

Στοιχεία Μηχανών

Διάλεξη 8

Μετωπικοί Οδοντωτοί Τροχοί - Δυναμεις

Παναγιώτης Αλευράς
(palevras@tuc.gr)

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

1

1

Αντοχή δοντιού

Διακρίνουμε δύο τύπους σημαντικής φόρτισης

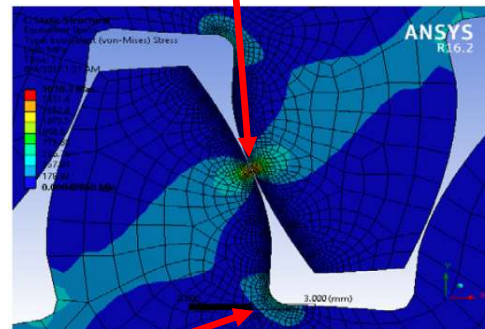


Φθορά στην επιφάνεια επαφής (pitting)

https://doi.org/10.1007/978-0-387-92897-5_571

**Έλεγχος Αντοχής AGMA
(American Gear Manufacturers
Association)**

Τάσεις στην περιοχή επαφής (Επιφανειακή αντοχή
Buckingham)



Τάσεις λόγω κάμψης (Αντοχή σε κάμψη Lewis)

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

2

2

Αντοχή σε Κάμψη - AGMA



$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_s K_m K_B \leq S_{\varepsilon\pi} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$

Επιτρεπόμενη τάση υλικού

$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_s K_m K_B \leq S_{\varepsilon\pi} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$

Αντιστοιχεί στις
καμπτικές τάσεις
κατά Lewis

Συντελεστής
Ασφαλείας AGMA

Συντελεστές που
τροποποιούν την
επιτρεπόμενη τάση

Συντελεστές που τροποποιούν την
τιμή της υπολογιζόμενης τάσης

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

3

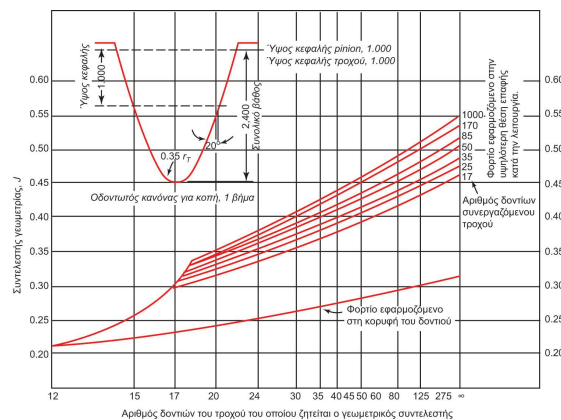
3

Συντελεστής Γεωμετρίας J



Αντίστοιχο του συντελεστή
Lewis, Y. Περιέχει συντελεστή
συγκέντρωσης τάσεων

$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_s K_m K_B \leq S_{\varepsilon\pi} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

4

4

Συντελεστής Υπερφόρτισης K_o



$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_s K_m K_B \leq S_{\varepsilon\pi} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$

Αποκλίσεις από το θεωρούμενο φορτίο F_t . Πιο έντονο σε εφαρμογές με περιοδικότητα (πχ μηχανές εσωτερικής καύσης)

Χαρακτηριστικά κινητήριας μηχανής	Χαρακτηριστικά κινούμενης μηχανής			
	Ομοιόμορφο φορτίο	Ελαφρές κρούσεις	Μέτριες κρούσεις	Ισχυρές κρούσεις
Ομοιόμορφη στρωτή λειτουργία (πχ. ηλεκτροκινητήρες, τουρμπίνες)	1.00	1.25	1.50	1.75
Ελαφρές κρούσεις (πχ. πολυκύλινδρες βενζινομηχανές)	1.20	1.40	1.75	2.25
Μέτριες κρούσεις (πχ. μονοκύλινδρες μηχανές)	1.30	1.70	2.00	2.75

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

5

5

Δυναμικός Συντελεστής K_v



Αντίστοιχο του δυναμικού συντελεστή κατά Lewis. Πιο λεπτομερής συσχέτιση.

$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_s K_m K_B \leq S_{\varepsilon\pi} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$

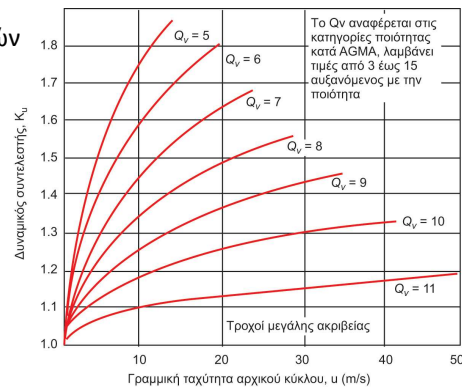
Εκφράζει αποκλίσεις από την ιδεατή σταθερή ταχύτητα λόγω κατασκευαστικών ατελειών

$$K_v = \left(\frac{A + \sqrt{200v_t}}{A} \right)^B$$

$$v_t = \frac{\pi n d}{60}$$

$$A = 50 + 56(1 - B)$$

$$B = \frac{(12 - Q_v)^2}{4}$$



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

6

6

Συντελεστές K_S και K_m



Συντελεστής Διανομής Φορτίου
 K_m

$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_S K_m K_B \leq S_{\varepsilon\pi} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$

Ιδιότητες στήριξης και ακρίβειας κατασκευής τροχού	Πλάτος δοντιού, mm			
	Μικρότερο από 50 mm	Από 50 mm έως 150 mm	Από 150 mm έως 225 mm	Μεγαλύτερο από 400
Ακριβείς στήριξεις, μικρές ανοχές στα έδρανα, ελάχιστες παραμορφώσεις, ακριβής κατεργασία κατασκευής	1.3	1.4	1.5	1.8
Λιγότερο ακριβείς στήριξεις, μεγαλύτερες ανοχές στα έδρανα, λιγότερο ακριβής κατεργασία, πλήρης επαφή κατά πλάτος	1.6	1.7	1.8	2.2
Συνδυασμοί ιδιοτήτων στήριξης και ακρίβειας κατασκευής που δεν δίνουν πλήρη επαφή κατά πλάτος των τροχών	2.2 ή μεγαλύτερο			

Συντελεστής Μεγέθους K_S

Module m	K_S κάμψης
≤ 5	1.00
6.0	1.05
8.0	1.15
12.0	1.25
20.0	1.40

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

7

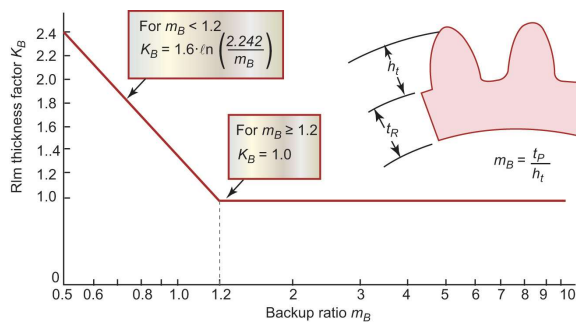
7

Συντελεστής Πάχους Στεφάνης K_B



$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_S K_m K_B \leq S_{\varepsilon\pi} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$

Για μικρό πάχος στεφάνης το καμπτικό φορτίο μπορεί να οδηγήσει σε αστοχία στη στεφάνη αντί στη ρίζα του δοντιού



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

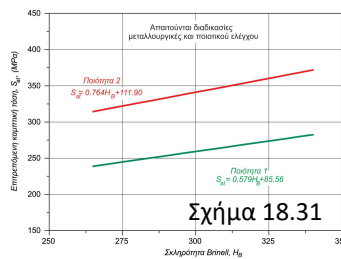
8

8

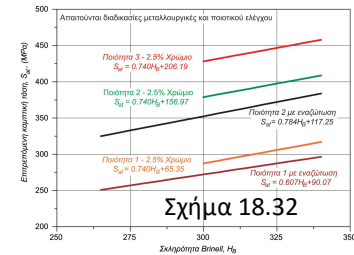
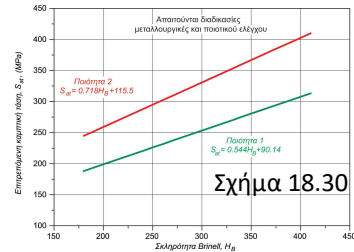
Αντοχή σε Κάμψη S_{at}



Επιτρεπόμενη καμπυλιότητα S_{at} για χαλύβιδους αδρανειακούς χυμάλους					
Υλικό	Θερμική επεξεργασία	Ελάχιστη απαιτούμενη εκτέλεση	Ποσότητα 1	Ποσότητα 2	Ποσότητα 3
Χαλύβας	Σκλήρυνση σε βρόδο	Σχήμα 18.30	Σχήμα 18.30	Σχήμα 18.30	----
	Σκλήρυνση με ελάχιστη επεξεργασία με πατέντα τύπου A	Πίνακας 18.8 Σημ.	317	387	----
	Σκλήρυνση με ελάχιστη επεξεργασία με πατέντα τύπου B	Πίνακας 18.8 Σημ.	155	155	----
	Σκλήρυνση με ελάχιστη επεξεργασία με πατέντα τύπου C	Πίνακας 18.9 Σημ.	387	458 ή 493	528
	Εναρμόνιση (Χαλύβας με σκλήρυνση σε βρόδο)	83.5 HR15N	Σχήμα 18.31	Σχήμα 18.31	----
Nitralloy 135M, Nitralloy N and 1.5% Chromium (σε αδιάλυση)	Εναρμόνιση	87.5 HR15N	Σχήμα 18.32	Σχήμα 18.32	Σχήμα 18.32



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8



9

9

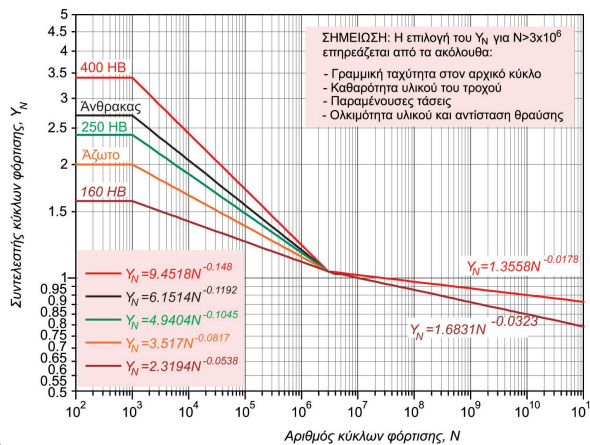
Συντελεστής Διάρκειας Ζωής K_L



Κόπωση από αριθμό κύκλων φόρτισης

Για 10^7 κύκλους $K_L = 1$

$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_s K_m K_B \leq S_{\epsilon\pi} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$



Στοιχεία Μηχανών - Διαλέξη 8

10

10

Συντελεστές



$$\sigma_t = \frac{F_t}{mbJ} K_o K_v K_s K_m K_B \leq S_{\varepsilon\pi} = \frac{S_{at} K_L}{S_F K_T K_R}$$

- Συντελεστής ασφαλείας S_F
 $S_F = 1.5 - 2.5$

- Συντελεστής Θερμοκρασίας K_T
 $K_T = 1$ για $T < 120^\circ C$

- Συντελεστής Αξιοπιστίας K_R

Απαίτηση	K_R κάμψης
0.9999	1.5
0.999	1.25
0.99	1
0.9	0.85
0.5	0.7

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

11

11

Αντοχή Επιφάνειας - AGMA



Βασίζεται στην ανάλυση κατά Buckingham με τροποποιητικούς συντελεστές στην υπολογιζόμενη τάση και την επιτρεπόμενη τάση

$$\sigma_c = C_p \sqrt{\frac{F_t}{b d_1 I} K_o K_v K_s K_m C_f} \leq S_{\varepsilon\pi} = \frac{S_{ac} Z_N C_H}{S_H K_T K_R}$$

όπου $C_p = \sqrt{\frac{1}{\pi \left[\frac{1-v_1^2}{E_1} + \frac{1-v_2^2}{E_2} \right]}}$ (Πιν. 18.19)

F_t η εφαπτομενική δύναμη

F_t το πλάτος του τροχού

d_1 η αρχική διάμετρος του πινιόν

Οι συντελεστές K_o, K_v, K_s, K_m και K_T, K_R βρίσκονται όπως στην αντοχή κάμψης AGMA, και έχουν το ίδιο νόημα.

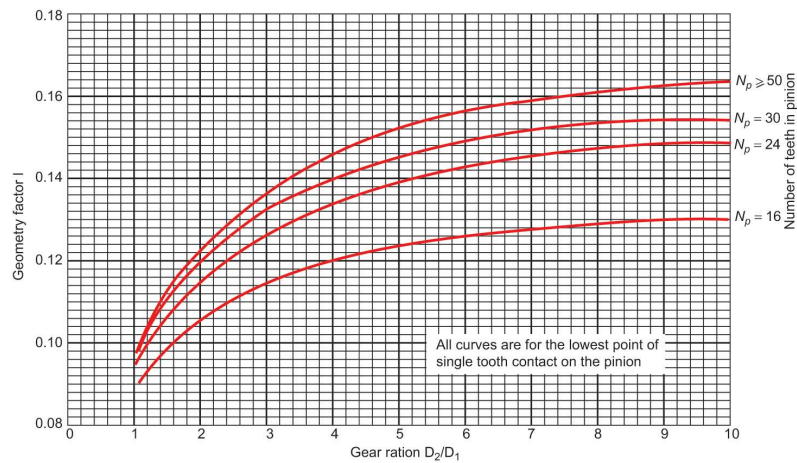
Επίσης, συνήθως $C_f = 1$

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

12

12

Συντελεστής Γεωμετρίας I



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

13

13

Επιτρεπόμενη Πίεση επαφής S_{ac}



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

14

14

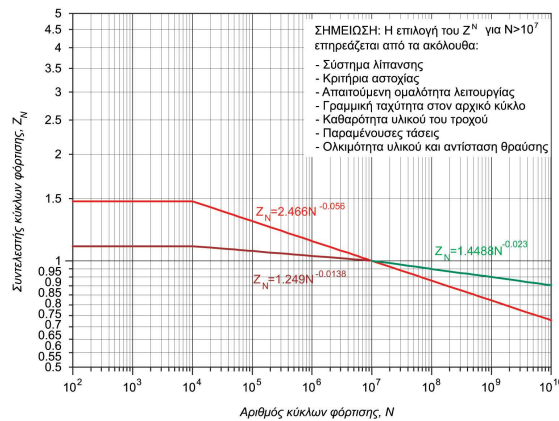
Συντελεστής Διάρκειας Ζωής Z_N



Κόπωση από αριθμό κύκλων
φόρτισης

Για 10^7 κύκλους $Z_N = 1$

$$\sigma_c = C_p \sqrt{\frac{F_t}{bd_1 I}} K_o K_v K_s K_m C_f \leq S_{\epsilon\pi} = \frac{S_{ac} Z_N C_H}{S_H K_T K_R}$$



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

15

15

Συντελεστής λόγου σκληρότητας C_H

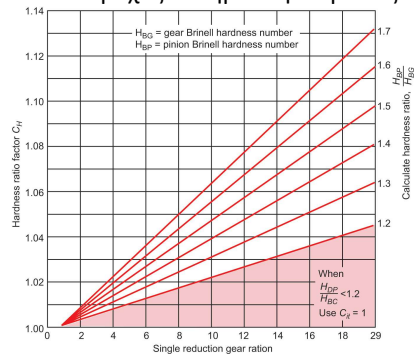


Συντελεστής επιφανειακών συνθηκών για αντίσταση
σε φθορά.

Για το πινión, $C_H = 1$

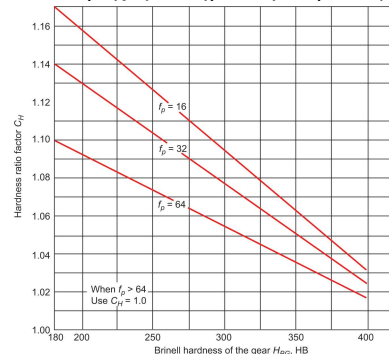
Για το τροχό από Σχ. 18.40 και 18.41

Πινión-τροχός σκλήρυνση σε βάθος



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 8

Πινión επιφανειακή σκλήρυνση
Τροχός σκλήρυνση σε βάθος



16

16

Ερωτήσεις?