


E₂



Διάτμηση Κοχλία

Δρ. Σωτήρης Δέμης
Πολιτικός Μηχανικός
(Εντεταλμένος Διδάσκων)

1


Βασική αρχή εργαστηριακής άσκησης

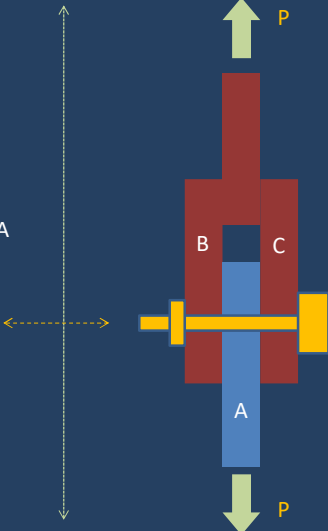
- Αξονικό φορτίο → Ανάπτυξη διατμητικών τάσεων σε στοιχεία σύνδεσης
- Μεταλλικό έλασμα A (πλάκα)
- Εφαρμόζεται εφελκυστικό φορτίο P

μεταλλικά ελάσματα B, C (δίχαλο)



Οπή (θέση κοχλία)



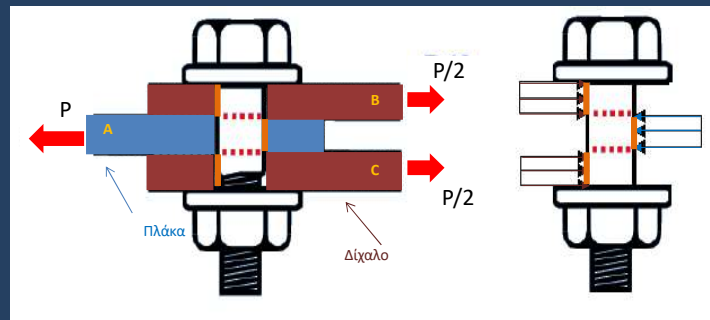


2

Βασική αρχή εργαστηριακής άσκησης

• Αξονικό φορτίο → Ανάπτυξη διατμητικών τάσεων σε στοιχεία σύνδεσης

- Μεταλλικό έλασμα A (πλάκα) συνδέεται με μεταλλικά ελάσματα B, C (δίχαλο) με κοχλία
- Εφαρμόζεται εφελκυστικό φορτίο P
- Το εφελκυστικό φορτίο «μεταβιβάζεται» στο κοχλία στα σημεία επαφής με τη πλάκα και το δίχαλο

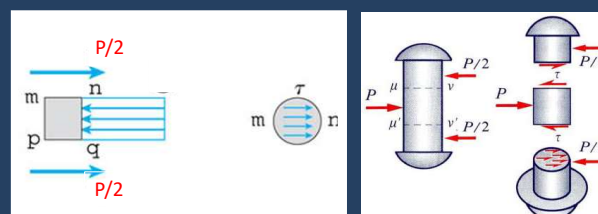
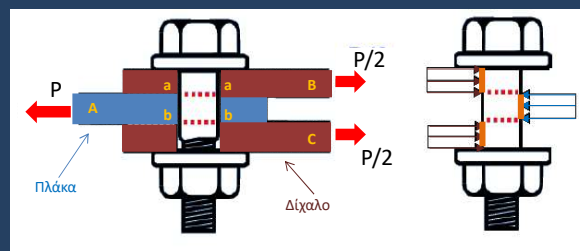


3

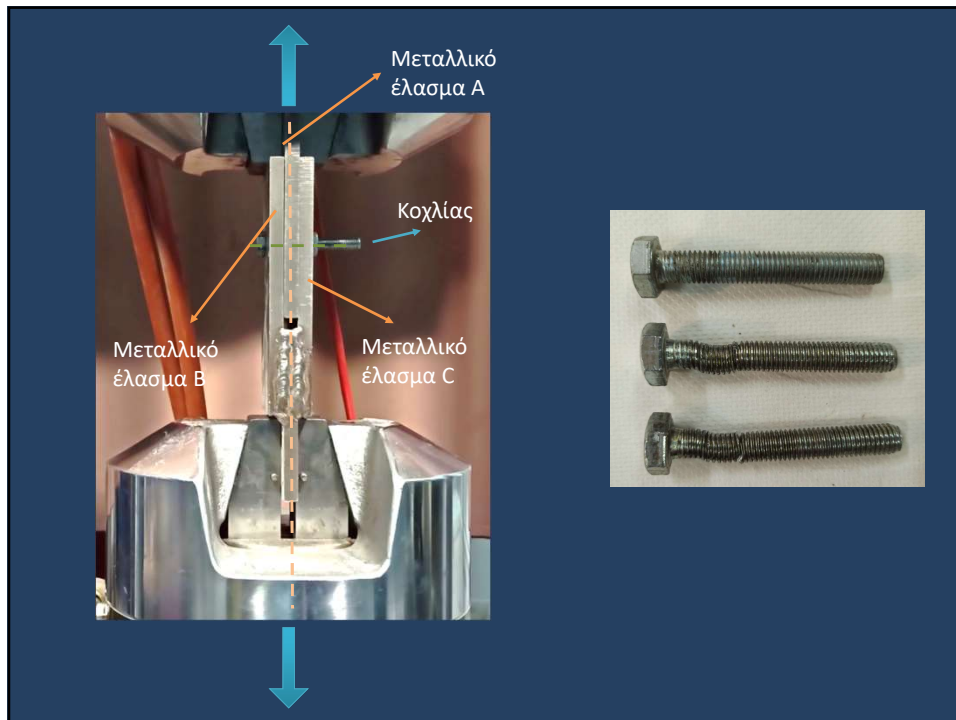
Βασική αρχή εργαστηριακής άσκησης

• Αξονικό φορτίο → Ανάπτυξη διατμητικών τάσεων σε στοιχεία σύνδεσης

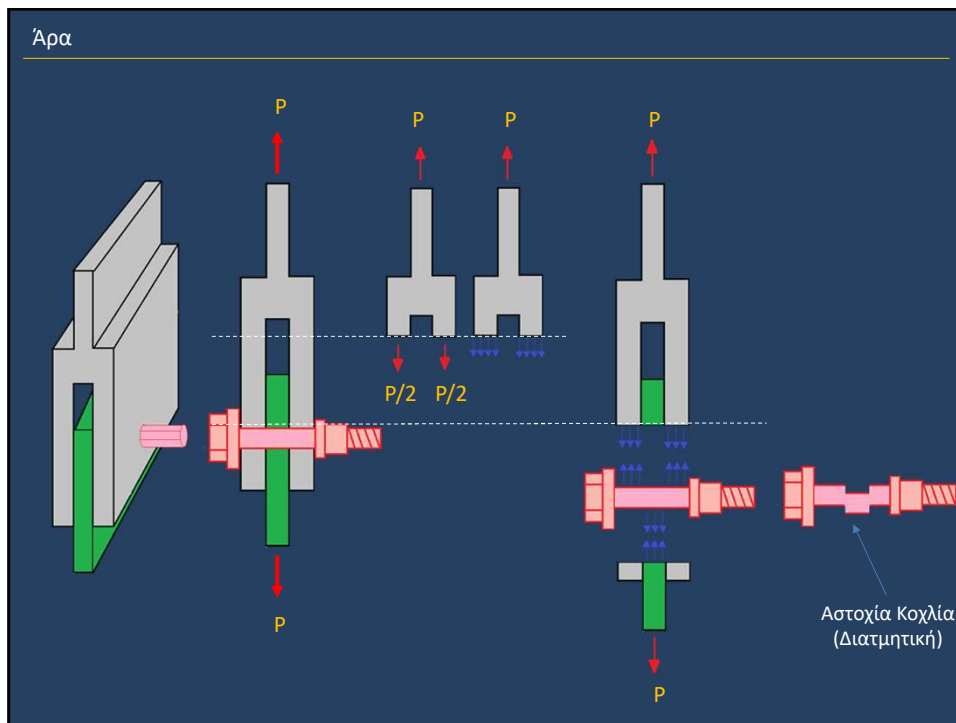
- Αναπτύσσονται διατμητικές τάσεις στην εγκάρσια διατομή του κοχλία (επιφάνειες a-a, b-b)



4

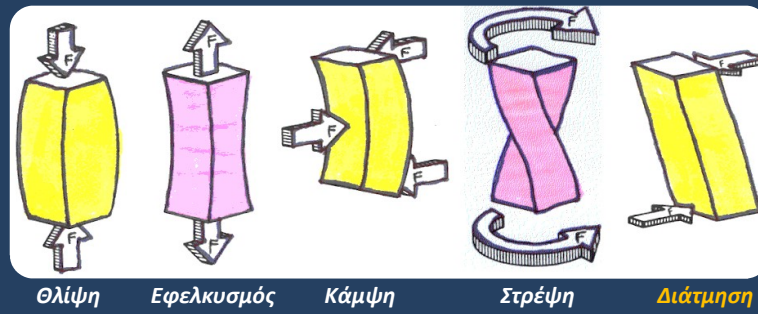


5



6

Μορφές Καταπόνησης

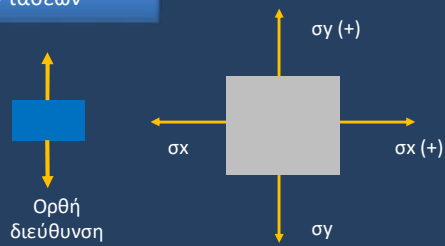


7

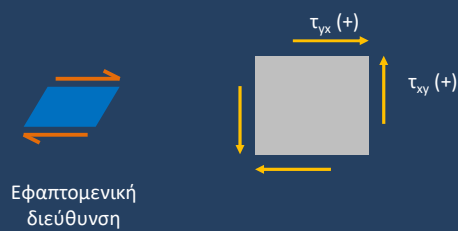
Έως τώρα ...

Αξονική φόρτιση σε δομικό στοιχείο

→ ανάπτυξη ορθών τάσεων



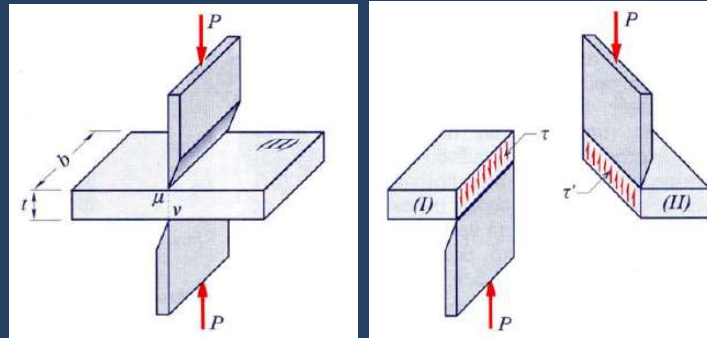
→ ανάπτυξη διατμητικών τάσεων (σε στοιχεία συνδέσεων)



8

Εισαγωγή στη έννοια της Διάτμησης

Διάτμηση (Διά – τμήση) ?



9

Εισαγωγή στη έννοια της Διατμητικής τάσης

Οι ορθές τάσεις αναπτύσσονται κάθετα (ή ορθά ως προς) στις επιφάνειες υλικών].

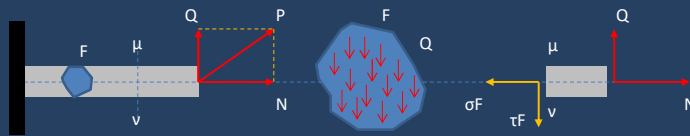
Ορθή διεύθυνση

Εφαπτομενική διεύθυνση

Οι διατμητικές τάσεις δρουν (αναπτύσσονται) εφαπτομενικά ως προς επιφάνειες υλικών

10

Εισαγωγή στη έννοια της Διατμητικής τάσης/παραμόρφωσης



$$\tau = \frac{Q}{F}$$

Μέση Διατμητική τάση
(Συνολική Τέμνουσα δύναμη Q σε μία επιφάνεια / εμβαδόν της)

$$\tau = G \cdot \gamma$$

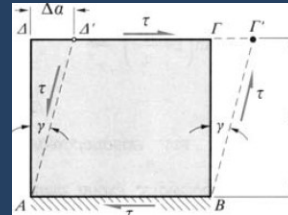
Μέτρο Διάτμησης
(Χαρακτηριστική ιδιότητα Υλικού)

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$

Γωνιακή (διατμητική) παραμόρφωση πρίσματος

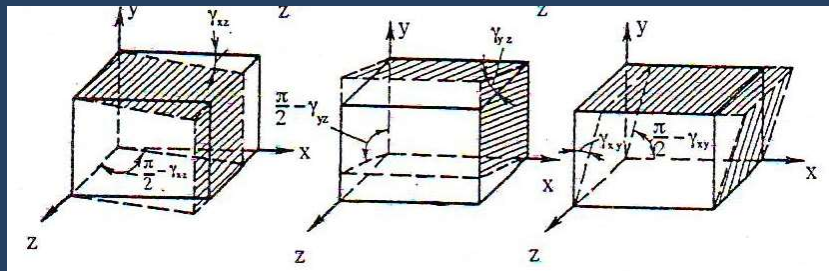
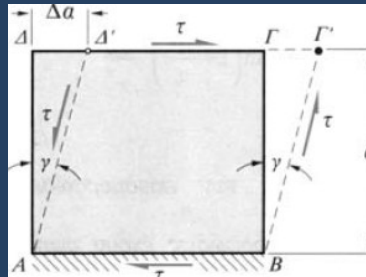
$$\gamma = \frac{\Delta\Delta'}{\Delta\Delta} = \frac{\Delta\alpha}{\alpha}$$

Πολύ μικρές μεταβολές στην αρχική γωνία μεταξύ δύο υποθετικών επιπέδων στο στοιχείο



11

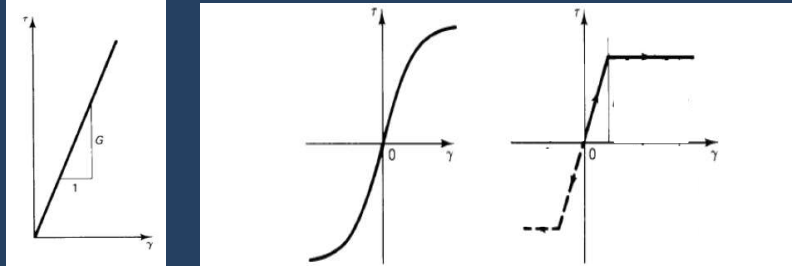
Εισαγωγή στη έννοια της Διατμητικής τάσης/παραμόρφωσης



12

Καταστατικοί νόμοι τ-γ

- Όπως και στη περίπτωση ορθών τάσεων, για γραμμικά ελαστικά υλικά τ, γ ανάλογες
- Στην περίπτωση όλκιμων υλικών, ο καταστατικός νόμος είναι μη γραμμικός



13

Μέγιστη διατμητική τάση εμφανίζεται σε επίπεδα που σχηματίζουν γωνία 45° με άξονα ράβδου

Μέγιστη διατμητική τάση σε μονοαξονικά καταπονούμενη ράβδο ισούται με μισό μέγιστης ορθής τάσης

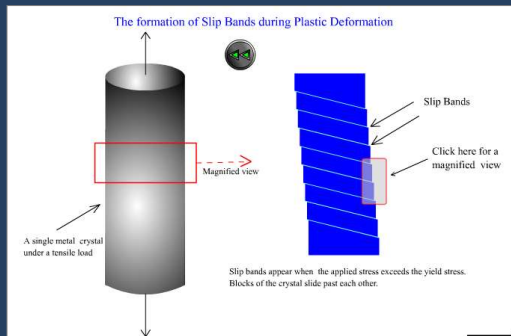
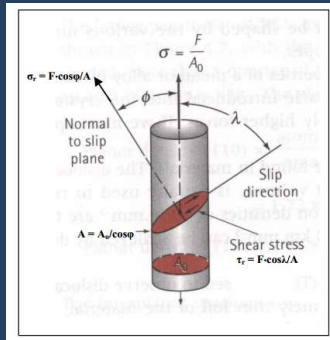
$$\sigma_{\theta} = \frac{P \cdot \cos \theta}{A / \cos \theta} = \frac{P}{A} \cos^2 \theta \xrightarrow{\theta=0,180^\circ} \sigma_{max} = \frac{P}{A}$$

$$\tau_{\theta} = -\frac{P \cdot \sin \theta}{A / \cos \theta} = -\frac{P}{A} \sin \theta \cdot \cos \theta \xrightarrow{\theta=\pm 45^\circ} \tau_{max} = \frac{P}{2A} = \frac{\sigma_x}{2}$$

14

Αξονικό Φορτίο – Διατμητική Τάση ?

- Τόσο η μέγιστη ορθή όσο και η διατμητική τάση είναι καθοριστικές για σχεδιασμό δομικών στοιχείων σε εφελκυσμό.
- Σε γενικές γραμμές στα όλκιμα υλικά, η μέγιστη διατμητική τάση λαμβάνεται ως κριτήριο, λόγω του ότι όταν οι διατμητικές τάσεις ξεπεράσουν ένα κρίσιμο όριο, το υλικό αρχίζει να ρέει.
- η πλαστική παραμόρφωση των μεταλλικών υλικών (σε μακροσκοπική κλίμακα) συντελείται με την ολίσθηση κρυσταλλικών επιπέδων (σε μικροσκοπική κλίμακα) μέσω διατμητικών τάσεων



15

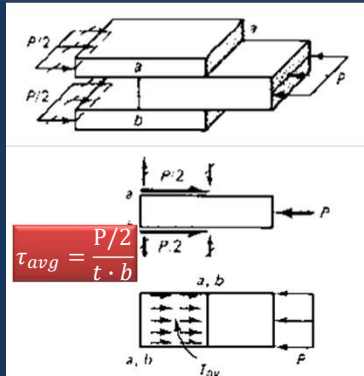
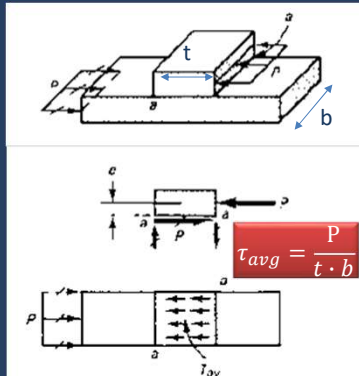
Συνδέσεις Επιφανειών

Χαρακτηριστικό Παράδειγμα στις Συνδέσεις Διεπιφανειών

Αξονικές δυνάμεις σε δομικά στοιχεία → ανάπτυξη διατμητικών τάσεων σε διεπιφάνειες

Μέση διατμητική τάση $\tau_{avg} = \frac{V}{A}$ Τέμνουσα δύναμη που ασκείται στη διεπιφάνεια

Εμβαδόν Επιφάνειας



Δύναμη Φόρτισης P → Τέμνουσα στη διεπιφάνεια → υπολογισμός μέσης διατμητικής τάσης

16

Συνδέσεις Επιφανειών

• Χαρακτηριστικό Παράδειγμα στις Κοχλιώσεις

Επιφάνεια διάτμησης μ - ν

17

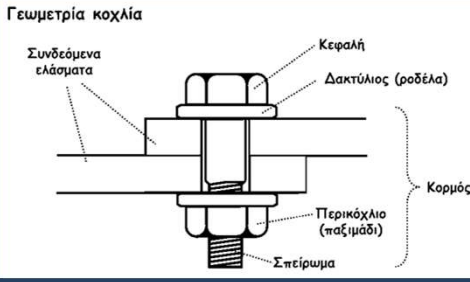
Κοχλιώσεις

- Δύναμη Φόρτισης $P \rightarrow$ από έλασμα σε έλασμα \rightarrow στους κοχλίες
- Μια κοχλίωση σχεδιάζεται προκειμένου να παραλάβει:
 - Διατμητική δύναμη - κάθετη στον άξονα του κορμού
 - Εφελκυστική δύναμη - παράλληλη στον άξονα του κορμού
 - Διατμητική και εφελκυστική δύναμη ταυτόχρονα

18

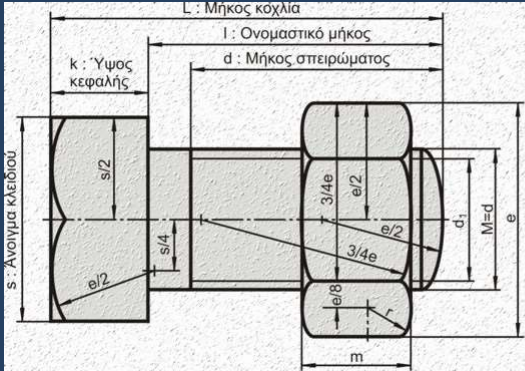
Γεωμετρικά στοιχεία κοχλία

Γεωμετρία κοχλία



Επιφάνεια Διατομής A (mm²) δίνεται από κατασκευαστή

Έστω κοχλίας ονομαστικής διαμέτρου 10 mm, με επιφάνεια διατομής 58 mm²



Ύψος κεφαλής κοχλία $k = 0,7d$
 Ύψος περικοχλίου $m = 0,8d$
 Διαγώνιος εξαγώνου $e = 1,155s$

19

Κατηγορία Ποιότητας Κοχλία M a.b

- Κατηγορία Ποιότητας Κοχλία M a.b

Εφελκυστική Αντοχή

a: 1/100 αντοχής σε εφελκυσμό
 => αντοχή σε εφελκυσμό (f_u) = $100 \cdot a$,
 (π.χ. 400 MPa, για κοχλία ποιότητας M4.6).

Κατηγορία Ποιότητας	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)
4.6	400	240
5.6	500	300
6.6	600	360
8.8	800	640
10.9	1000	900

Όριο Διαρροής

a · b: 1/10 του ορίου διαρροής σε εφελκυσμό
 => όριο διαρροής σε εφελκυσμό (f_y) = $10 \cdot a \cdot b$
 (π.χ. 240 MPa, για κοχλία ποιότητας M4.6).

20

Κατηγορία Ποιότητας Κοχλία M a.b

• Κατηγορία Ποιότητας Κοχλία M a.b

3 Connections made with bolts, rivets or pins**3.1 Bolts, nuts and washers****3.1.1 General**

- (1) All bolts, nuts and washers should comply with 1.2.4 Reference Standards: Group 4.
- (2) The rules in this Standard are valid for the bolt classes given in Table 3.1.
- (3) The yield strength f_{yb} and the ultimate tensile strength f_{ub} for bolt classes 4.6, 4.8, 5.6, 5.8, 6.8, 8.8 and 10.9 are given in Table 3.1. These values should be adopted as characteristic values in design calculations.

Table 3.1: Nominal values of the yield strength f_{yb} and the ultimate tensile strength f_{ub} for bolts

Bolt class	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8	10.9
f_{yb} (N/mm ²)	240	320	300	400	480	640	900
f_{ub} (N/mm ²)	400	400	500	500	600	800	1000

NOTE: The National Annex may exclude certain bolt classes.

21

Παραδείγματα Κοχλιωτών Συνδέσεων



22

Παραδείγματα Κοχλιωτών Συνδέσεων



23

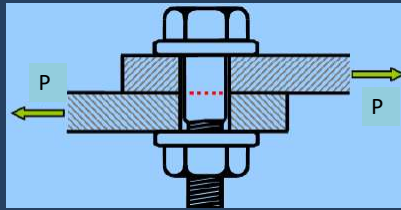
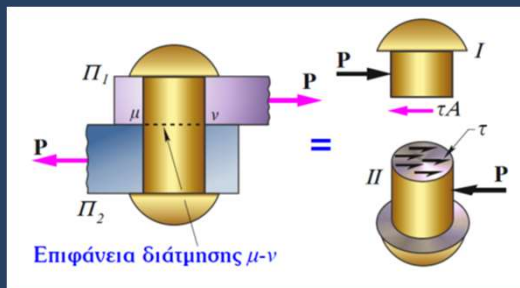
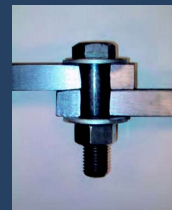
Αστοχία Κοχλιωτών Συνδέσεων λόγω

<p>Διαρροή μέλους</p>	<p>Εφελκυστική αστοχία μέλους</p>		<p>Διατμητική απόσχιση κορμού</p>	
<p>Σύνθλιψη άντυγας οπής</p>			<p>Διατμητική αστοχία κοχλία</p>	

Από Πανεπιστημιακές παραδόσεις κ. Παπανικολάου

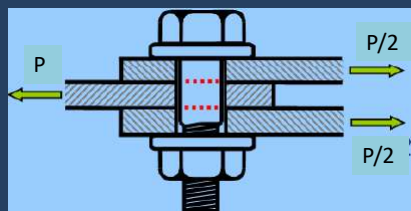
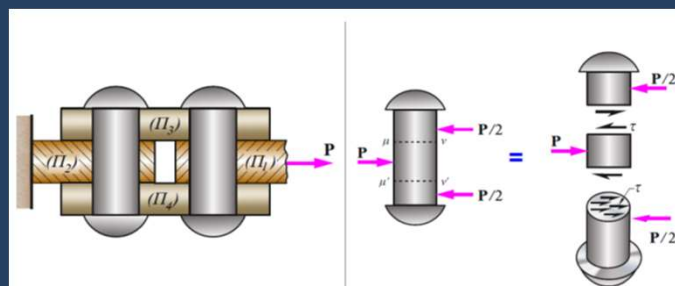
24

Μονότμητη Σύνδεση

Ένα επίπεδο διάτμησης ($n=1$)Επιφάνεια διάτμησης μ - ν 

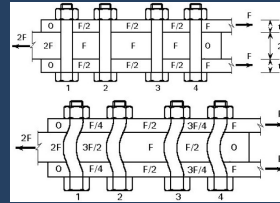
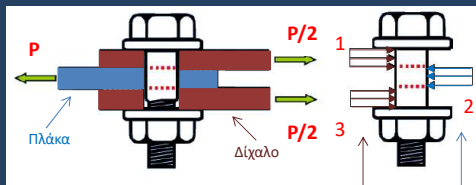
25

Δίτμητη Σύνδεση

Δύο επίπεδα διάτμησης ($n=2$)

26

Όλα ξεκινούν από την αξονική φόρτιση



- Δύναμη Φόρτισης $P \rightarrow$ από έλασμα σε έλασμα \rightarrow στους κοχλίες

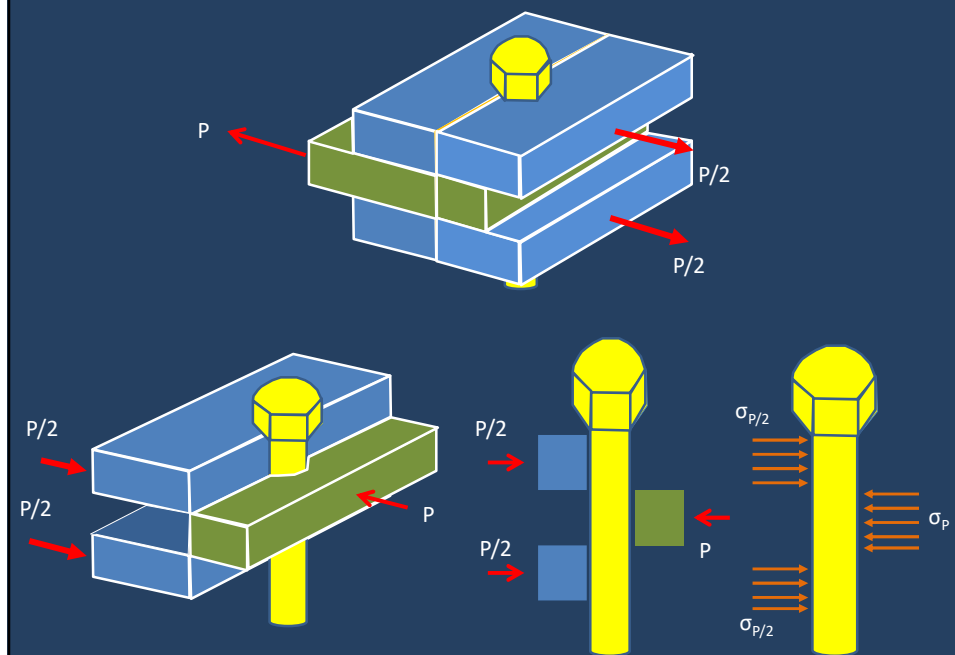
- Υπό την εφαρμογή του αξονικού φορτίου P , πλάκα και δίχαλο θα βρουν αντίσταση στον κοχλία, στον οποίον θα αναπτυχθούν τάσεις λόγω επαφής.
- Η πλάκα και το δίχαλο τείνουν να τμήσουν τον κοχλία.

- Τάσεις επαφής δίχαλου-κοχλία αναπτύσσονται στις περιοχές 1 & 3
- Τάσεις επαφής πλάκας-κοχλία αναπτύσσονται στην περιοχή 2

- Αυτή η τάση αναχαιτίζεται από την ανάπτυξη διατμητικών τάσεων στον κοχλία.

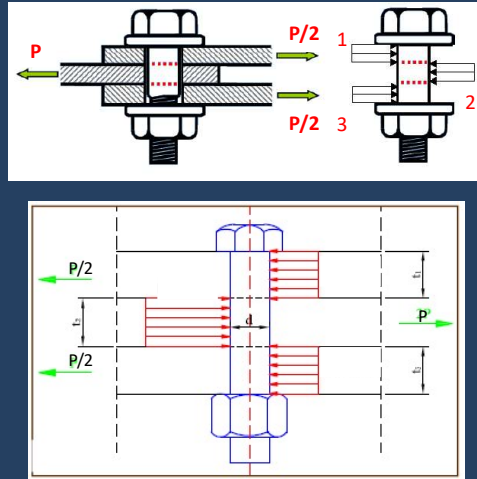
27

Τάσεις Επαφής



28

Τάσεις Επαφής



29

Τάσεις Επαφής

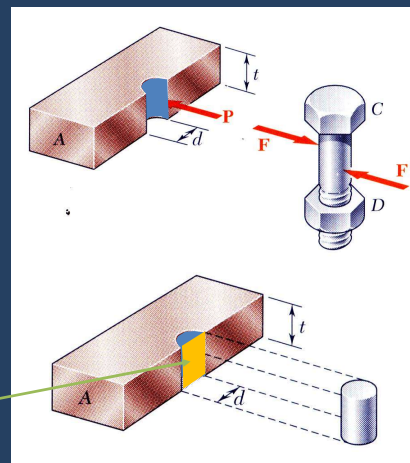
- Εάν υποθέσουμε ομοιόμορφη κατανομή τάσεων, μπορούμε να υπολογίσουμε τη μέση τάση επαφής ως:

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_b}$$

Δύναμη επαφής
Εμβαδόν επιφάνειας που φέρει δύναμη επαφής

- Επιφάνεια A_b : προβαλλόμενη επιφάνεια καμπύλης επιφάνειας που φέρει δύναμη επαφής (σε επίπεδο κάθετο προς διεύθυνση αυτής).

Ορθογωνική με ύψος ίσο με πάχος δίχαλου (t) πλάτος ίσο με διάμετρο κοχλίας (d).

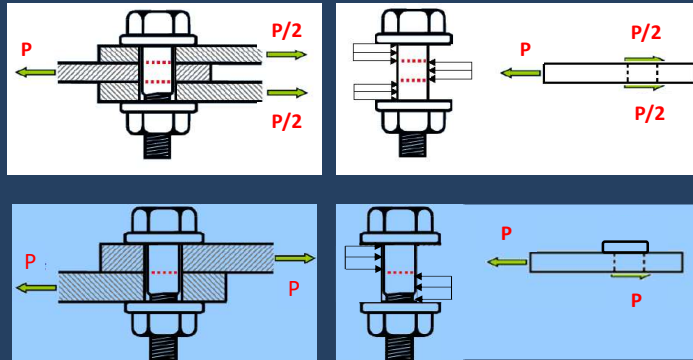


$$\text{Τάσεις Επαφής } \sigma_b = \frac{P}{A} = \frac{P}{td}$$

Από Πανεπιστημιακές παραδόσεις κ. Παπανικολάου

30

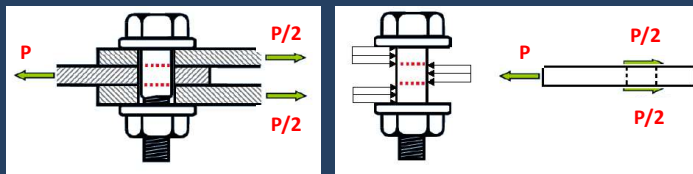
Μέση Διατμητική Τάση σε Κοχλιωτή Σύνδεση



Μέση Διατμητική Τάση Κοχλία $\tau_{avg} = \frac{\text{Διατμητικό Φορτίο που ασκείται στον κάθε κοχλία}}{\text{Ονομαστική επιφάνεια διατομής κοχλία}}$

31

Μέση Διατμητική Τάση σε Δίτμητη Κοχλιωτή Σύνδεση



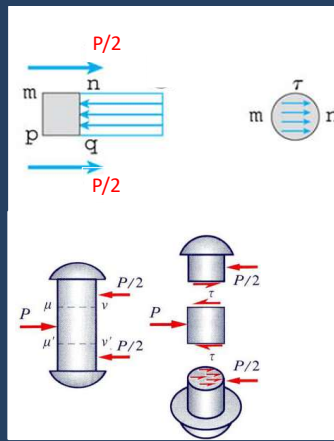
Ο (ένας) κοχλίας της σύνδεσης δέχεται διατμητικό φορτίο P/2.

Ο κοχλίας τείνει να τμηθεί κατά μήκος διατομών mn & nq.

Διατμητική Αντοχή Κοχλία $\tau_{avg} = \frac{P_{max}/2}{A}$

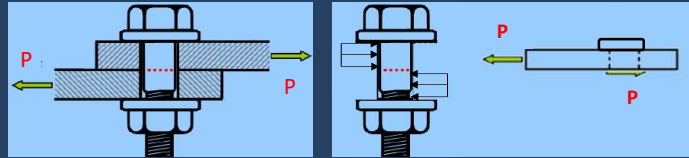
Για n αριθμό κοχλιών (δίτμητη σύνδεση)

Διατμητική Αντοχή Κοχλία $\tau_{avg} = \frac{P_{max}/2 \cdot n}{A}$



32

Μέση Διατμητική Τάση σε Μονότμητη Κοχλιωτή Σύνδεση



Ο (ένας) κοχλίας της σύνδεσης
δέχεται διατμητικό φορτίο P

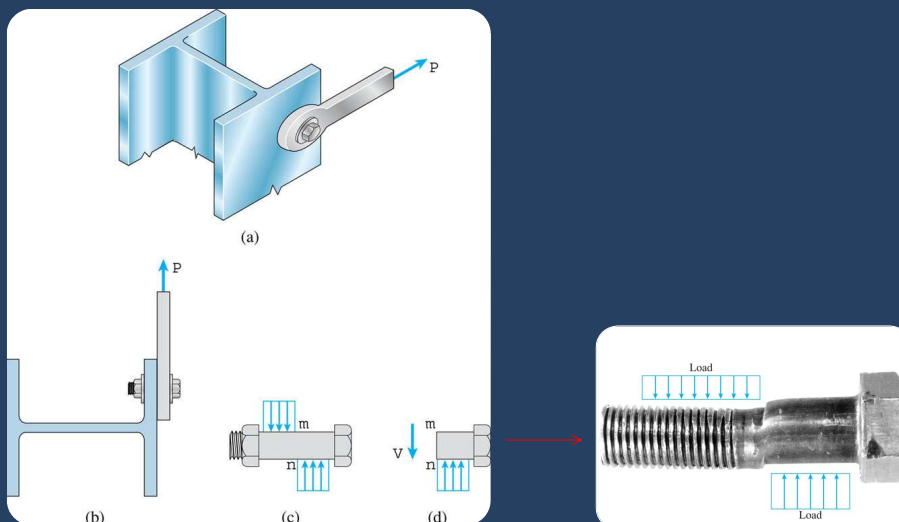
Διατμητική
Αντοχή Κοχλίας $\tau_{avg} = \frac{P_{max}}{A}$

Για n αριθμό κοχλιών

Διατμητική
Αντοχή Κοχλίας $\tau_{avg} = \frac{P_{max}/n}{A}$

33

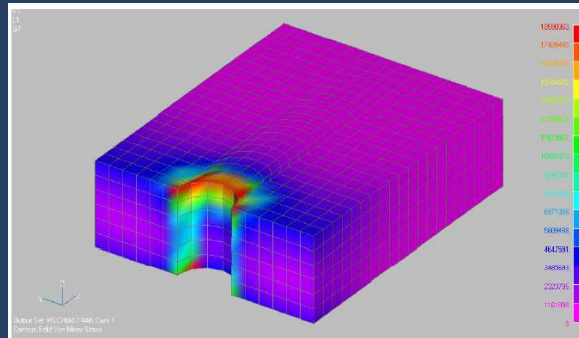
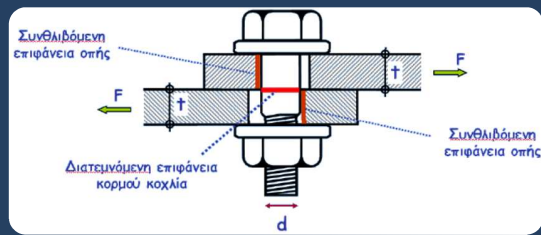
Διατμητική μορφή αστοχίας κοχλίας



Από Πανεπιστημιακές παραδόσεις κ. Παπανικολάου

34

Σύνθλιψη Άντυνας Οπών



35

Κατηγορία Ποιότητας Κοχλίας M a.b

- Κατηγορία Ποιότητας Κοχλίας M a.b

Εφελκυστική Αντοχή

a: 1/100 αντοχής σε εφελκυσμό
 => αντοχή σε εφελκυσμό (f_u) = $100 \cdot a$,
 (π.χ. 400 MPa, για κοχλία ποιότητας M4.6).

Όριο Διαρροής

a · b: 1/10 του ορίου διαρροής σε εφελκυσμό
 => όριο διαρροής σε εφελκυσμό (f_y) = $10 \cdot a \cdot b$
 (π.χ. 240 MPa, για κοχλία ποιότητας M4.6).

Κατηγορία Ποιότητας	f_u (N/mm ²)	f_y (N/mm ²)
4.6	400	240
5.6	500	300
6.6	600	360
8.8	800	640
10.9	1000	900

Διάτμητική Αντοχή (τ_{max}) ?

36

Κριτήρια Αστοχίας (παρένθεση)

- Θεωρία της μέγιστης διατμητικής τάσης (κριτήριο Tresca)
- Θεωρία της μέγιστης ειδικής ενέργειας σύννογκης (ή διατμητικής παραμόρφωσης) – Κριτήριο von Mises

Η θεωρία της μέγιστης διατμητικής τάσης¹ διατυπώθηκε βάσει της παρατήρησης ότι τα **όλκιμα υλικά αστοχούν (διαρρέουν) μέσω ολίσθησης σε ορισμένα επίπεδα**, οπότε κρίσιμη για την αστοχία τους είναι η μέγιστη διατμητική τάση. Σύμφωνα με τη θεωρία αυτή η αστοχία ενός υλικού επέρχεται όταν η μέγιστη διατμητική τάση τ_{\max} [εξ. (4.9)] φθάσει μία κρίσιμη τιμή τ_{cr} , η οποία συνήθως ισούται με τη διατμητική τάση κατά τη διαρροή σε μονοαξονική φόρτιση:

$$\tau_{\max} = \tau_{cr} = \left| \pm \frac{\sigma_1}{2} \right| = \frac{f_y}{2} \quad (5.1)$$

όπου f_y η τάση διαρροής σε μονοαξονική φόρτιση, θεωρούμενη ίση για εφελκυσμό ή θλίψη (η f_y λαμβάνεται θετική). Χαρακτηριστική εφαρμογή της θεωρίας μέγιστης

Σύμφωνα λοιπόν με τη θεωρία της μέγιστης ειδικής ενέργειας σύννογκης (ή διατμητικής) παραμόρφωσης, η αστοχία του υλικού (δηλαδή η διαρροή, καθότι η θεωρία αυτή εφαρμόζεται κυρίως για τα **όλκιμα υλικά**) επέρχεται όταν η ενέργεια αυτή γίνει ίση με μία κρίσιμη τιμή. Η τιμή αυτή μπορεί να προσδιοριστεί από την περίπτωση μονοαξονικής φόρτισης, θέτοντας δηλαδή στην εξ. (5.9) $\sigma_1 = f_y$ και $\sigma_2 = \sigma_3 = 0$, οπότε η αντίστοιχη ενέργεια ισούται με $2f_y^2 / 12G$. Εξισώνοντας την τιμή αυτή με το δεξιό μέλος της εξ. (5.9) καταλήγουμε στο παρακάτω κριτήριο αστοχίας, γνωστό και ως κριτήριο Huber-Hencky-Mises ή απλώς κριτήριο von Mises:

$$(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2 = 2f_y^2 \quad (5.10)$$

$$\tau_{\max} = f_y / \sqrt{3}$$

Από το βιβλίο «Μηχανική Των Υλικών» του κ. Τριανταφύλλου

37

Κριτήρια Αστοχίας (παρένθεση)

Βάση κριτηρίων αστοχίας **όλκιμων υλικών σε μονοαξονική φόρτιση, όριο αντοχής σε διάτμηση:**

$\tau_{\max} = f_y / 2 = 0.50 f_y$

$\tau_{\max} = f_y / \sqrt{3} = 0.58 f_y$

Σύγκριση καμπυλών αστοχίας von Mises / Tresca στην επίπεδη εντατική κατάσταση

Από το βιβλίο «Μηχανική Των Υλικών» του κ. Τριανταφύλλου

38



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΑΤΡΩΝ
ΤΜΗΜΑ ΠΟΛΙΤΙΚΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΗΧΑΝΙΚΗΣ & ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ
ΠΑΤΡΑ 26500





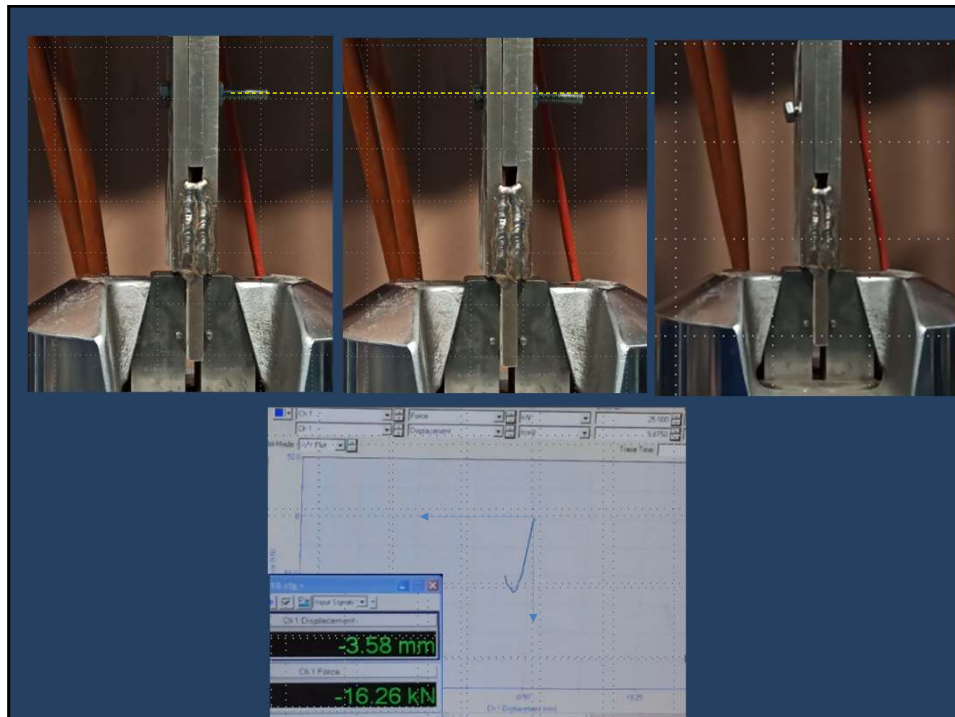
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
Εαρινό Εξάμηνο 2022 - 2023
2^η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ - Διάτμηση Κοχλία

Τρία μεταλλικά ελάσματα πάχους $t = 12$ mm το κάθε ένα, συνδεδεμένα με κοχλία ποιότητας M 8.8 (ονομαστικής διαμέτρου $d = 10$ mm και επιφάνεια διατομής $A = 58$ mm²) υποβάλλονται σε αξονική φόρτιση (Σχήμα 1).

Με βάση τα αρχεία με τα δεδομένα των δοκιμών, που σας δίνονται, ζητούνται:

Σχήμα 1. Σύνδεση μεταλλικών ελασμάτων με κοχλία, υπό αξονική φόρτιση

39



40



41

Σχήμα 1. Σύνδεση μεταλλικών ελασμάτων με κοχλία, υπό αξονική φόρτιση

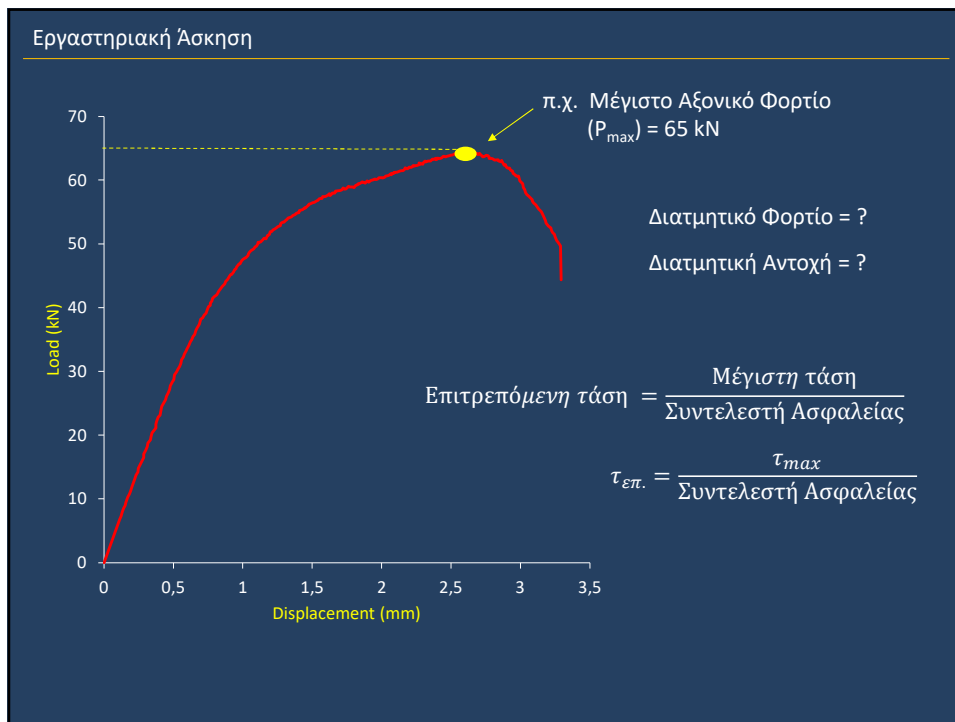
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗ ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ
Εαρινό Εξάμηνο 2022 - 2023
2^η ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΑΚΗ ΑΣΚΗΣΗ - Διάτμηση Κοχλία

Τρία μεταλλικά ελάσματα πάχους $t = 12 \text{ mm}$ το κάθε ένα, συνδεδεμένα με κοχλία ποιότητας M 8.8 (ονομαστικής διαμέτρου $d = 10 \text{ mm}$ και επιφάνεια διατομής $A = 58 \text{ mm}^2$) υποβάλλονται σε αξονική φόρτιση (Σχήμα 1).

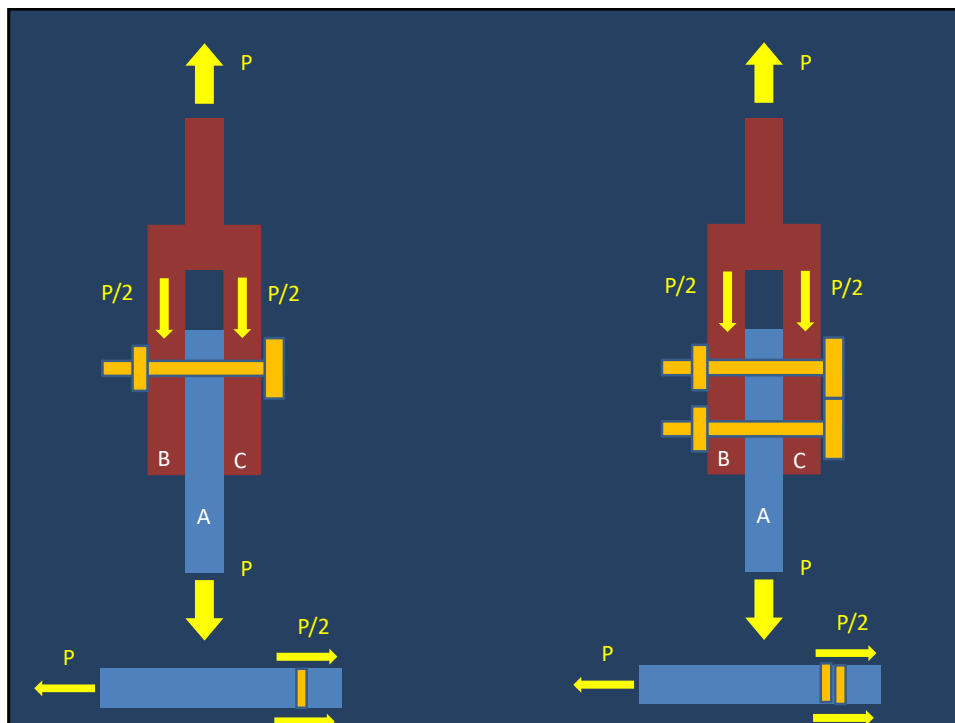
Με βάση τα αρχεία με τα δεδομένα των δοκιμών, που σας δίνονται, ζητούνται:

1. Το μέγιστο διατμητικό φορτίο που έφερε η σύνδεση.
2. Η διατμητική αντοχή (μέση τάση) του κοχλία.
3. Το φορτίο αστοχίας της σύνδεσης, αν η σύνδεση των δύο ελασμάτων γίνει με (α) τρείς, ή (β) πέντε κοχλίες, όμοιους με αυτόν της δοκιμής.
4. Οι μέγιστες ορθές τάσεις (επαφής) που ασκούνται στον κοχλία από το μεσαίο (με μπλε χρώμα στο Σχήμα 1) μεταλλικό έλασμα.
5. Έστω ότι η κατηγορία του κοχλία είναι M10.9 και η ονομαστική του διάμετρος ίση με 12 mm (επιφάνεια διατομής 84.3 mm^2). Να εκτιμήσετε το μέγιστο επιτρεπόμενο φορτίο λειτουργίας της σύνδεσης, εάν ο συντελεστής ασφάλειας του κοχλία είναι ίσος με 1.3.

42



43

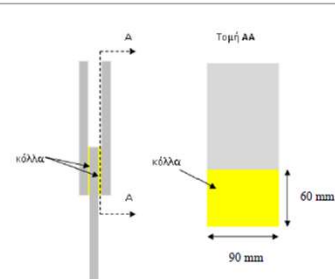


44

6. Έστω ότι η σύνδεση των τριών μεταλλικών πλακών (Σχήμα 2) γίνεται με τη χρήση συγκολλητικής ουσίας (και όχι με κοχλία). Να υπολογισθεί το φορτίο αστοχίας της σύνδεσης, εάν η διατμητική αντοχή της «κόλλας» είναι ίση με 1.2 MPa;

Κάθε Ομάδα θα λάβει από ένα αρχείο δοκιμών από το eclass. Κάθε αρχείο περιέχει δύο στήλες. Η πρώτη στήλη περιέχει τις τιμές της μετατόπισης του εμβόλου της μηχανής έως τη θραύση του κοχλία (σε mm) και η δεύτερη περιέχει τις τιμές της δύναμης που μετρήθηκε από την δυναμοκυψέλη (σε kN).

ΠΡΟΣΟΧΗ: Η Άσκηση είναι αυστηρά ατομική



Σχήμα 2. Γεωμετρικά στοιχεία σύνδεσης μεταλλικών πλακών με συγκολλητική ουσία

45



Δευτέρα 9:00 – 11:00 & Παρασκευή 10:00 – 12:00
(γραφείο στο χώρο εργαστηρίου)

sdemis@upatras.gr

46