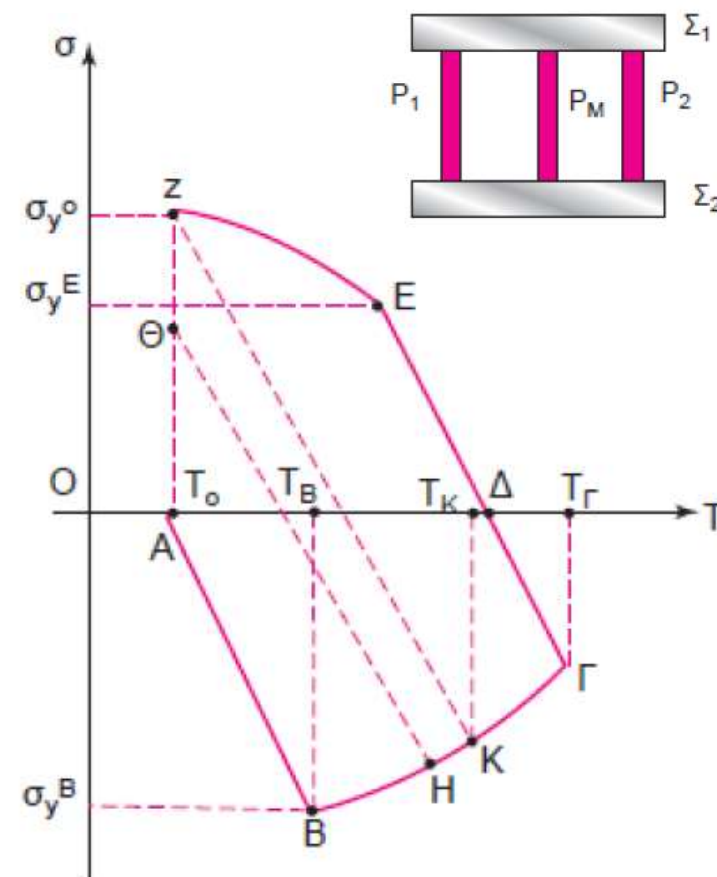
- Η αποφόρτιση είναι πάντα ελαστική (γραμμή ΓΔ). Στο σημείο Δ μηδενικής φόρτισης, η ράβδος είναι ακόμη θερμή
- Η συνεχιζόμενη ψύξη προκαλεί τη συστολής της P_m η οποία παρεμποδίζεται από τις P_1 και P_2 καθώς δεν παραμορφώνονται.
- Έτσι αναπτύσσεται εφελκυστική τάση στην P_m , η οποία αυξάνεται με την πτώση της θερμοκρασίας (Γραμμή ΔΕ)



Παραμένουσες τάσεις λόγω ανομοιόμορφης κατανομής πλαστικών παραμορφώσεων

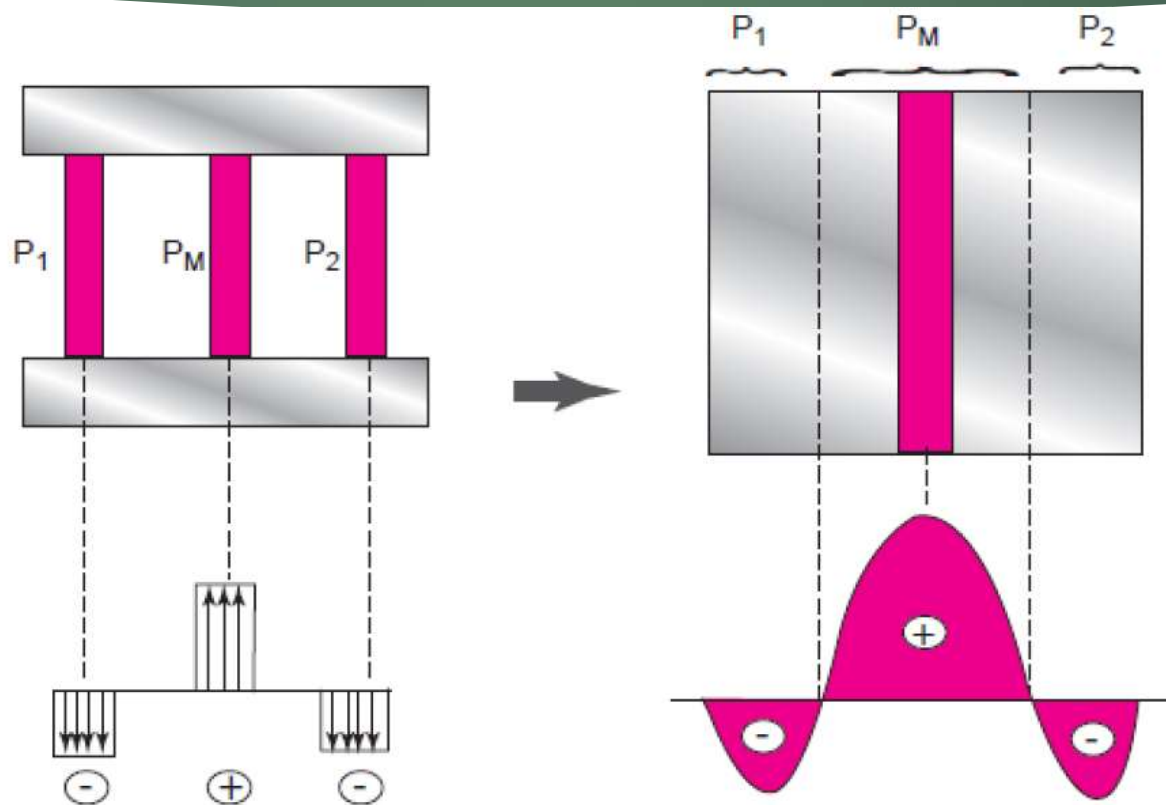
11

- ❑ Στο σημείο E η εφελκυστική τάση στην ράβδο Pm είναι ίση με το όριο διαρροής σε εφελκυσμό του υλικού
- ❑ Έπειτα η τάση ακολουθεί την καμπύλη EZ, δηλαδή τη μεταβολή του ορίου διαρροής με τη θερμοκρασία
- ❑ Στο σημείο Z, η ράβδος έχει ψυχθεί πλήρως και η θερμοκρασία της είναι ίση με τη θερμοκρασία περιβάλλοντος
- ❑ Παρατηρείται παραμένουσα εφελκυστική τάση σ_y^0



Παραμένουσες τάσεις λόγω ανομοιόμορφης κατανομής πλαστικών παραμορφώσεων

12

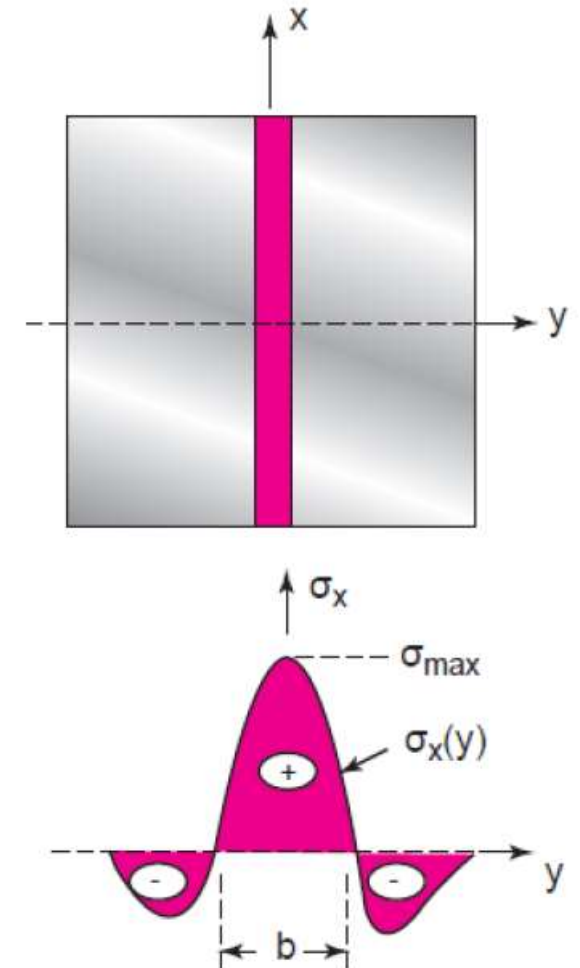


Σχήμα 3: Αντιστοίχιση της ανάπτυξης παραμενουσών τάσεων στη διάταξη των τριών ράβδων με την ανάπτυξη παραμενουσών τάσεων στις συγκολλήσεις

Παραμένουσες τάσεις λόγω ανομοιόμορφης κατανομής πλαστικών παραμορφώσεων

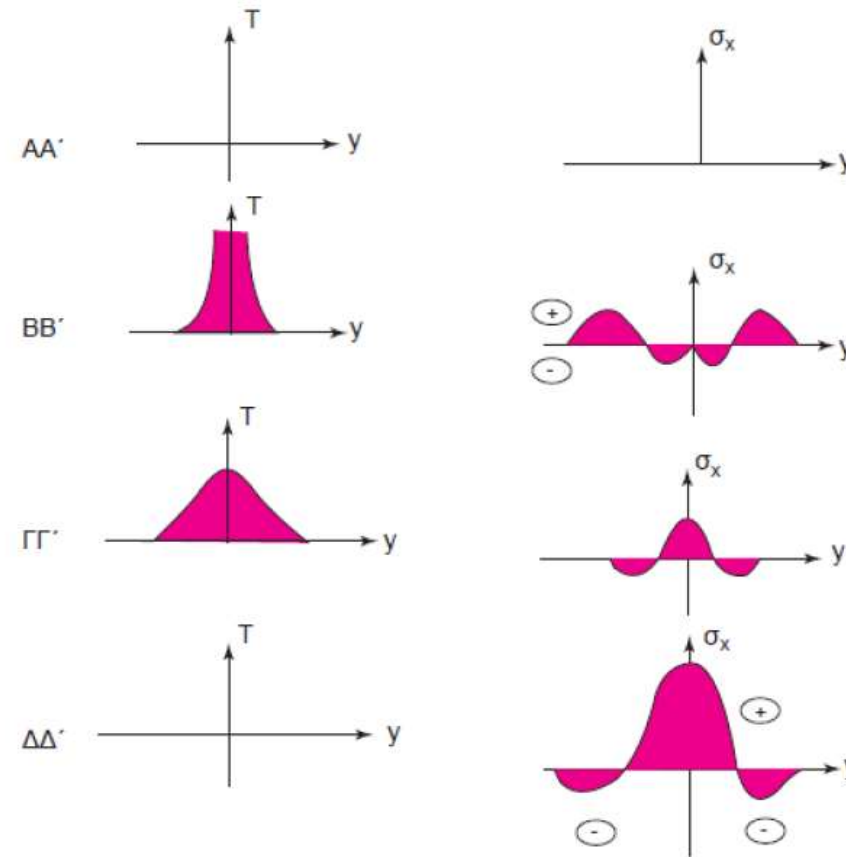
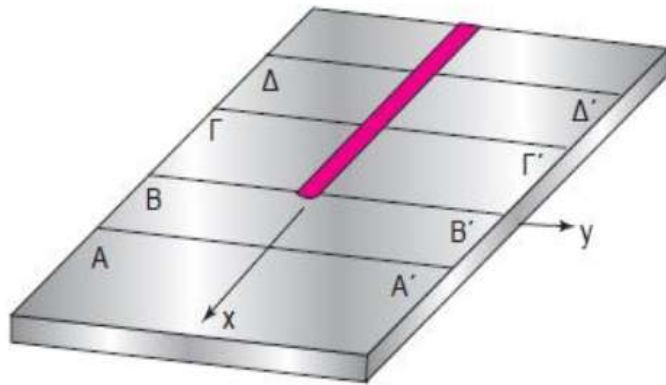
13

- ❑ Συμπερασματικά δημιουργείται λόγω τοπικά ισχυρά ανομοιόμορφης θέρμανσης με μεγάλες θερμοκρασιακές κλίσεις μια ανομοιόμορφη κατανομή θερμικών παραμορφώσεων
- ❑ Που οδηγεί στη δημιουργία εφελκυστικών παραμένουσων τάσεων στο μέταλλο συγκόλλησης και κοντά σε αυτό
- ❑ Και θλιπτικές παραμένουσες τάσεις στο βασικό μέταλλο, μακριά από το μέταλλο συγκόλλησης

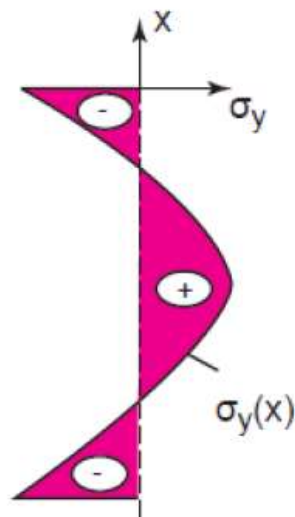
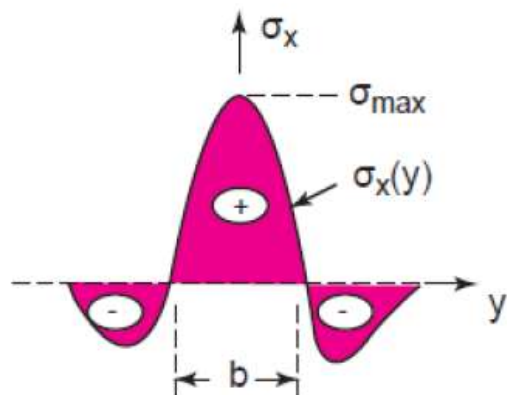
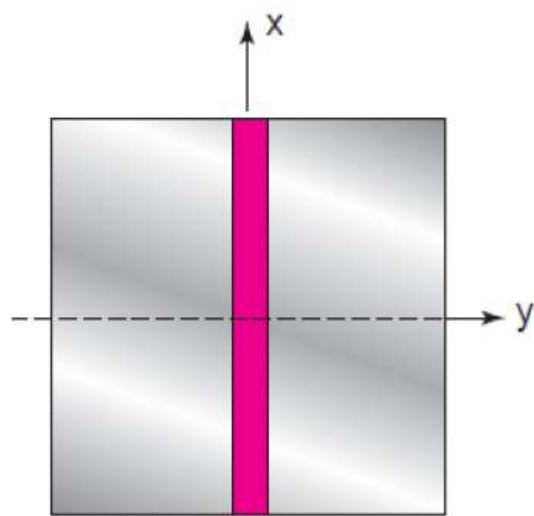


Παραμένουσες τάσεις λόγω ανομοιόμορφης κατανομής πλαστικών παραμορφώσεων

14



Κατανομή παραμένουσων τάσεων σε μετωπικές συγκολλήσεις



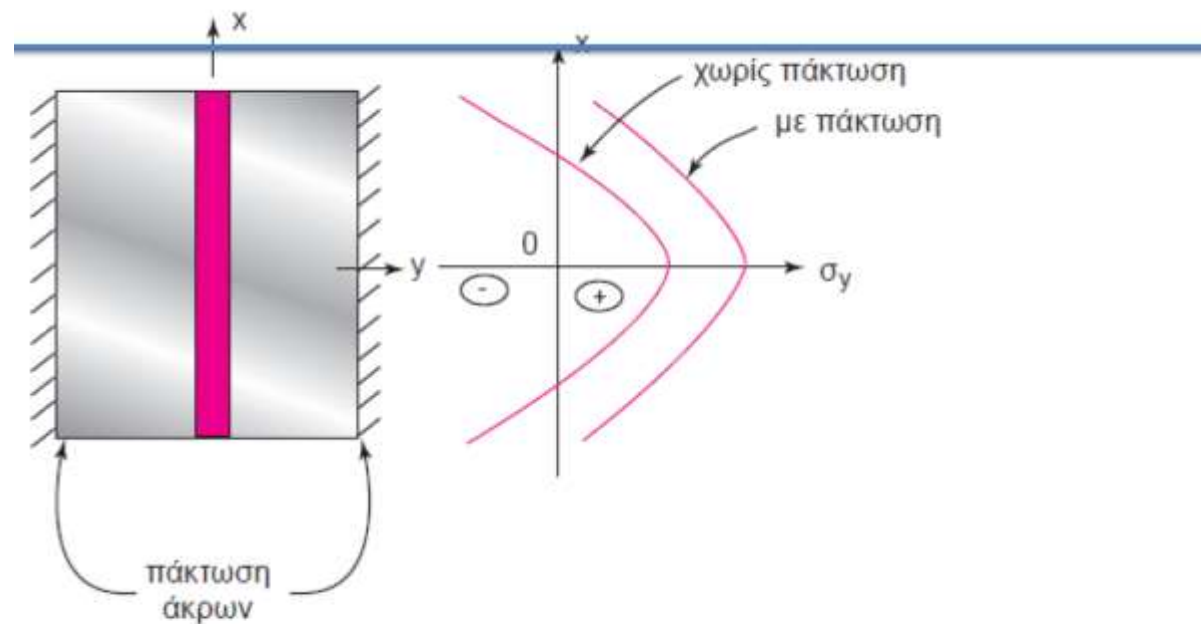
$$\sigma_x(y) = \sigma_x^{\max} \left[1 - (y/b)^2 \right] e^{-\frac{1}{2}(y/b)^2}$$

b το πλάτος της εφελκυστικής ζώνης

Σχήμα 5: Κατανομή της παραμένουσας τάσης στην εγκάρσια και διαμήκη διεύθυνση σε μία συγκόλληση

Κατανομή παραμένουσων τάσεων σε μετωπικές συγκολλήσεις

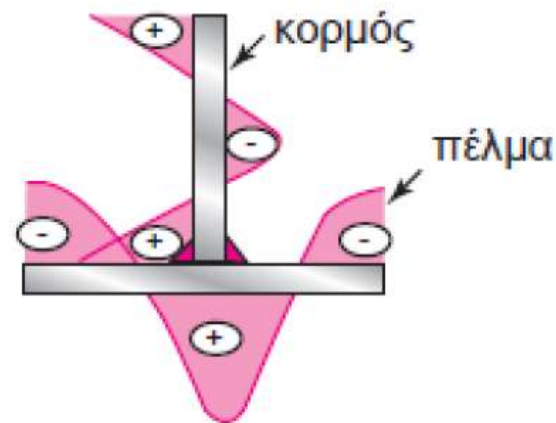
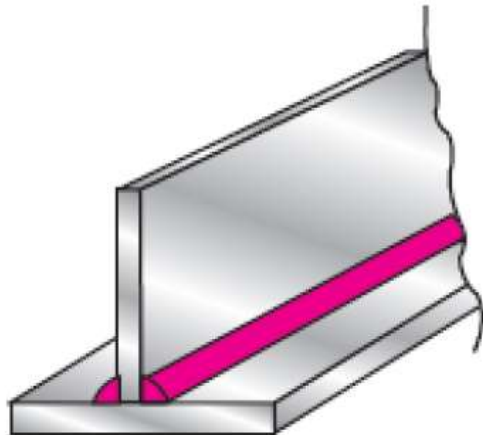
- Η πάκτωση παρεμποδίζει τη συστολή
- Δηλαδή προστίθεται μια ομοιόμορφη εφελκυστική τάση



Σχήμα 6: Επίδραση εξωτερικού περιορισμού (πάκτωσης άκρων) στην κατανομή της παραμένουσας τάσης σε μία συγκόλληση

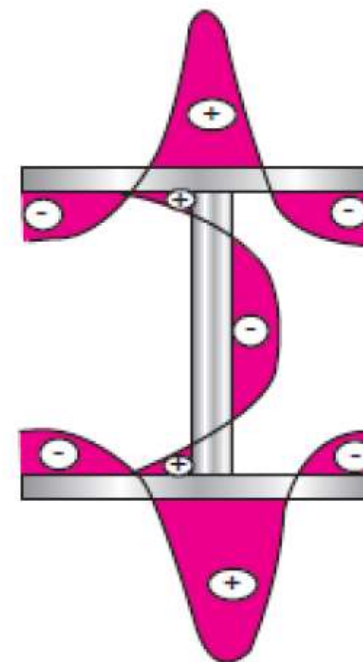
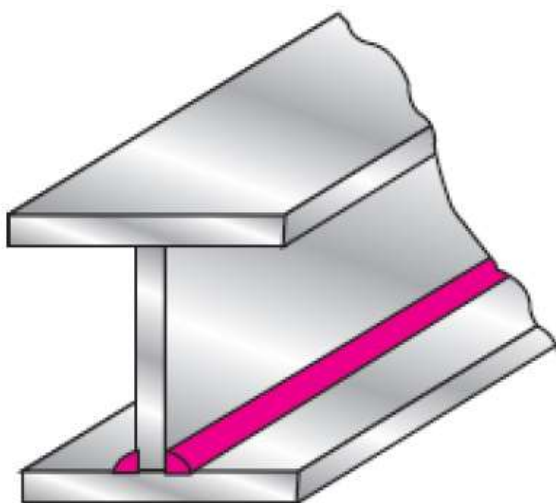
Κατανομή παραμένουσων τάσεων δοκούς διατομής H,T και κοιλοδοκούς

- Σε όλες τις περιπτώσεις οι τάσεις είναι εφελκυστικές κοντά στη συγκόλληση και θλιπτικές μακριά από αυτή



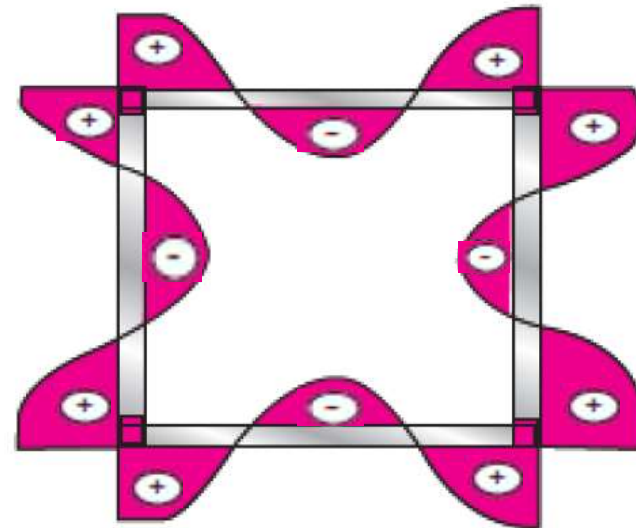
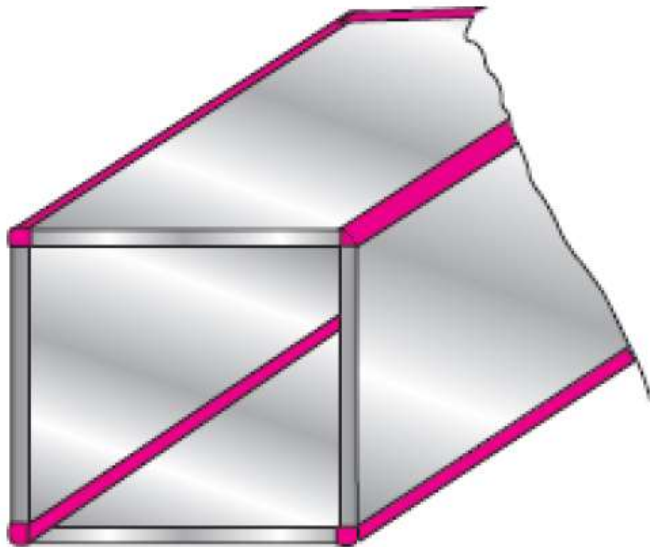
Κατανομή παραμένουσων τάσεων δοκούς διατομής H,T και κοιλοδοκούς

- Σε όλες τις περιπτώσεις οι τάσεις είναι εφελκυστικές κοντά στη συγκόλληση και θλιπτικές μακριά από αυτή



Κατανομή παραμένουσων τάσεων δοκούς διατομής H,T και κοιλοδοκούς

- Σε όλες τις περιπτώσεις οι τάσεις είναι εφελκυστικές κοντά στη συγκόλληση και θλιπτικές μακριά από αυτή



Παράγοντες που επιδρούν στις παραμένουσες τάσεις

A) Επίδραση του πλάτους ελάσματος

- ▶ Όλες οι πειραματικές παρατηρήσεις δείχνουν ότι το πλάτος ελάσματος δεν επηρεάζει το μέγεθος των παραμενουσών τάσεων εφόσον το πλάτος είναι πολύ μεγαλύτερο από το εύρος του πεδίου των παραμενουσών τάσεων

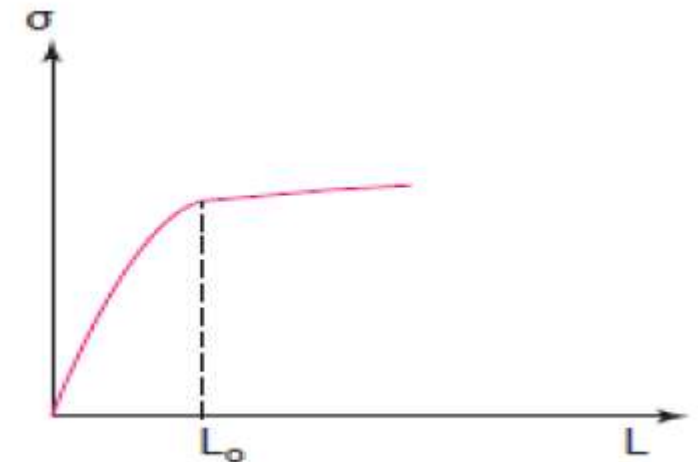
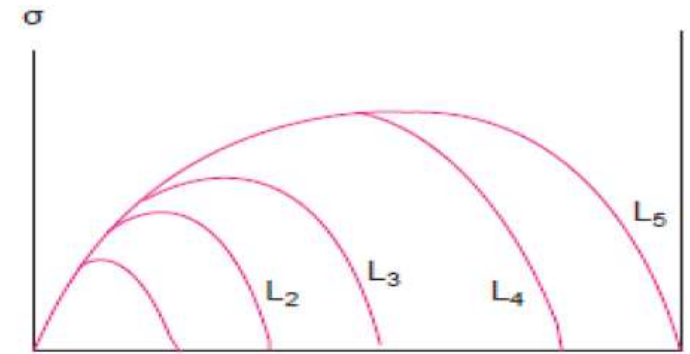
B) Επίδραση της ακολουθίας/ σειράς συγκόλλησης

- ▶ Από πειραματικές μετρήσεις έχει βρεθεί ότι η σειρά ή η ακολουθία συγκόλλησης δεν έχει σημαντική επίδραση στο μέγεθος και την κατανομή των παραμενουσών τάσεων. Η ακολουθία συγκόλλησης έχει σημαντική επίδραση μόνο στις παραμορφώσεις των συγκολλήσεων

Παράγοντες που επιδρούν στις παραμένουσες τάσεις σε μετωπικές συγκολλήσεις

Γ) Επίδραση του μήκους συγκόλλησης

- ▶ Το ικανό μήκος για τη δημιουργία παραμένουσων τάσεων L_0 εξαρτάται από τη γεωμετρία και τη μέθοδο συγκόλλησης
- ▶ Αυξάνεται με το μήκος της συγκόλλησης μέχρι ένα πλατό
- ▶ Μέγιστη στο μέσον του ελάσματος και μηδενίζεται στα άκρα



Επίδραση των παραμενουσών τάσεων στη μηχανική συμπεριφορά

- Εξωτερικά φορτία και παραμένουσες τάσεις αθροίζονται διανυσματικά
- Έτσι αστοχία σε θραύση σε εφελκυσμό ή λυγισμό (ειδικά σε λεπτότοιχα ελάσματα) μπορεί να επέλθει σε χαμηλότερα εξωτερικά φορτία από αυτά που έχουν ληφθεί υπόψη
- Επιδρούν αρνητικά επίσης και στην διάρκεια ζωής μια κατασκευής σε κόπωση, καθώς λόγω των παραμενουσων τάσεων και πιθανών σφαλμάτων (πόροι, μικρορωγμές κ.α.) σχηματίζονται ταχύτατα ρωγμές κόπωσης

Επίδραση των παραμενουσών τάσεων στη μηχανική συμπεριφορά

- Με την αύξηση των εξωτερικών φορτίων η επίδραση της παραμένουσας τάσης της συγκόλλησης στην κατανομή των τάσεων στο έλασμα μειώνεται
- Η επίδραση της παραμένουσας τάσης σχεδόν μηδενίζεται όταν τα εξωτερικά φορτία προκαλέσουν γενικευμένη πλαστική παραμόρφωση
- Οι παραμένουσες τάσεις μειώνονται όταν η κατασκευή υποβληθεί επαναλαμβανόμενη φόρτιση
- Οι παραμένουσες τάσεις μειώνονται όταν η κατασκευή υποβληθεί σε υψηλά μηχανικά φορτία
- Η επίδραση των παραμενουσών τάσεων είναι τόσο μεγαλύτερη όσο μικρότερα είναι τα εξωτερικά μηχανικά φορτία

Έλεγχος και μείωση των παραμενουσών τάσεων

Στις συγκολλητές κατασκευές θα πρέπει οι παραμένουσες τάσεις να διατηρούνται στις ελάχιστες δυνατές τιμές. Η επίτευξη αυτή γίνεται με δυο τρόπους

1. Με κατάλληλο σχεδιασμό πριν τη συγκόλληση και
2. Με διαδικασίες ανακούφισης τάσεων μετά τη συγκόλληση

Έλεγχος και μείωση των παραμενουσών τάσεων - Σχεδιασμός πριν τη συγκόλληση

- ▶ Μείωση του όγκου του μετάλλου συγκόλλησης
- ▶ Αφού οι παραμένουσες τάσεις επηρεάζονται από τη συστολή του μετάλλου συγκόλλησης κατά τη στερεοποίηση.
- ▶ Πραγματοποιείται με κατάλληλη προετοιμασία των ακμών των ελασμάτων

Έλεγχος και μείωση των παραμενουσών τάσεων - Σχεδιασμός πριν τη συγκόλληση

- ▶ Ο σχεδιασμός θα πρέπει να στοχεύει στις μικρότερες δυνατές διαστάσεις ανοίγματος της σύνδεσης
- ▶ και τις μικρότερες γωνίες V που επιτρέπουν την πρόσβαση του ηλεκτροδίου για τη συγκόλληση ώστε να ελαχιστοποιείται το μέταλλο συγκόλλησης
- ▶ Όταν είναι δυνατό να χρησιμοποιούνται προδιαμορφώσεις U , καθώς απαιτούν λιγότερο όγκο υλικού σε σχέση με τις V

Διαδικασίες ανακούφισης τάσεων μετά τη συγκόλληση

- ▶ Αφορούν κυρίως θερμικές ή μηχανικές επιδράσεις.
- ▶ Η πιο γνωστή μέθοδος είναι η αποτατική ανόπτηση, η οποία περιλαμβάνει θέρμανση της συγκόλλησης σε κάποια θερμοκρασία.
- ▶ Η αύξηση της θερμοκρασίας προκαλεί μείωση του ορίου διαρροής του μετάλλου και επιτρέπει έτσι τη χαλάρωση της παραμένουσας τάσης της πλαστικής παραμόρφωσης.
- ▶ Οι παραμένουσες τάσεις είναι δυνατόν να μειωθούν και με μηχανικούς τρόπους όπως σφυρηλάτηση, σφαιροβολή και εφαρμογή είτε ταλαντώσεων μηχανικών ή με υπερήχους

Ερωτήσεις - Απορίες

ΜΕΡΟΣ Β

ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΕΙΣ

Περιεχόμενα ενότητας

- ▶ Οι βασικές παραμορφώσεις στις συγκολλήσεις
- ▶ Μεταβατική παραμόρφωση του μετάλλου κατά τη συγκόλληση
- ▶ Εγκάρσια συστολή σε μετωπικές συγκολλήσεις
- ▶ Γωνιακή μεταβολή σε μετωπικές συγκολλήσεις
- ▶ Γωνιακή μεταβολή σε αυχενικές συγκολλήσεις
- ▶ Διαμήκη συστολή και διαμήκης καμπτική παραμόρφωση
- ▶ Παραμορφώσεις λυγισμού
- ▶ Περιορισμός των παραμορφώσεων στις συγκολλήσεις

Εισαγωγή στις παραμορφώσεις συγκολλήσεων

- ▶ Οι παραμένουσες τάσεις που προκαλούνται λόγω του θερμικού κύκλου στις συγκολλήσεις επιφέρουν παραμορφώσεις
- ▶ Οι πιο συνηθισμένες είναι η συστολή, η κάμψη, η περιστροφή και ο λυγισμός
- ▶ Εάν δεν ελεγχθούν κατάλληλα μπορεί να είναι μεγαλύτερες από τις προδιαγεγραμμένες επιτρεπτές
- ▶ Έτσι υπό προϋποθέσεις μπορεί να οδηγήσουν σε αστοχία

Εισαγωγή στις παραμορφώσεις συγκολλήσεων

Η αντιμετώπιση των παραμορφώσεων στις συγκολλήσεις πραγματοποιείται σε 3 επίπεδα:

1. Τον σχεδιασμό της συγκόλλησης έτσι ώστε να προκύψουν οι ελάχιστες δυνατές παραμορφώσεις
2. Την ανάπτυξη προδιαγραφών για ανοχές παραμορφώσεων δηλαδή την θέσπιση ορίων για επιτρεπτές παραμορφώσεις στις συγκολλητές κατασκευές. Ήδη αρκετοί κώδικες κατασκευών περιλαμβάνουν τέτοιου είδους προδιαγραφές
3. Την εφαρμογή μεθόδων για τη διόρθωση των παραμορφώσεων μετά το πέρας της συγκόλλησης. Εδώ περιλαμβάνονται τεχνικές όπως η εύθυνση με θέρμανση, σφυριλάτηση κ.λ.π.

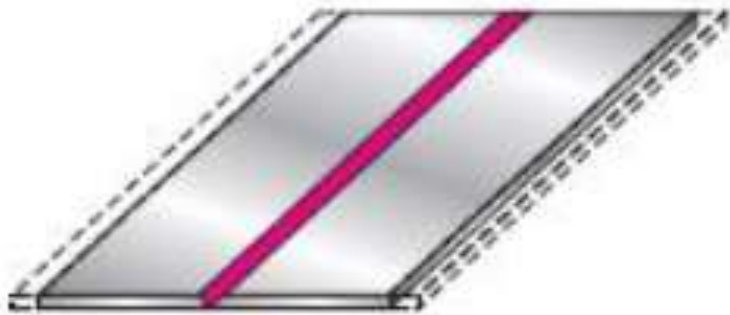
Οι βασικές παραμορφώσεις στις συγκολλήσεις

- Οι πραγματικές παραμορφώσεις των συγκολλητών κατασκευών είναι σύνθετες.
- Τις περισσότερες φορές είναι δυνατόν να αναλυθούν σε επι μέρους συνιστώσες που αντιστοιχούν στις εξής βασικές παραμορφώσεις:
 1. Εγκάρσια συστολή
 2. Διαμήκης συστολή
 3. Επίπεδη περιστροφή
 4. Γωνιακή μεταβολή
 5. Διαμήκης καμπτική παραμόρφωση
 6. Λυγισμός

Εγκάρσια και διαμήκης συστολή

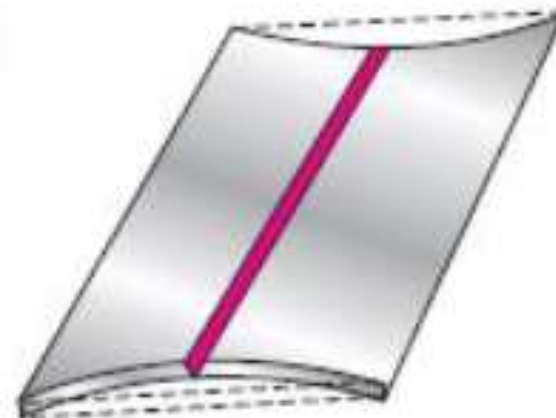
Εγκάρσια συστολή

- Συστολή σε διεύθυνση κάθετη στον άξονα της συγκόλλησης



Διαμήκης συστολή

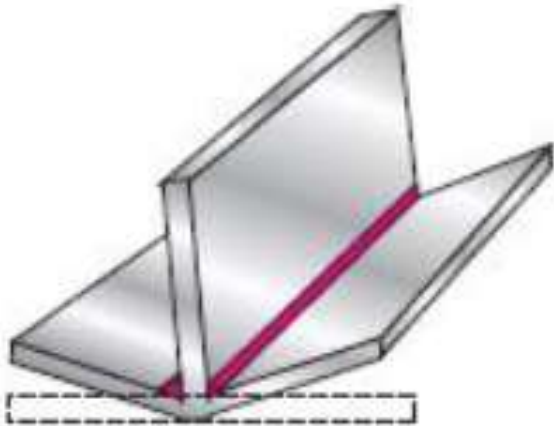
- Συστολή κατά μήκος του άξονα συγκόλλησης



Επίπεδη περιστροφή και γωνιακή μεταβολή

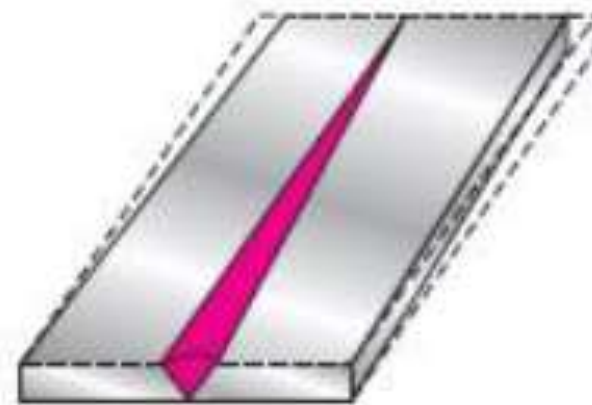
Επίπεδη περιστροφή

- Περιστροφή στο επίπεδο του ελάσματος



Γωνιακή μεταβολή

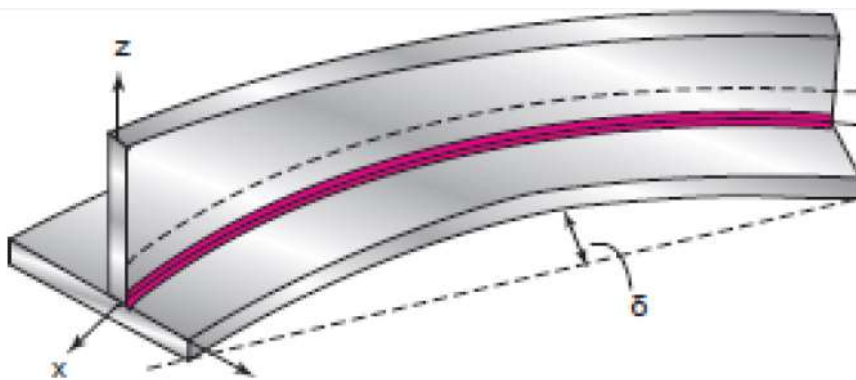
- Περιστροφή γύρω από τον άξονα της συγκόλλησης



Διαμήκης καμπτική παραμόρφωση και λυγισμός

Διαμήκης καμπτική παραμόρφωση

- Κάμψη σε επίπεδο κάθετο στο έλασμα



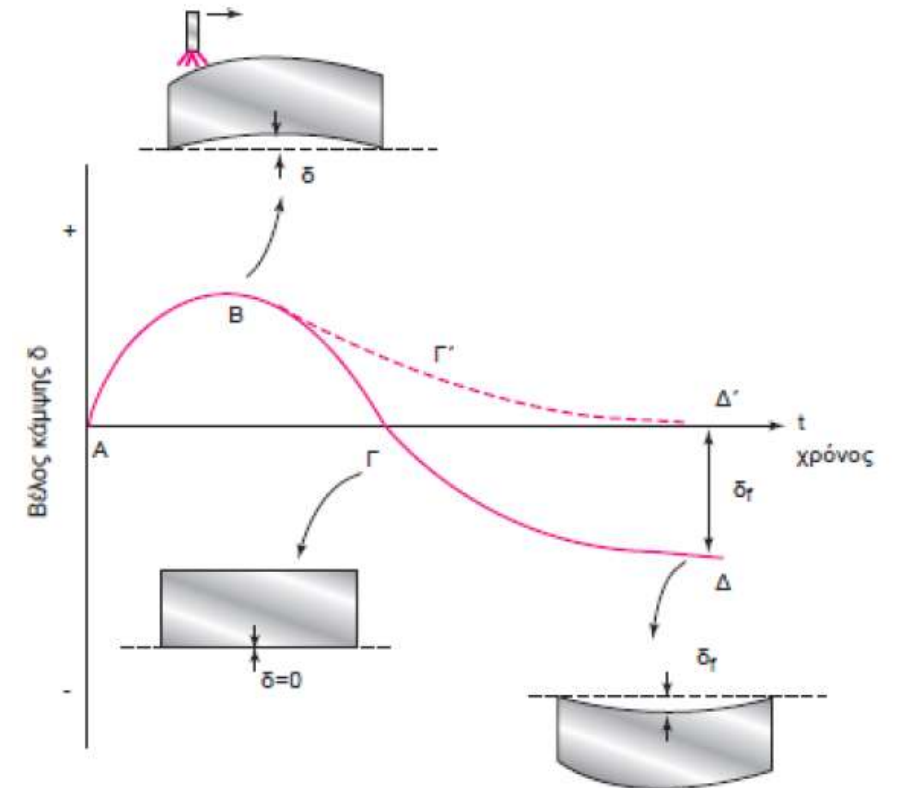
Λυγισμός

- Λόγω θλιπτικών παραμένουσων τάσεων



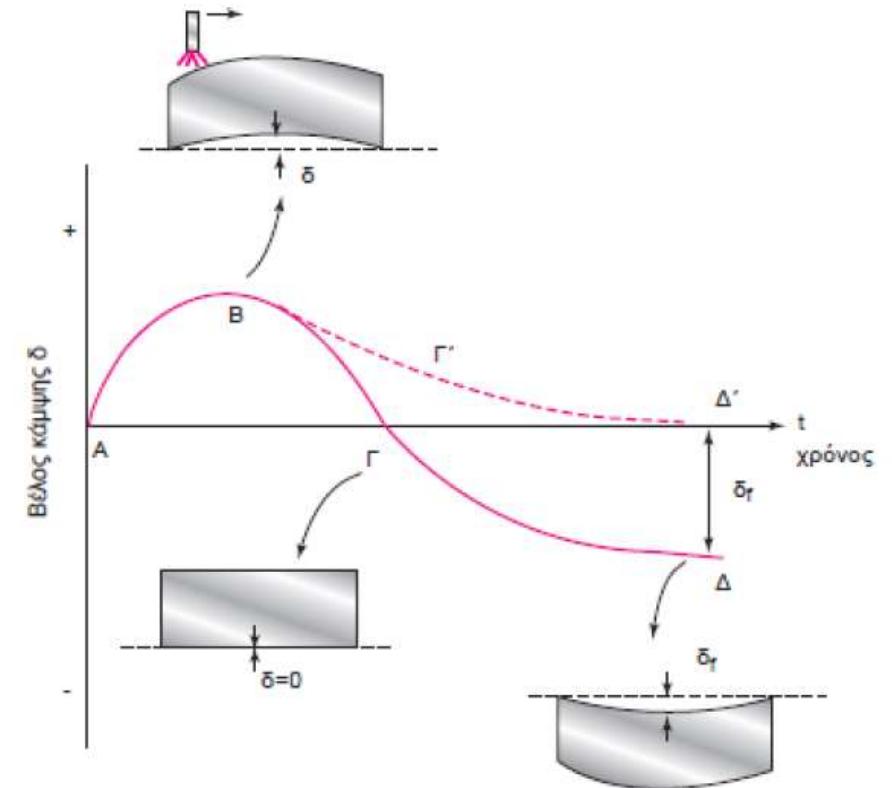
Μεταβατική παραμόρφωση του μετάλλου κατά τη συγκόλληση

- Αρχικά θερμαίνεται η μία ακμή του ελάσματος. Έτσι η πάνω πλευρά θερμαίνεται περισσότερο από την κάτω
- Το έλασμα κάμπτεται σύμφωνα με την καμπύλη AB
- Αν όλες οι παραμορφώσεις κατά τη διάρκεια του θερμικού κύκλου ήταν ελαστικές
- Τότε οι θερμικές τάσεις θα μηδενιζόταν στο τέλος του κύκλου (καμπύλη ABΓ'Δ')



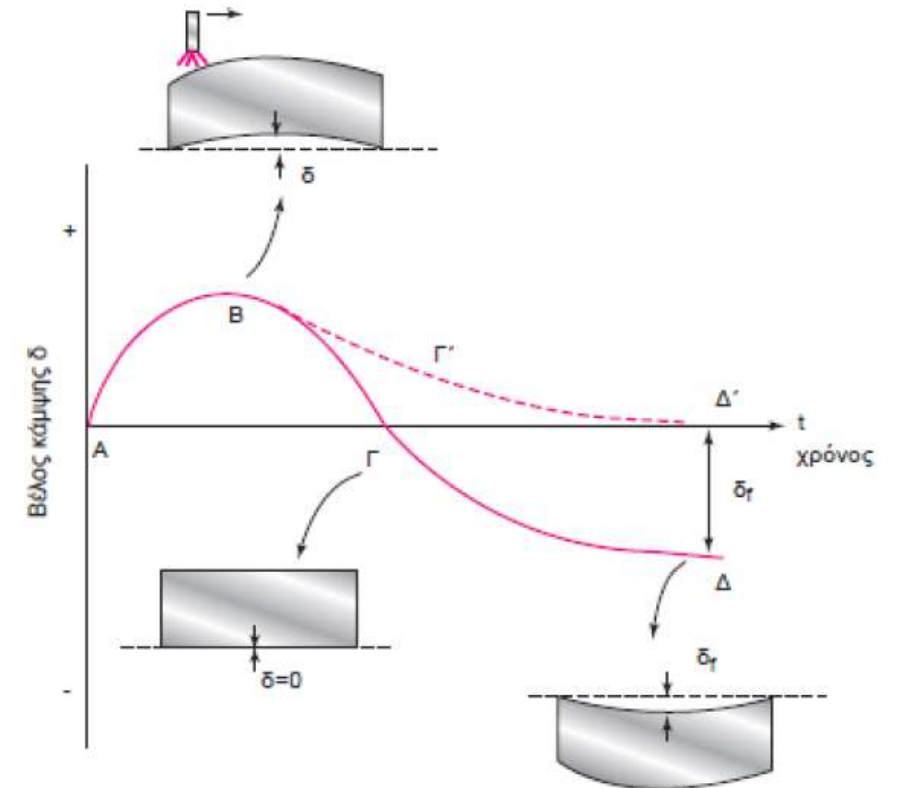
Μεταβατική παραμόρφωση του μετάλλου κατά τη συγκόλληση

- Κατά την ψύξη, δημιουργούνται πλαστικές παραμορφώσεις στις περιοχές που η θερμοκρασία είναι υψηλή
- Έτσι δημιουργούνται παραμένουσες τάσεις
- Μετά την ψύξη το τελικό βέλος κάμψης είναι δ_f (καμπύλη ΓΔ)
- Παρατηρούμε ότι οι μεταβατική και η τελική παραμόρφωση του μετάλλου έχουν αντίθετες κατευθύνσεις και περίπου το ίδιο μέγεθος



Μεταβατική παραμόρφωση του μετάλλου κατά τη συγκόλληση

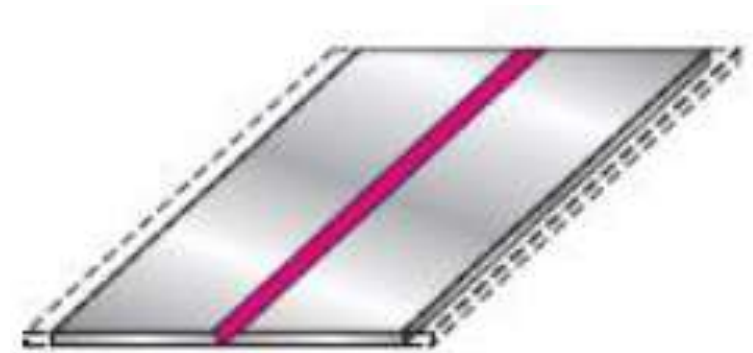
- Η ανάπτυξη των παραμενουσών τάσεων και των παραμορφώσεων στις συγκολλήσεις παίρνει πολύ περισσότερο χρόνο από αυτόν που απαιτείται για την πραγματοποίηση της συγκόλλησης
- Οι παραμένουσες τάσεις και οι παραμορφώσεις συνεχίζουν να αναπτύσσονται και κατά την ψύξη του ελάσματος και λαμβάνουν τις τελικές τους τιμές μόνο όταν το έλασμα ψυχθεί στην αρχική θερμοκρασία



Εγκάρσια συστολή σε μετωπικές συγκολλήσεις

Η εγκάρσια συστολή αποτελείται από 2 συνιστώσες

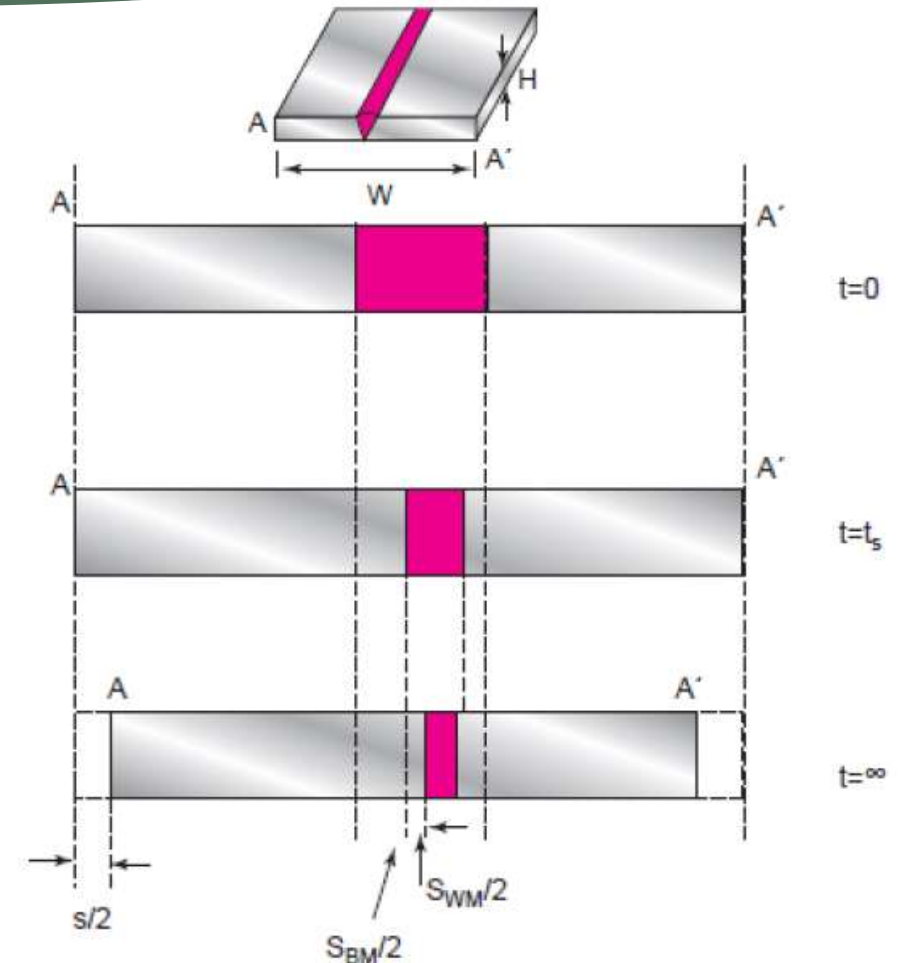
- ✓ Συστολή του βασικού μετάλλου (BM)
- ✓ Συστολή του μετάλλου συγκόλλησης (WM)



Εγκάρσια συστολή σε μετωπικές συγκολλήσεις

Για ελεύθερη συγκόλληση με ένα πάσο

- Θερμότητα ρέει στο BM και διαστέλλεται
- Η διαστολή αυτή παραλαμβάνεται από το WM, λόγω της συστολής του κατά τη στερεοποίηση.
- Έτσι σε $t=t_s$, η συνολική συστολή S είναι μηδενική



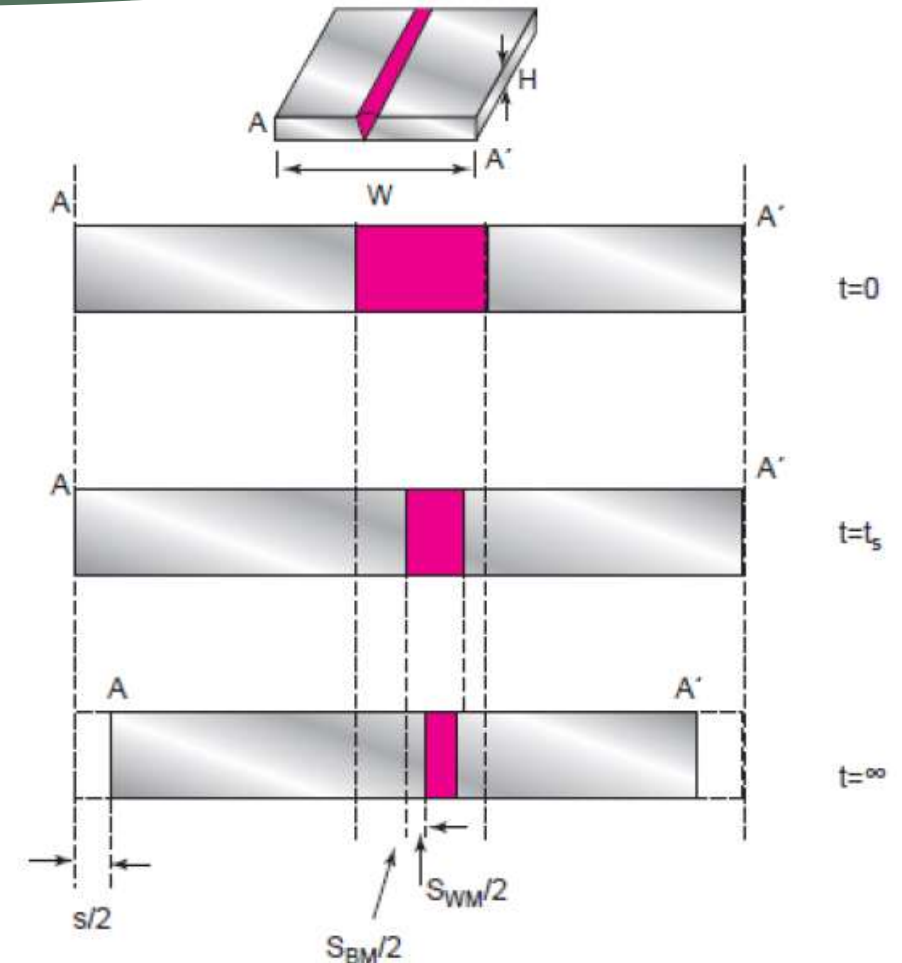
Εγκάρσια συστολή σε μετωπικές συγκολλήσεις

Σε χρόνο $t > t_s$

- ▶ Το BM ψύχεται και συστέλλεται κατά S_{BM}
- ▶ Το WM έχει στερεοποιηθεί και συστέλλεται κατά S_{WM}
- ▶ Ενώ ταυτόχρονα αντιστέκεται στην περαιτέρω συστολή του BM
- ▶ Έτσι προκαλείται η μετακίνηση των άκρων AA' κατά

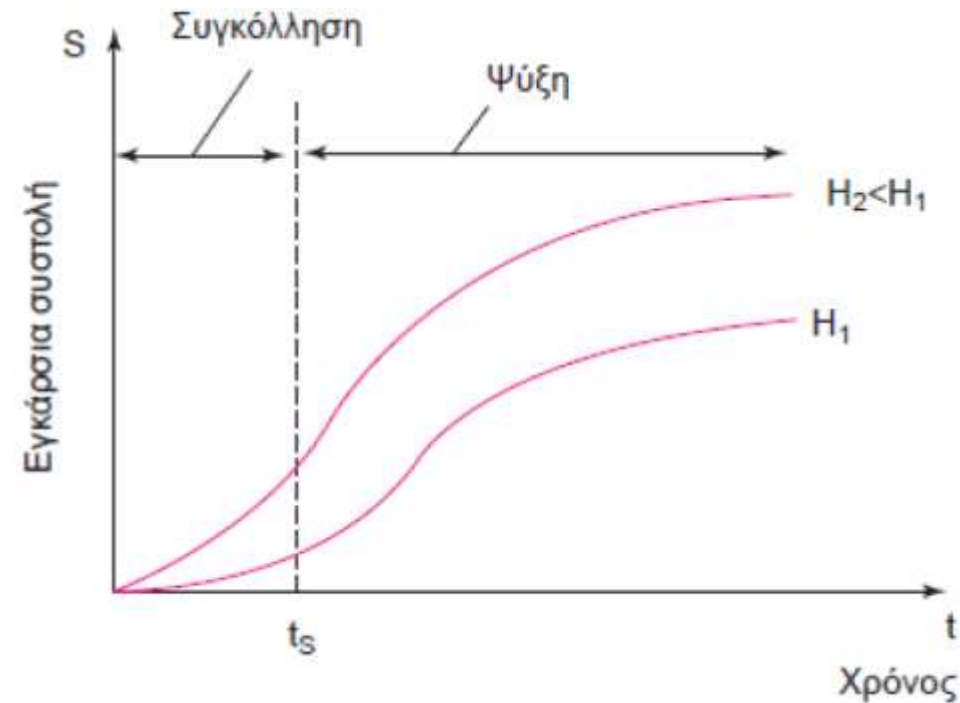
$$S = S_{BM} + S_{WM}$$

- ▶ Η εγκάρσια συστολή του WM αποτελεί μόλις το 10% της συνολικής εγκάρσιας συστολής



Παράγοντες που επηρεάζουν την εγκάρσια συστολή σε μετωπικές συγκολλήσεις

- Η εγκάρσια συστολή ελαττώνεται με την αύξηση του πάχους του ελάσματος
- Η αύξηση του ρυθμού εισαγωγής θερμότητας προκαλεί την αύξηση της εγκάρσιας συστολής
- Η μεταβολή της εγκάρσιας συστολής είναι ανάλογη του συντελεστή θερμικής διαστολής

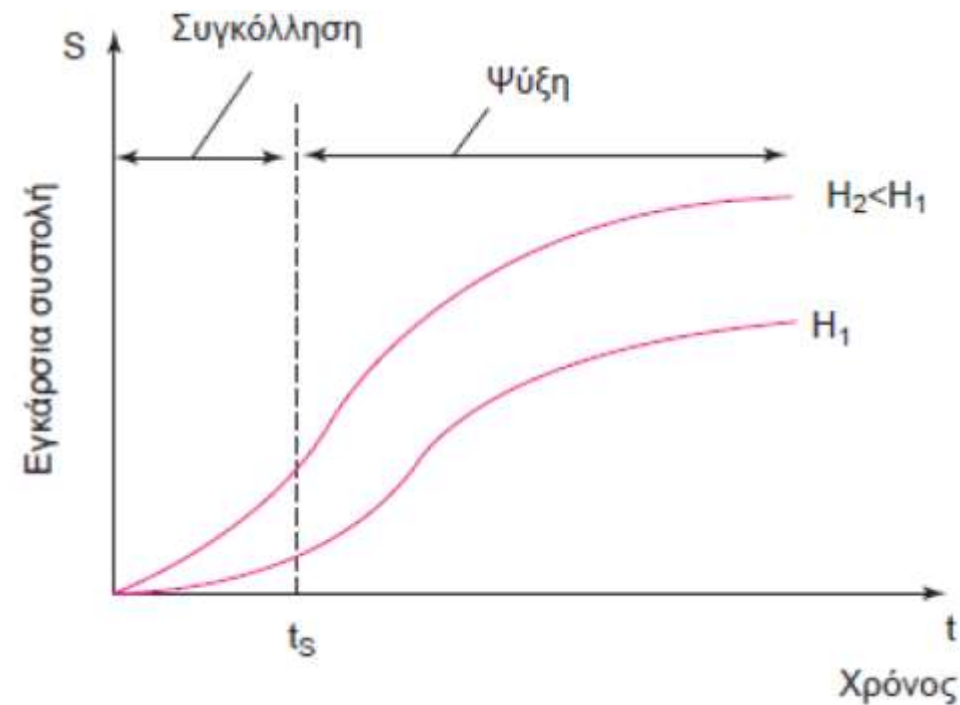


Παράγοντες που επηρεάζουν την εγκάρσια συστολή σε μετωπικές συγκολλήσεις

44

Το μεγαλύτερο μέρος της εγκάρσιας συστολής πραγματοποιείται κατά την ψύξη. Έτσι επιδρούν επίσης:

- ✓ Η ποσότητα του μετάλλου που εναποτίθεται
- ✓ Η ακολουθία της συγκόλλησης

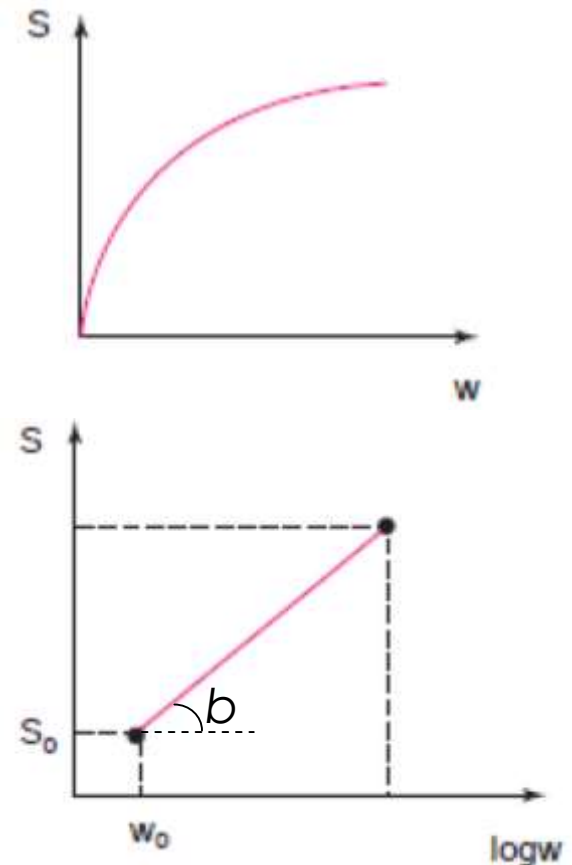


Πολλαπλά πάσα - Η ποσότητα του μετάλλου που εναποτίθεται

45

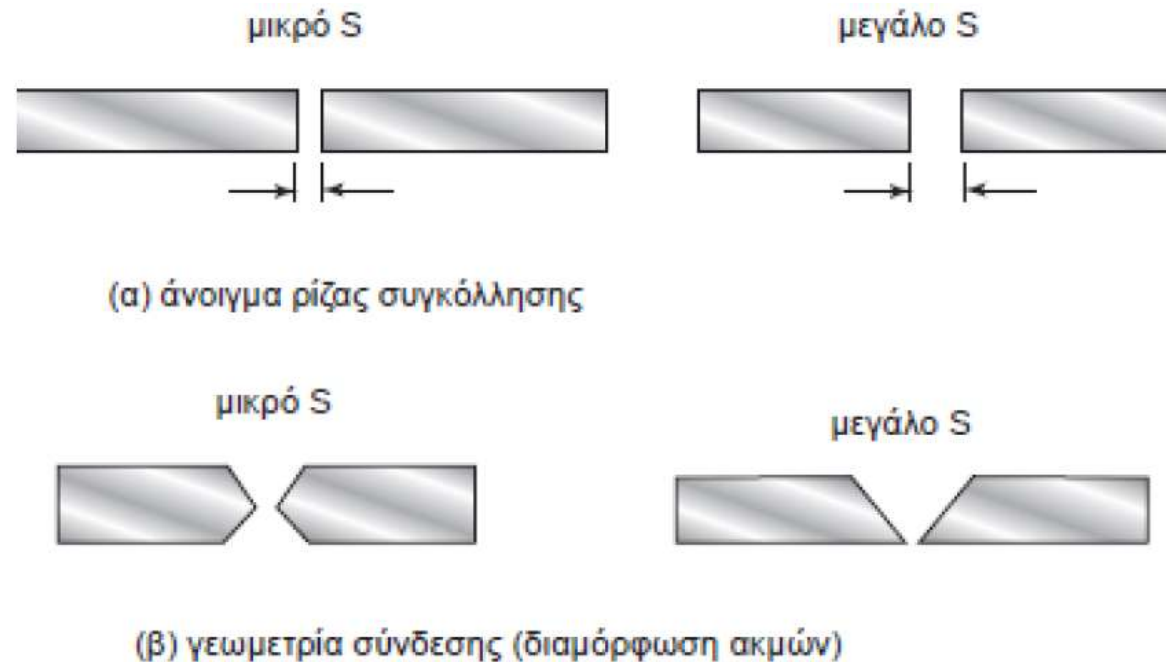
- Με πολλαπλά πάσα αυξάνεται η ποσότητα θερμότητας που επιβάλλεται στο μέταλλο
- Έτσι η εγκάρσια συστολή αυξάνεται με την ποσότητα ή το βάρος του εναποθετιμένου μετάλλου
- Όμως δεν αυξάνεται γραμμικά ή με σταθερό ρυθμό
- Αλλά με την αύξηση των πάσων η αύξηση της συστολής είναι πιο αργή

$$S = S_0 + b \log \frac{w}{w_0}$$



Πολλαπλά πάσα - Η ποσότητα του μετάλλου που εναποτίθεται

46

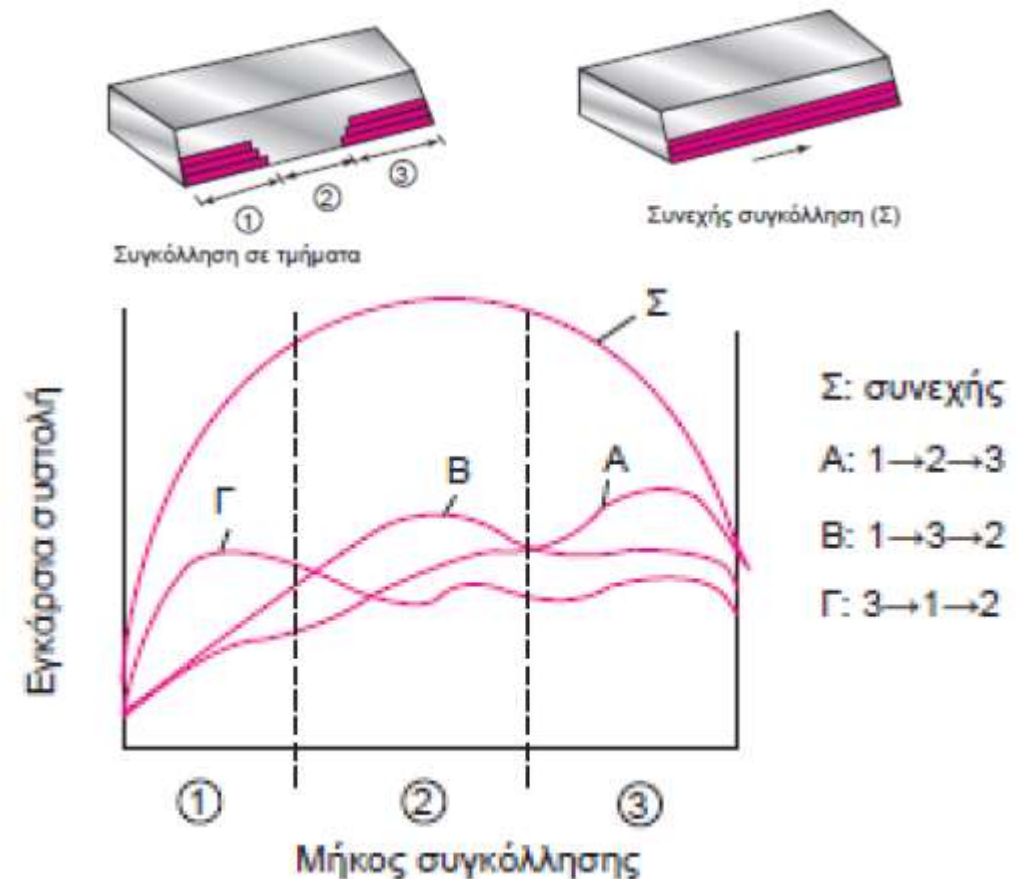


Σχήμα 7: Επίδραση του ανοίγματος της ρίζας και της διαμόρφωσης των ακμών στην εγκάρσια συστολή

Επίδραση της ακολουθίας συγκόλλησης στην εγκάρσια συστολή

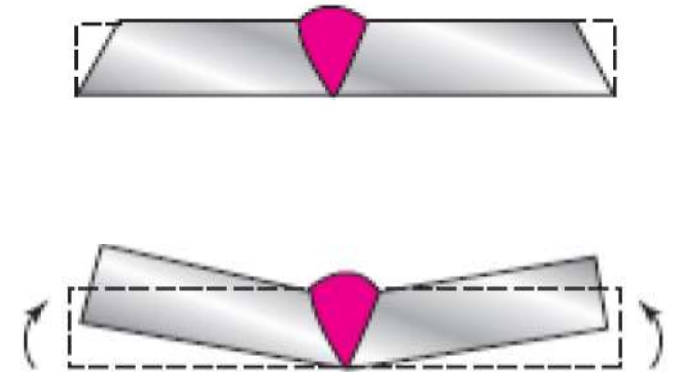
- Έστω 2 ακολουθίες συγκόλλησης
 - ✓ Συγκόλληση σε τμήματα 1,2 και 3
 - ✓ Συνεχής συγκόλληση

- Η εγκάρσια συστολή μειώνεται όταν πραγματοποιείται σε τμήματα καθώς έτσι προκαλεί ηπιότερες θερμοκρασιακές κλίσεις (∇T) σε σχέση με τη συνεχή συγκόλληση



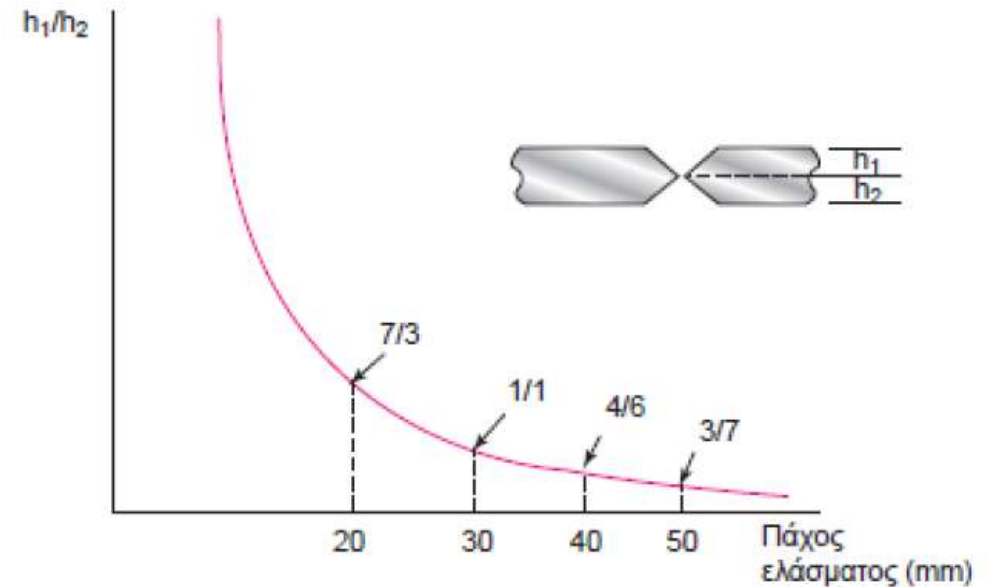
Γωνιακή μεταβολή σε μετωπικές συγκολλήσεις

- Οφείλεται στην ανομοιόμορφη κατανομή της εγκάρσιας συστολής στην διεύθυνση του πάχους του ελάσματος
- Δημιουργώντας εκτός επιπέδου παραμορφώσεις
- Σε λεπτά ελάσματα η γωνιακή μεταβολή είναι μικρή καθώς δεν υφίσταται μεγάλη μεταβολή της εγκάρσιας συστολής στην διεύθυνση του πάχους του ελάσματος
- Σε πιο παχιά ελάσματα, είναι μεγαλύτερη σε προδιαμορφώσεις απλού V σε σχέση με εκείνες διπλού V



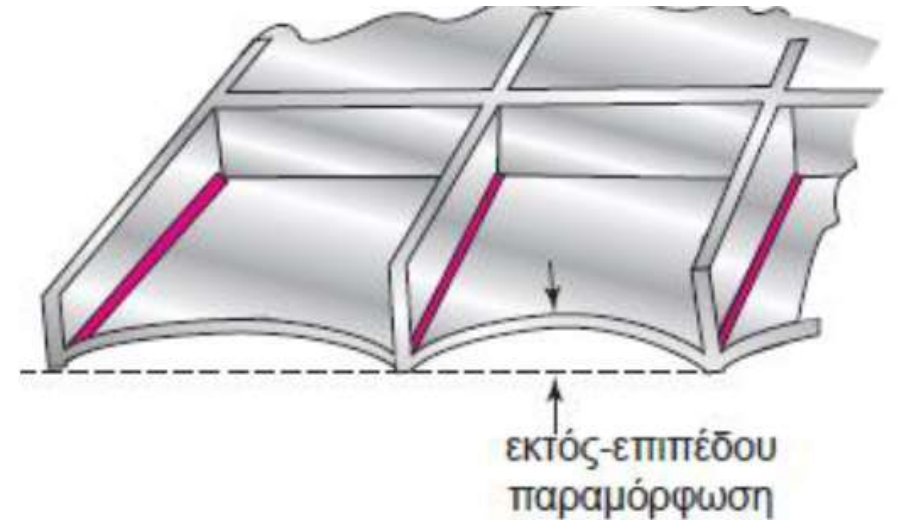
Γωνιακή μεταβολή σε μετωπικές συγκολλήσεις

- Σε προδιαμορφώσεις διπλού V η γωνιακή μεταβολή εξαρτάται από το λόγο της ποσότητας εναποθετιμένου μετάλλου σε κάθε πλευρά
- Έτσι σε κάθε πλευρά υπάρχει δημιουργείται μια γωνιακή μεταβολή, με αντίθετες κατευθύνσεις
- Για κάθε πάχος ελάσματος υπάρχει ένας λόγος πάχους της προδιαμόρφωσης που ελαχιστοποιεί την γωνιακή μεταβολή



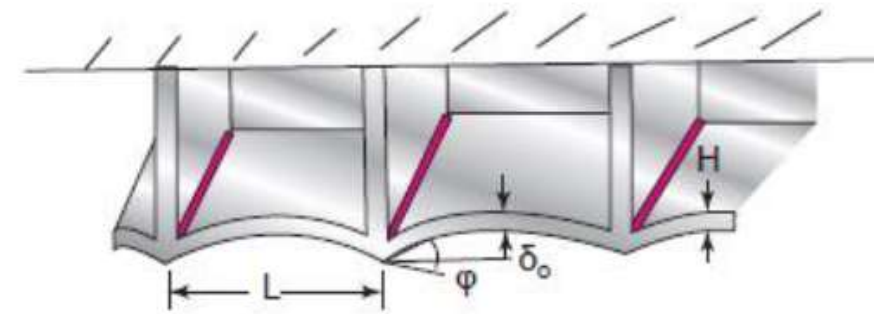
Γωνιακή μεταβολή σε αυχενικές συγκολλήσεις

- Οφείλεται στην ανομοιόμορφη κατανομή της εγκάρσιας συστολής στην διεύθυνση του πάχους του ελάσματος
- Δημιουργώντας εκτός επιπέδου παραμορφώσεις
- Ένα από τα μεγαλύτερα προβλήματα σε δεξαμενές υγρών καυσίμων σε διυλιστήρια, αεροπορικές κατασκευές, κ.α., είναι οι εκτός-επιπέδου παραμορφώσεις που οφείλονται στην γωνιακή μεταβολή των αυχενικών συγκολλήσεων



Γωνιακή μεταβολή σε αυχενικές συγκολλήσεις

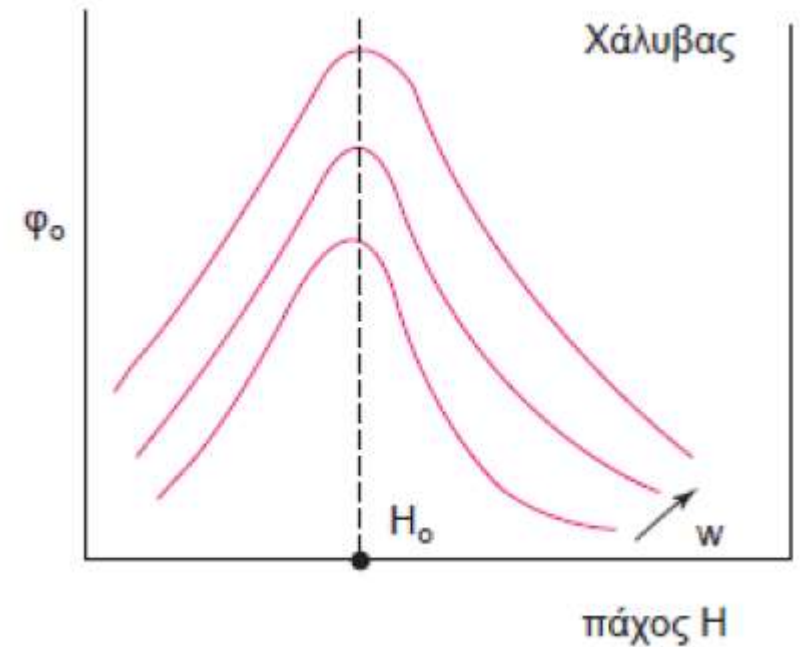
- Η γωνιακή μεταβολή σε συγκολλήσεις στοιβαγής δοκού με έλασμα προκαλεί κάμψη των τμημάτων του κάτω ελάσματος, ανάμεσα σε 2 διαδοχικές συγκολλήσεις
- Έτσι το έλασμα θα αποκτήσει κυματοειδή μορφή
- Στις αυχενικές συγκολλήσεις η γωνιακή μεταβολή είναι μικρότερη σε σχέση με τις μετωπικές συγκολλήσεις
- Εξαρτάται από το πάχος του ελάσματος και από τις συνθήκες της συγκόλλησης



Γωνιακή μεταβολή σε αυχενικές συγκολλήσεις

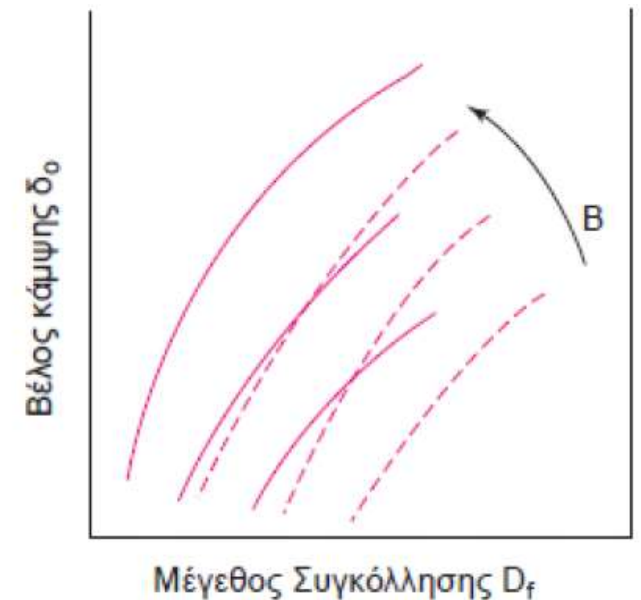
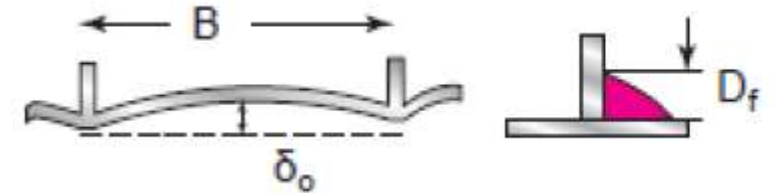
Υπάρχει πάχος H_0 , που η γωνιακή μεταβολή είναι μέγιστη

- Όταν $H < H_0$ η θερμοκρασιακή κατανομή είναι πιο ομοιόμορφη
- Όταν $H > H_0$ το έλασμα είναι πιο δύσκαμπτο



Γωνιακή μεταβολή σε αυχενικές συγκολλήσεις

- Η αύξηση του μεγέθους της συγκόλλησης οδηγεί σε αύξηση του βέλους κάμψης του κάτω ελάσματος
- Η αύξηση της απόστασης μεταξύ 2 διαδοχικών ενισχυτικών στοιχείων οδηγεί σε αύξηση του βέλους κάμψης του κάτω ελάσματος



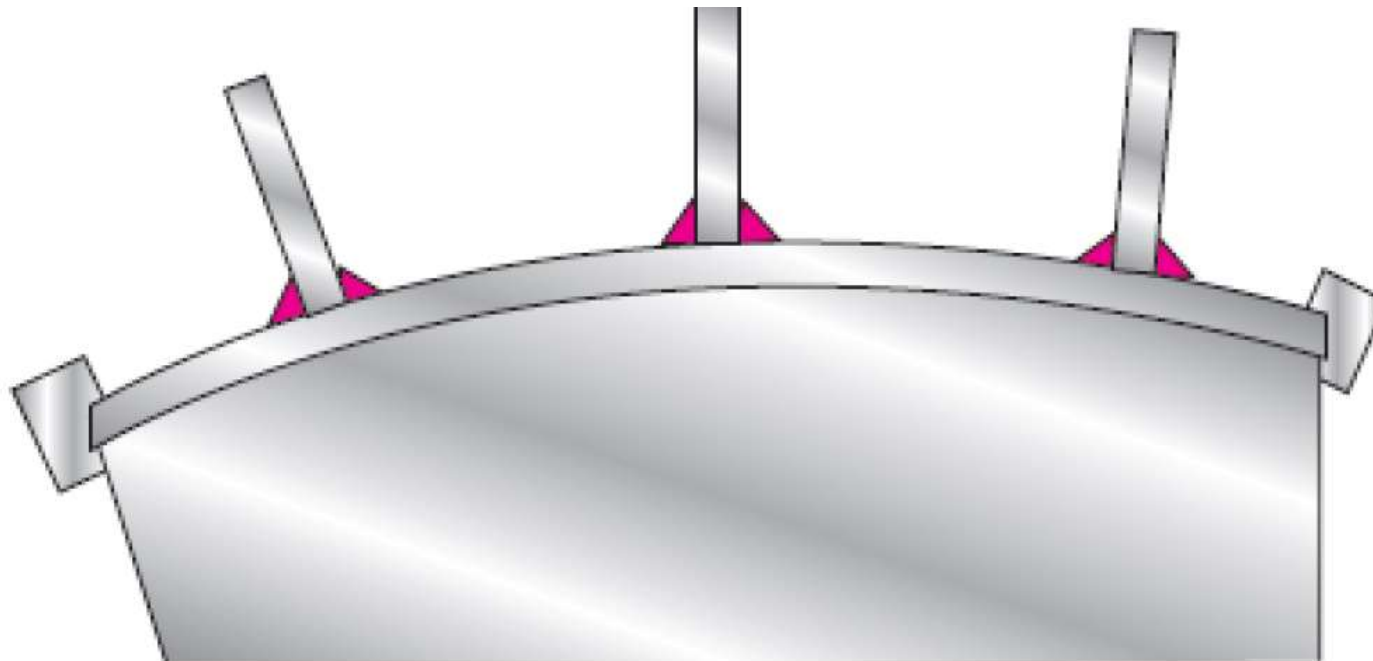
Αντιμετώπιση γωνιακής μεταβολή σε αυχενικές συγκολλήσεις

- Αποφυγή υπερδιαστασιολόγησης των αυχενικών συγκολλήσεων
- Κατάλληλη επιλογή του ΡΕΘ για την αποφυγή εισαγωγής ανεπιθύμητης θερμότητας στη σύνδεση
- Προθέρμανση
- Ελαστική προένταση

Αντιμετώπιση γωνιακής μεταβολή σε αυχενικές συγκολλήσεις – Ελαστική προένταση

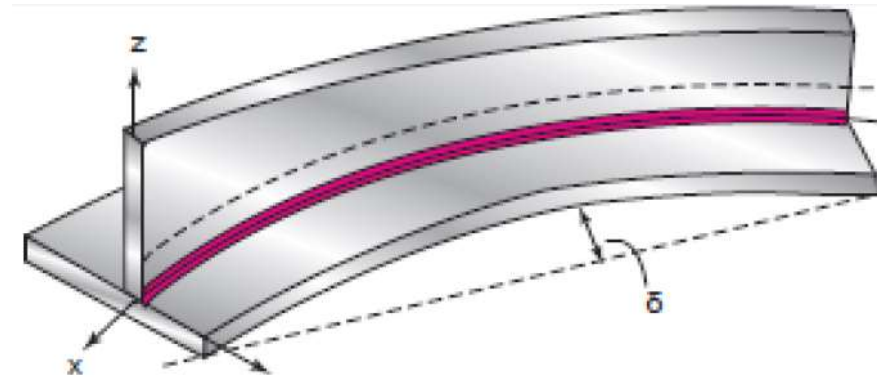
55

- Σε αντίθετη κατεύθυνση σε σχέση με τη γωνιακή μεταβολή, με πάκτωση των ελασμάτων σε προδιαμορφωμένη 'τράπεζα



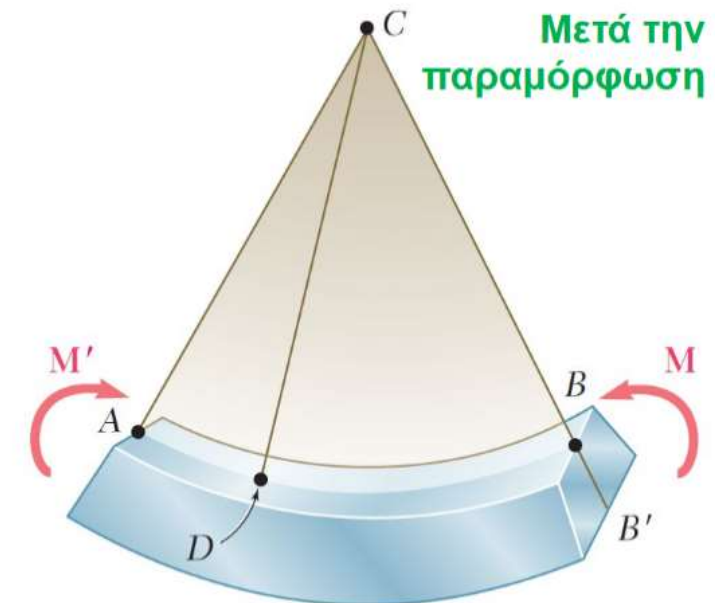
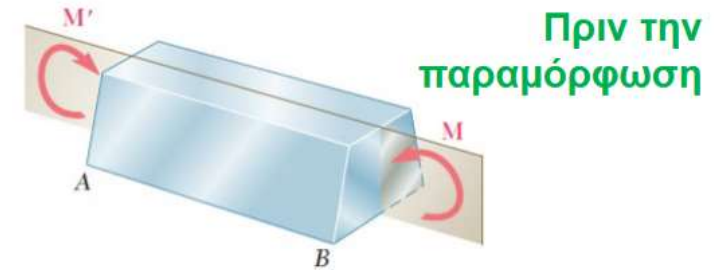
Διαμήκης συστολή και διαμήκης καμπτική παραμόρφωση

- Η διαμήκης συστολή συνήθως είναι ίση με το $1/1000$ του μήκους συγκόλλησης
- Είναι σημαντική όμως η διαμήκης καμπτική παραμόρφωση που επιφέρει, ιδίως όταν ο άξονας της συγκόλλησης δεν συμπίπτει με τον ουδέτερο άξονα
- Έτσι προκαλείται από την ροπή κάμψης λόγω διαμήκους συστολής
- Σε διατομές T, η αύξηση του όγκου εναποθετιμένου μετάλλου αυξάνει την καμπτική παραμόρφωση
- Σε διατομές I, η καμπτική παραμόρφωση αυξάνεται με την αύξηση των αριθμών των πάσων



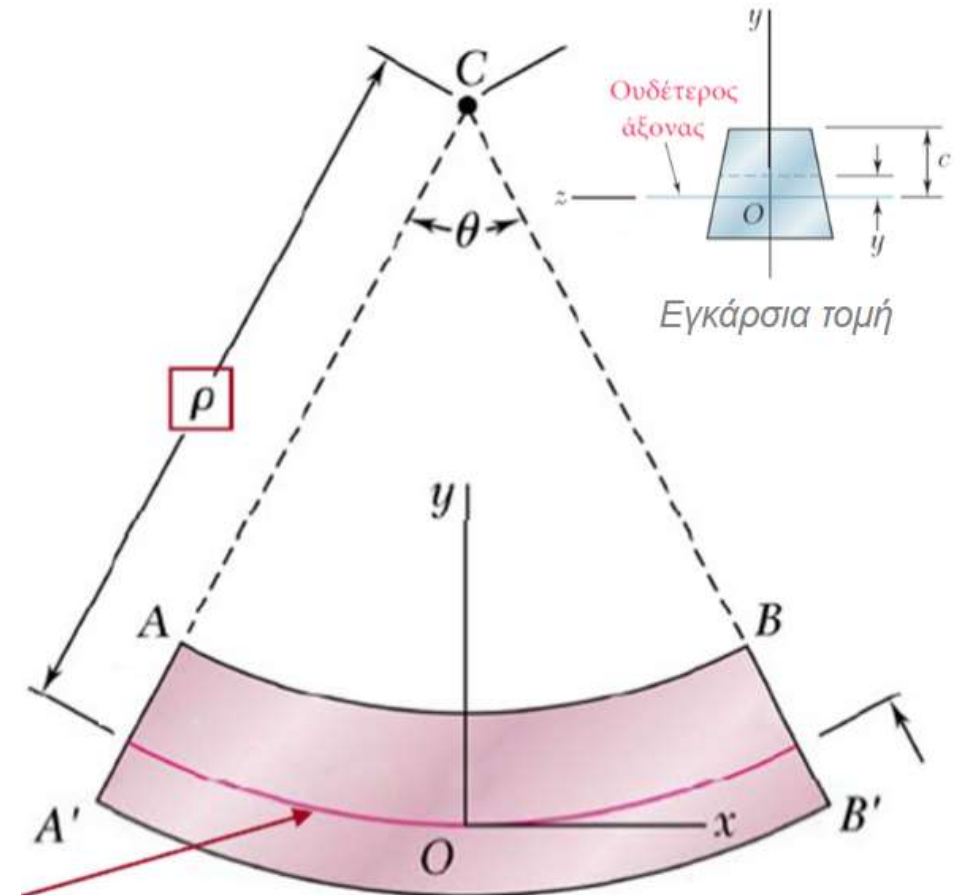
Παραμόρφωση Δοκού υπό Καθαρή Κάμψη

- Υπό την επίδραση του ζεύγους ροπών παράλληλα στο επίπεδο συμμετρίας, το στοιχείο κάμπτεται, ενώ το επίπεδο συμμετρίας διατηρείται.
- Αφού M σταθερή σε όλο το μήκος, η δοκός κάμπτεται ομοιόμορφα. Συνεπώς το τμήμα AB αποκτά σταθερή καμπυλότητα.
- Το AB μικραίνει σε μήκος ενώ το τμήμα $A'B'$ στην κάτω επιφάνεια επιμηκύνεται.



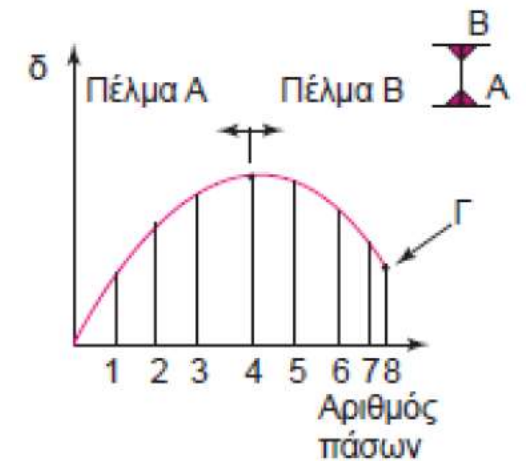
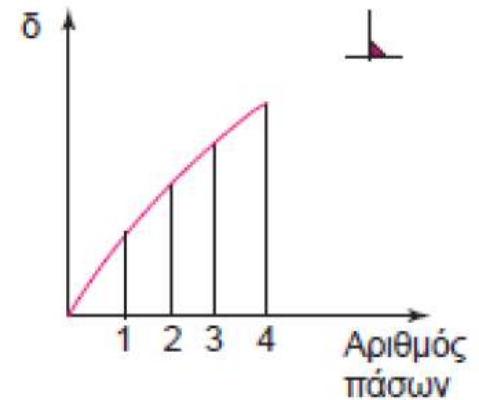
Παραμόρφωση Δοκού υπό Καθαρή Κάμψη

- Επομένως υπό την επίδραση του ζεύγους ροπών, η άνω επιφάνεια καταπονείται σε θλίψη, ενώ η κάτω σε εφελκυσμό.
- Τα ενδιάμεσα τμήματα καταπονούνται σταδιακά λιγότερο σε θλίψη ή εφελκυσμό
- Υπάρχει ένα επίπεδο όπου η συνολική καταπόνηση είναι μηδέν, καλείται «ουδέτερο επίπεδο»



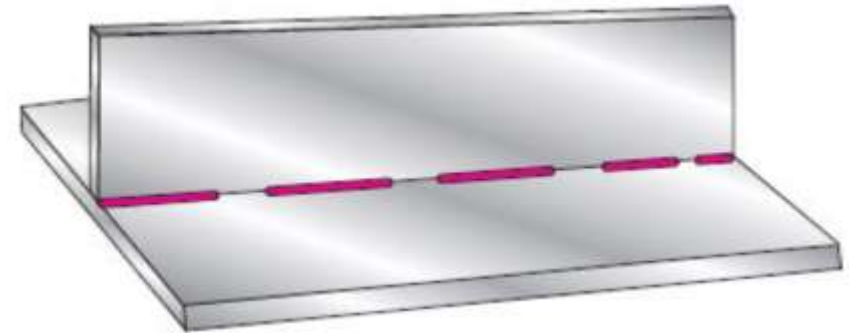
Διαμήκης συστολή και διαμήκης καμπτική παραμόρφωση

- Σε διατομές I, η καμπτική παραμόρφωση αυξάνεται με την αύξηση των αριθμών των πάσων
- Με τη συγκόλληση και του πάνω πέλματος το βέλος κάμψης μειώνεται
- Όμως δεν μηδενίζεται, καθώς η παραμόρφωση λόγω της συγκόλλησης του πάνω πέλματος είναι μικρότερη, σε σχέση με αυτή κατά τη συγκόλληση του κάτω πέλματος
- Καθώς η δοκός είναι πιο δύσκαπτη αφού έχει ήδη συγκολληθεί το κάτω πέλμα



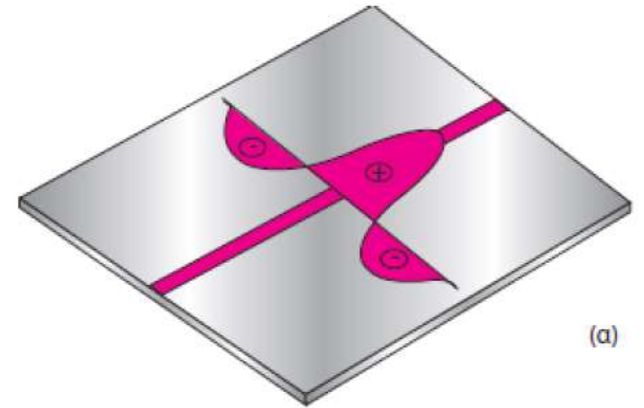
Διαμήκης συστολή και διαμήκης καμπτική παραμόρφωση

- Εάν η δοκοί κατασκευαστούν με διακοπτόμενη συγκόλληση δεν παρατηρείται διαμήκης καμπτική παραμόρφωση
- Αυτό πιθανόν οφείλεται στο γεγονός ότι δεν δημιουργούνται σημαντικές διαμήκεις παραμένουσες τάσεις λόγω του μικρού μήκους των επιμέρους τμημάτων

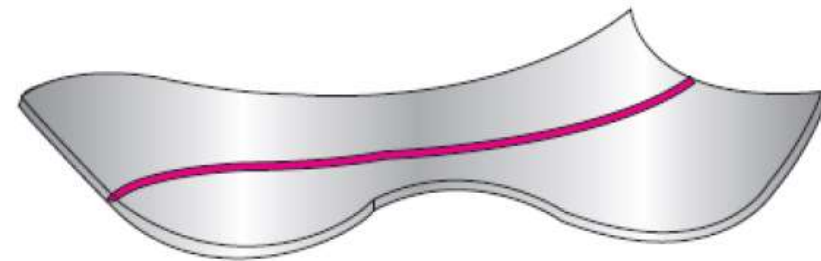


Λυγισμός

- Οι παραμένουσες τάσεις στις συγκολλήσεις είναι εφελκυστικές κοντά στη ραφή και θλιπτικές σε περιοχές μακριά από την ραφή.
- Σε λεπτά ελάσματα οι θλιπτικές παραμένουσες τάσεις μπορεί να προκαλέσουν λυγισμό.
- Οι παραμορφώσεις λυγισμού διαφέρουν από τις εκτός-επιπέδου κυρίως στο ότι οι παραμορφώσεις λυγισμού είναι μεγαλύτερες



(a)



Λυγισμός

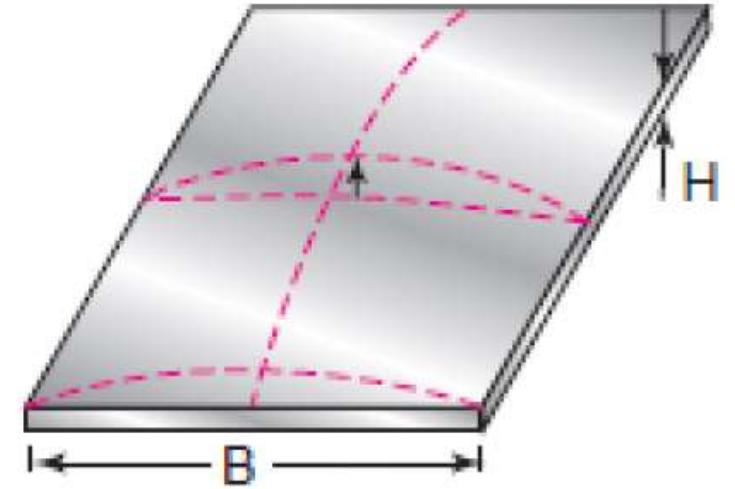
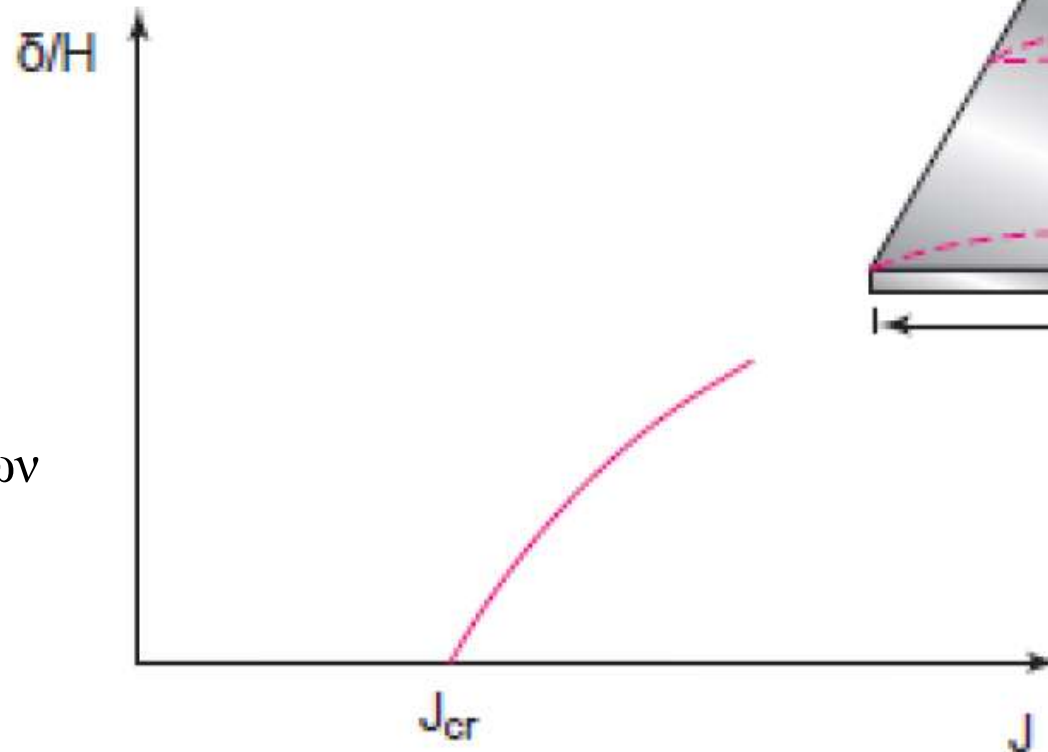
$$J = \frac{h}{H^3} B$$

h ο ΡΕΘ

H το πάχος του ελάσματος

B η απόσταση μεταξύ

διαδοχικών ενισχυτικών στοιχείων



Περιορισμός των παραμορφώσεων στις συγκολλήσεις

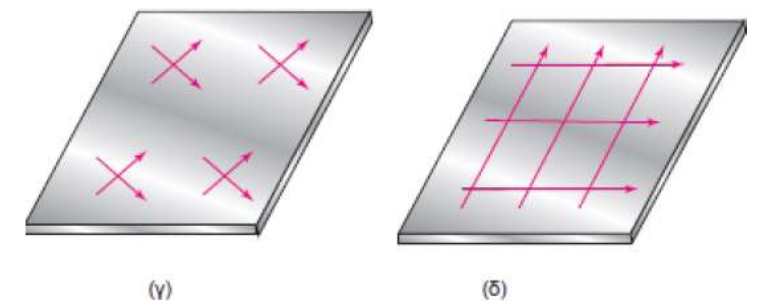
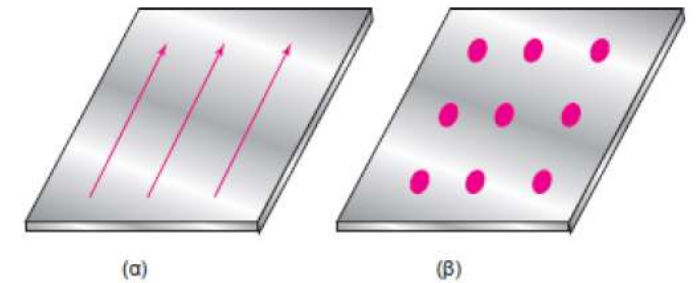
Μέθοδοι που υιοθετούνται κατά το στάδιο του σχεδιασμού:

1. Έλεγχος των παραμορφώσεων κατά το σχεδιασμό
 - ✓ Πάχος ελασμάτων
 - ✓ Προδιαμορφώσεις
 - ✓ Συνθήκες και ακολουθία συγκόλλησης
 - ✓ Προένταση και προθέρμανση
2. Μείωση των παραμορφώσεων μετά τη συγκόλληση

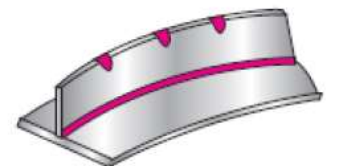
Περιορισμός των παραμορφώσεων στις συγκολλήσεις – εύθυνση με θέρμανση

64

- **Γραμμική** θέρμανση: Μείωση της γωνιακής μεταβολής σε αυχενικές συγκολλήσεις
- **Σημειακή** θέρμανση: μείωση παραμορφώσεων σε λεπτά ελάσματα
- **Χιαστή** θέρμανση : Πιο ομοιόμορφη μείωση των παραμορφώσεων λόγω των 2 κατευθύνσεων θέρμανσης
- **Καρέ** θέρμανση : Για την ελάττωση μεγάλων παραμορφώσεων
- **Τριγωνική** θέρμανση: Μείωση της διαμήκου καμπτικής παραμόρφωσης σε συγκολλητές δοκούς



(α) γραμμική (β) σημειακή (γ) χιαστί (δ) καρέ (ε) τριγωνική



Ερωτήσεις - Απορίες