

Στοιχεία Μηχανών

Διάλεξη 4

Κριτήρια Δυναμικής Αστοχίας Κόπωση

Παναγιώτης Αλευράς
(palevras@tuc.gr)

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

1

1

Κριτήρια Αστοχίας

Αντοχή σε Δυναμική Φόρτιση

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

2

2

Περίγραμμα Διάλεξης



- Δυναμικά φορτία
- Κόπωση και όριο διαρκούς αντοχής
 - Συντελεστές συγκέντρωσης τάσεων
- Κριτήρια Αστοχίας σε Δυναμική Φόρτιση
 - Soderberg
 - Goodman
- Κανόνας Miner – γραμμική θεωρία κόπωσης

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

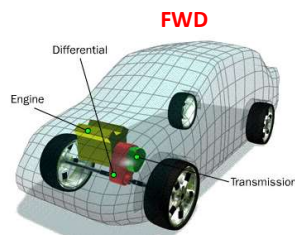
3

3

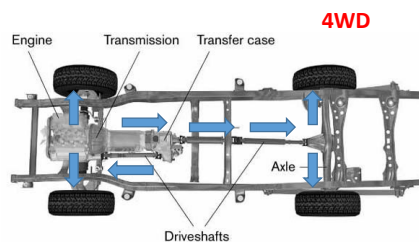
Δυναμικά φορτία



- Φορτία που δεν είναι σταθερά, αλλά μεταβάλλονται με το χρόνο, συνήθως σύμφωνα με κάποια ημιτονοειδή συνάρτηση, $F(t) = F_0 \sin \omega t$.
- Δυναμικά φορτία (δυνάμεις και ροπές) σημαίνει ότι και οι τάσεις που αναπτύσσονται στο υλικό των στοιχείων μηχανών είναι δυναμικές $\sigma(t) = \sigma_0 \sin \omega t$
- Για παράδειγμα, τι συμβαίνει σε ένα αυτοκίνητο όταν κινείται με σταθερή επιτάχυνση σε ευθεία γραμμή?



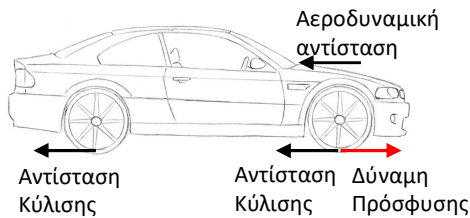
Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4



4

4

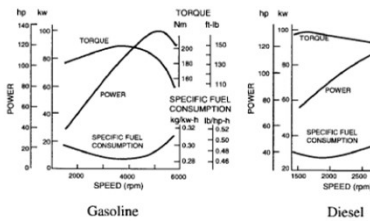
Ροπή κινητήρα αυτοκινήτου



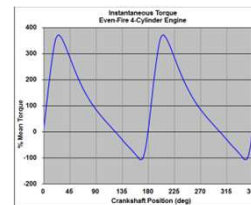
$$\Sigma F = F_{\text{προσφ}} - F_{\text{αντισ}} = \frac{T}{r} - F_{\text{αντισ}} = ma$$



https://www.youtube.com/watch?v=DKF5dKo_r_Y
Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4



Η ροπή που παράγει ο κινητήρας είναι εξαιρετικά μεταβαλλόμενη



http://www.epi-eng.com/piston_engine_technology/torsional_excitation_from_piston_engines.htm

5

Ροπή κινητήρα αυτοκινήτου

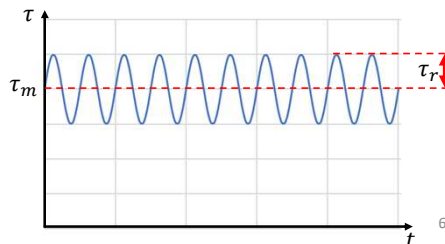


Διατμητικές τάσεις λόγω στρέψης

$$\tau = \frac{Tr}{J}$$

Η διακύμανση της ροπής οδηγεί σε αντίστοιχα κυμαινόμενες τάσεις.... $\tau(t) = \tau_m + \tau_r \sin \omega t$

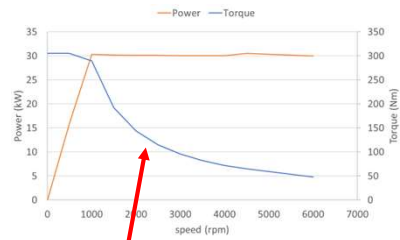
Όπου τ_m η μέση τάση
 τ_r το εύρος εναλλαγής



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

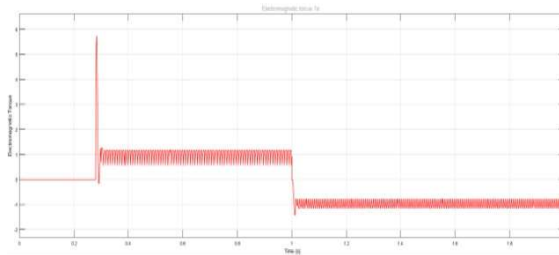
6

Ροπή Ηλεκτροκινητήρα



Αυτή είναι η μέση ροπή....

Στη πραγματικότητα, η ροπή έχει εύρος εναλλαγής που εξαρτάται από τον αριθμό των πόλων κ.α.



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

DOI: [10.17577/IJERTV9IS040639](https://doi.org/10.17577/IJERTV9IS040639)

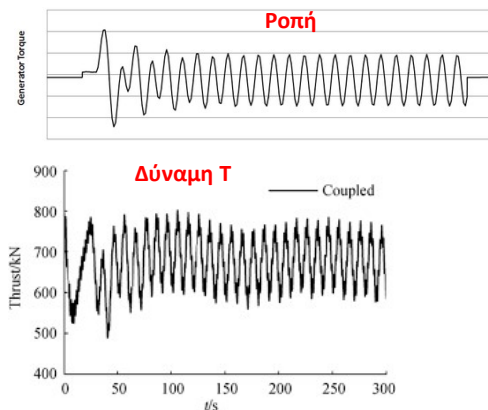
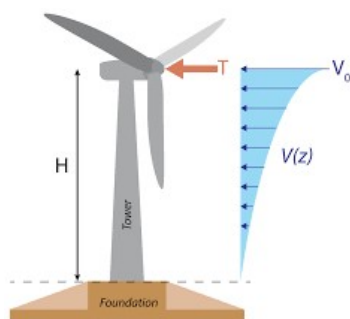
7

7

Φορτίο ανεμογεννήτριας



- Η αεροδυναμική δύναμη στα περύγια της ανεμογεννήτριας προκαλεί εκτός από ροπή και οριζόντιο φορτίο (thrust load T)
- Και τα δύο φορτία εξαρτώνται από την γωνία του ρότορα, άρα μεταβάλλονται μέσα σε μία πλήρη περιστροφή



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

8

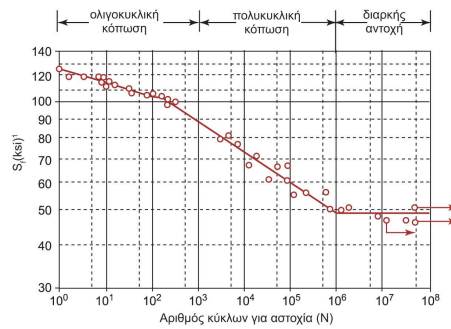
8

Κόπωση

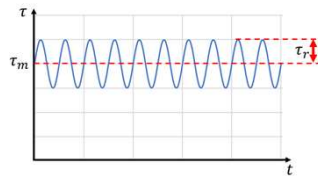


Το διάγραμμα Wohler μας δίνει τον αριθμό των κύκλων που προκαλεί αστοχία όταν εφαρμόζεται η εναλλασσόμενη τάση σ_r (για $\sigma_m = 0$).

Το όριο αντοχής ονομάζεται αντοχή κόπωσης S_f



πχ εδώ έχω 10 κύκλους φόρτισης



$$1 \text{ ksi} = 1 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} = 1000 \frac{\text{kp}}{\text{cm}^2} = \frac{1000}{142} \text{ MPa}$$

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

9

Κόπωση

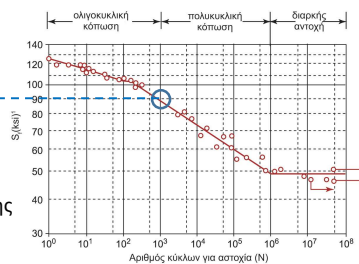


- **Ολιγοκυκλική κόπωση:** μεγάλες τάσεις, κοντά στο όριο θραύσης του υλικού. Ορίζεται ως τους 10^3 κύκλους όπου η αντοχή κόπωσης είναι

- $S_f = 0.9S_u$ για κάμψη
- $S_f = 0.75S_u$ για εφελκυσμό
- $S_f = 0.72S_u$ για στρέψη

- **Πολυκυκλική κόπωση:**

- πάνω από 10^3 κύκλους έως 10^6
- Σημαντική μεταβολή του ορίου κόπωσης
- Δίνεται από ευθεία γραμμή



$$\log S_f = -m \log N + b$$

$$\begin{aligned} \text{Όπου για κάμψη } m &= \frac{1}{3} \log \frac{0.9S_u}{S_e} \\ b &= \log \frac{(0.9S_u)^2}{S_e} \end{aligned}$$

$$S_f = \frac{10^b}{N^m}$$

Η τάση $\sigma_r = S_f$ όπου θα έχω αστοχία σε N κύκλους

$$N = \frac{10^{b/m}}{\sigma_r^{1/m}}$$

Οι κύκλοι N όπου θα έχω αστοχία αν εφαρμοσθεί τάση σ_r

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

→ S_e όριο διαρκούς αντοχής (δες επόμενη διαφάνεια)

10

Παράδειγμα πολυκυκλικής

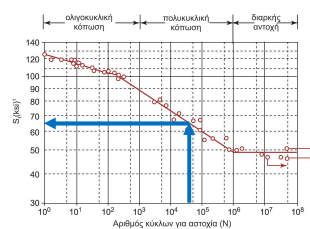


- Έστω χάλυβας με $S_e = 112 \text{ MPa}$ και όριο θραύσης $S_u = 385 \text{ MPa}$. Ποια καθαρά εναλλασσόμενη τάση οδηγεί σε αστοχία σε 70000 κύκλους?

$$m = \frac{1}{3} \log \frac{0.9 S_u}{S_e} = \frac{1}{3} \log \frac{0.9 \cdot 385}{112} = 0.163$$

$$b = \log \frac{(0.9 S_u)^2}{S_e} = \log \frac{(0.9 \cdot 385)^2}{112} = 3.03$$

$$S_f = \frac{10^b}{N^m} = \frac{10^{3.03}}{70000^{0.163}} = 173 \text{ MPa}$$



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

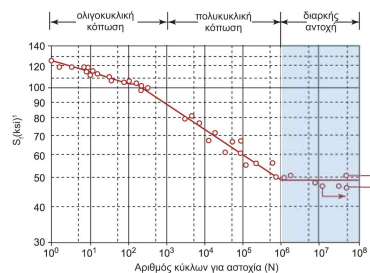
11

11

Όριο διαρκούς αντοχής, S'_n



- Η μέγιστη καθαρά εναλλασσόμενη τάση από $-\sigma$ έως σ στην οποία ένα πρότυπο δοκίμιο μπορεί να υποβληθεί για άπειρους κύκλους (συνήθως 10^6) χωρίς να αστοχήσει



| Υλικό | Χυτοσίδηρος | Μαλακός χυτοσίδηρος | Χυτοχάλυβας | Ανθρακούχος χάλυβας |
|------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Εφελκυσμός | $S'_n = 0.25 S_u$ | $S'_n = 0.28 S_u$ | $S'_n = 0.26 S_u$ | $S'_n = 0.315 S_u$ |
| Κάμψη | $S'_{nb} = 0.5 S_u$ | $S'_{nb} = 0.4 S_u$ | $S'_{nb} = 0.4 S_u$ | $S'_{nb} = 0.45 S_u$ |
| Στρέψη | $S'_{nt} = 0.5 S'_{nb}$ | $S'_{nt} = 0.64 S'_{nb}$ | $S'_{nt} = 0.58 S'_{nb}$ | $S'_{nt} = 0.58 S'_{nb}$ |

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

12

12

Τροποποιημένο Όριο, S_e



Στην πράξη, τα στοιχεία μηχανών καταπονούνται σε συνθήκες πολύ διαφορετικές από τα πειράματα επί προτύπων. Στην πράξη χρησιμοποιούμε κάποιους συντελεστές διόρθωσης που μας δίνουν το τροποποιημένο όριο διαρκούς αντοχής:

$$S_e = C_F C_R C_S \frac{1}{k_f} S'_n$$

C_F ο συντελεστής επιφανειακής κατεργασίας

C_R ο συντελεστής αξιοπιστίας

C_S ο συντελεστής διόρθωσης μεγέθους

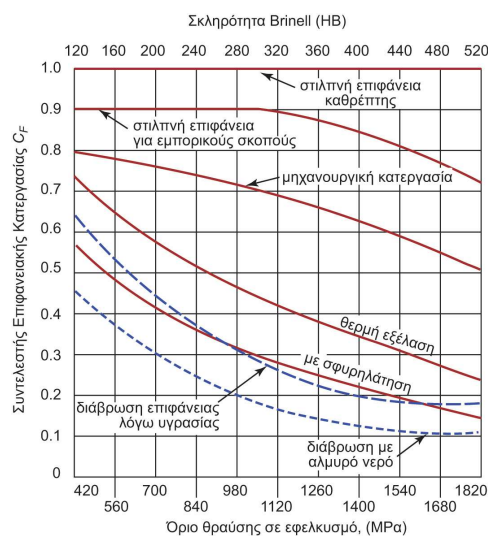
k_f ο συντελεστής συγκέντρωσης τάσεων

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

13

13

C_F ο συντελεστής επιφάνειας



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

14

14

C_R ο συντελεστής αξιοπιστίας



Τα διαγράμματα κόπωσης είναι στατιστικά, οπότε λαμβάνουμε υπόψιν την αξιοπιστία

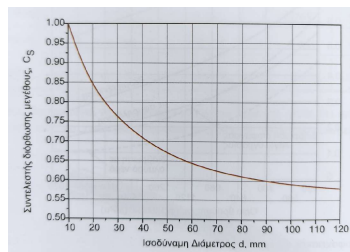
$$C_R = 1 - 0.08 * DMF$$

| Αξιοπιστία υλικού | DMF | C_R |
|-------------------|-------|-------|
| 0.5 | 0 | 1 |
| 0.9 | 1.288 | 0.897 |
| 0.95 | 1.645 | 0.868 |
| 0.98 | 2.05 | 0.836 |
| 0.99 | 2.326 | 0.814 |
| 0.999 | 3.091 | 0.753 |
| 0.999 9 | 3.719 | 0.702 |
| 0.999 99 | 4.265 | 0.659 |
| 0.999 999 | 4.753 | 0.62 |
| 0.999 999 9 | 5.199 | 0.584 |
| 0.999 999 99 | 5.612 | 0.551 |
| 0.999 999 999 | 5.997 | 0.52 |

C_S ο συντελεστής μεγέθους



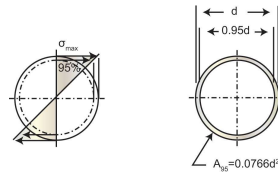
Τα πρότυπα δοκίμια έχουν διάμετρο 8mm, εάν $d > 10\text{mm}$ ο C_S διορθώνει το όριο σύμφωνα με το παρακάτω διάγραμμα.



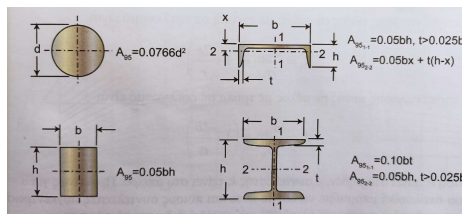
Για μη-κυκλικές διατομές, η ισοδύναμη διάμετρος είναι

$$d = \sqrt{\frac{A_{95}}{0.0766}}$$

Όπου A_{95} υπολογίζεται για την διατομή



$$A_{95, \text{κυκλ}} = \frac{\pi}{4} [d^2 - (0.95d)^2] = 0.0766d^2$$



Παράδειγμα



- Άξονας διαμέτρου 30 mm είναι κατασκευασμένος μέσω τορναρίσματος από υλικό AISI-1080 με εργαστηριακό όριο διαρκούς αντοχής $S'_n = 450 \text{ MPa}$ και επιδιωκόμενη αξιοπιστία 99%. Αγνοήστε τους συντελεστές συγκέντρωσης τάσεων.
 - Ποιο είναι το όριο διαρκούς αντοχής S_e ?
 - Ποιο φορτίο μπορεί να προκαλέσει αστοχία μετά από 10^5 κύκλους?

$$S_e = C_F C_R C_S \frac{1}{k_f} S'_n = C_F C_R C_S S'_n \text{ αφού αγνοούμε τους συντελεστές συγκέντρωσης τάσεων.}$$

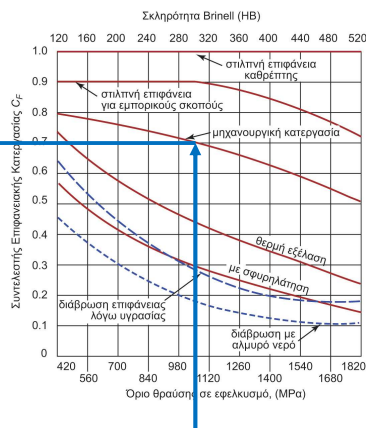
$$S_e = C_F C_R C_S * 450 \quad \text{πρέπει να υπολογίσουμε τους συντελεστές}$$

Παράδειγμα



$$S_e = C_F C_R C_S * 450 \quad \text{πρέπει να υπολογίσουμε τους συντελεστές}$$

$$C_F = 0.7$$



Παράδειγμα



$$S_e = 0.7 * C_R C_S * 450$$

πρέπει να υπολογίσουμε τους συντελεστές

Ζητείται αξιοπιστία 99 %

$$\text{Άρα } C_R = 0.814$$

| Αξιοπιστία υλικού | DMF | C _R |
|-------------------|-------|----------------|
| 0.5 | 0 | 1 |
| 0.9 | 1.288 | 0.897 |
| 0.95 | 1.645 | 0.868 |
| 0.98 | 2.05 | 0.836 |
| 0.99 | 2.326 | 0.814 |
| 0.999 | 3.091 | 0.753 |
| 0.999 9 | 3.719 | 0.702 |
| 0.999 99 | 4.265 | 0.659 |
| 0.999 999 | 4.753 | 0.62 |
| 0.999 999 9 | 5.199 | 0.584 |
| 0.999 999 99 | 5.612 | 0.551 |
| 0.999 999 999 | 5.997 | 0.52 |

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

19

19

Παράδειγμα

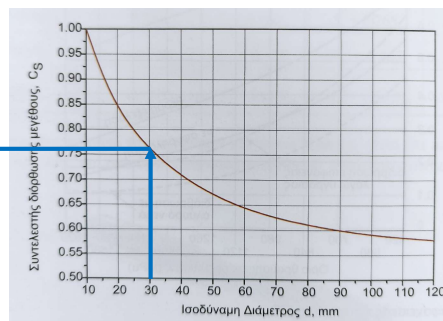


$$S_e = 0.7 * 0.814 * C_S * 450$$

πρέπει να υπολογίσουμε τους συντελεστές

Διάμετρος άξονα 30 mm

$$\text{Άρα } C_S = 0.76$$



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 4

20

20

Παράδειγμα



$$S_e = 0.7 * 0.814 * 0.76 * 450 \quad S_e = 195 \text{ MPa} \quad \text{το όριο διαρκούς αντοχής}$$

Για αστοχία μετά από 10^5 κύκλους

$$m = \frac{1}{3} \log \frac{0.9 S_u}{S_e} = \frac{1}{3} \log \frac{0.9 * 1056}{195} = 0.229$$

$$b = \log \frac{(0.9 S_u)^2}{S_e} = \log \frac{(0.9 * 1056)^2}{195} = 3.666$$

$$S_f = \frac{10^b}{N^m} = \frac{10^{3.666}}{100000^{0.229}} = 332 \text{ MPa}$$



Ερωτήσεις?