

Στοιχεία Μηχανών

Διάλεξη 6

Συνδέσεις

Παναγιώτης Αλευράς
(palevras@tuc.gr)

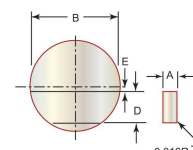
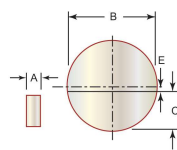
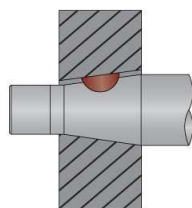
Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

1

1

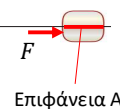
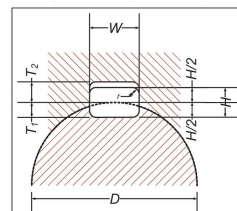
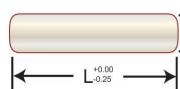
Σφήνες

• Woodruff



$$M_t = \frac{dAB}{2} \frac{S_{sy}}{N_s}$$

• Βυθιζόμενες σφήνες



Μεταφέρει στρεπτική ροπή

$$M_t \leq \frac{DWL}{2} \frac{S_{sy}}{N_s}$$

Αντοχή σε διάτμηση: $\tau = \frac{F}{A} = \frac{M_t / \left(\frac{D}{2}\right)}{WL} = \frac{2M_t}{DWL} \leq \frac{S_{sy}}{N_s}$

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

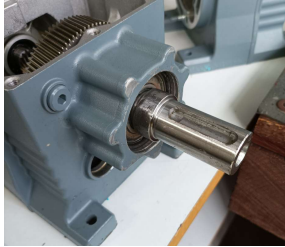
2

2

Βυθιζόμενες σφήνες



Άξονας με διαμόρφωση



+

Σφήνα



=



Ο τροχός έχει εσωτερική διαμόρφωση για να υποδεχθεί τη σφήνα

Με τη σφήνα, άξονας και τροχός αναγκάζονται να περιστρέφονται μαζί



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

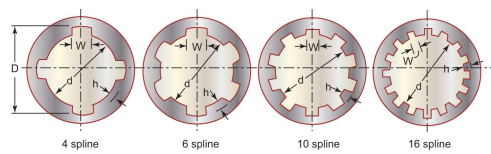
3

3

Πολύσφηνά (splines)



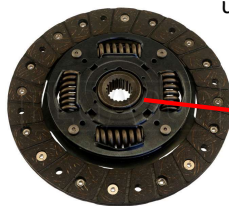
- η σφήνες που δουλεύουν μαζί. Συνήθως είναι μόνιμη διαμόρφωση στον άξονα.
- Παράδειγμα: χρησιμοποιούνται στην σύνδεση του συμπλέκτη με τον άξονα εισόδου του κιβωτίου σε αυτοκίνητα



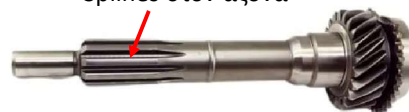
$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{M_t / \left(\frac{d}{2}\right)}{nWL} = \frac{2M_t}{ndWL} \leq \frac{S_{sy}}{N_s}$$

$$M_t \leq n \frac{dWL}{2} \frac{S_{sy}}{N_s}$$

υποδοχή στον συμπλέκτη



Splines στον άξονα



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

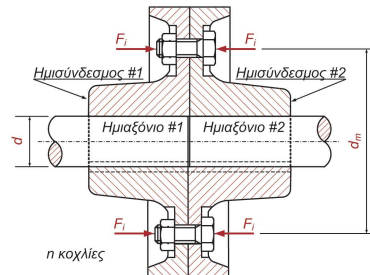
4

4

Συνδέσεις Αξόνων



- Σύνδεσμοι, συνδέουν δύο ημιαξόνια
 - Κοχλιωτοί
 - Ελαστικοί. Βασικό χαρακτηριστικό ότι μπορούν να παραλάβουν αποκλίσεις στην ευθυγράμμιση
- Κύριο σχεδιαστικό χαρακτηριστικό η μεταφερόμενη ροπή
 - $M_t = N/\omega$

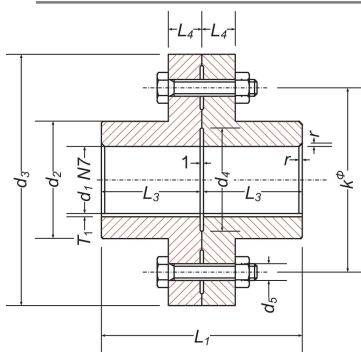


Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

5

5

Κοχλιωτοί Σύνδεσμοι (DIN-116)



Για να μεταφερθεί ροπή M_t , πρέπει η πρόταση του κάθε κοχλία F_i να είναι

$$M_t = n f F_i \frac{d_m}{2}$$

ΜΕΤΡΗΣΕΙΣ ΑΞΟΝΩΝ		ΔΙΑΣΤΑΣΕΙΣ										ΚΟΧΛΙΕΣ ΕΞΑΓΩΓΙΚΗΣ ΚΕΦΑΛΗΣ ΚΑΤΑ DIN 609		
d ₁	d ₂	d ₃	d ₄	d ₅	κ ⁹	L ₁	L ₂	L ₃	L ₄	r		ΣΠΕΙΡΟΜΑ ΚΟΧΛΙΑ	ΜΗΚΟΣ ΚΟΧΛΙΑ	ΑΡΙΘΜΟΣ ΚΟΧΛΙΩΝ
mm					mm									
25	58	125	45	11	90	101	50	16	1.6			M10	45	3
30	58	125	40	11	90	101	50	16	2.0			M10	45	3
35	72	140	50	11	100	121	60	16	2.0			M10	45	3
40	72	140	50	11	100	121	60	16	2.0			M10	45	3
45	95	160	60	11	125	141	70	18	2.0			M10	50	3
50	95	160	60	11	125	141	70	18	3.0			M10	50	3
55	110	180	70	13	140	171	85	18	3.0			M12	50	4
60	110	180	70	13	140	171	85	18	3.0			M12	50	4
70	130	200	80	13	160	201	100	23	4.0			M12	60	6
80	145	224	90	13	180	221	110	23	4.0			M12	60	8
90	164	250	100	17	200	241	120	30	4.0			M16	80	8
100	180	280	110	17	224	261	130	33	4.0			M16	80	8
110	200	300	120	17	250	281	140	33	5.0			M16	85	8
120	225	335	135	17	280	311	155	33	5.0			M16	85	10
125	225	335	135	17	280	311	155	40	5.0			M16	85	10
140	250	375	150	21	310	341	170	40	5.0			M20	100	10
160	290	425	240	25	350	401	200	45	6.0			M24	110	10
180	325	450	265	25	380	431	225	45	6.0			M24	120	12
200	360	500	290	25	420	501	250	52	6.0			M24	120	16
220	400	560	310	32	470	541	270	52	6.0			M30	140	14
250	450	630	390	32	540	601	300	55	6.0			M30	140	16

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

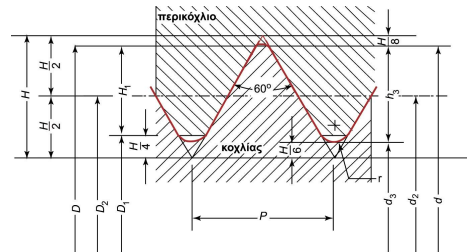
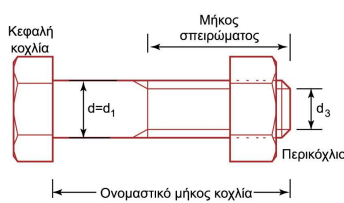
6

6

Κοχλίες



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ



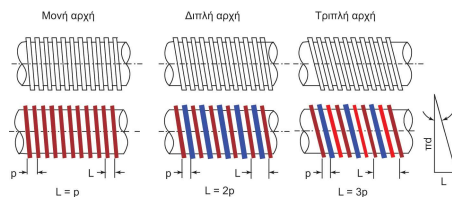
$$H = 0.86603P$$

$$h_3 = 0.61343P$$

$$H_1 = 0.54127$$

$$r = \frac{H}{6} = 0.14434P$$

- d η διάμετρος κορμού
- d_3 η εσωτερική διάμετρος του σπειρώματος
- p το βήμα του σπειρώματος
- Συνήθως εξαγωνική κεφαλή



$$\tan \alpha = \frac{L}{\pi d}$$

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

7

7

Κοχλίες μετρικών σπειρωμάτων



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ

ΤΥΠΟΣ	Βήμα σπειρώματος, P	Κυρία διάμετρος, $d = D$	Μείση διάμετρος, $d_2 = D_2$	Εσωτερική διάμετρος κοχλίας, d_1	Εσωτερική διάμετρος παρακοχλίας, d_4	Βάθος σπειρώματος, H	Φορηζόμενη επιφάνεια $A = \pi d_2 l$, mm^2
M 0.4	0.10	0.40	0.335	0.277	0.292	0.061	0.072
M 0.6	0.15	0.60	0.503	0.416	0.438	0.092	0.166
M 0.8	0.20	0.80	0.670	0.555	0.584	0.123	0.295
M 1	0.25	1.00	0.838	0.693	0.729	0.153	0.460
M 1.2	0.25	1.20	1.038	0.893	0.924	0.158	0.732
M 1.4	0.30	1.40	1.205	1.032	1.075	0.184	0.983
M 1.6	0.35	1.60	1.372	1.171	1.221	0.215	1.27
M 1.8	0.35	1.80	1.572	1.371	1.421	0.215	1.70
M 2	0.40	2.00	1.740	1.509	1.567	0.245	2.07
M 2.2	0.45	2.00	1.908	1.648	1.713	0.276	2.48
M 2.5	0.45	2.50	2.208	1.948	2.013	0.276	3.39
M 3	0.50	3.00	2.475	2.287	2.458	0.307	5.00
M 3.5	0.60	3.50	3.110	2.764	2.850	0.368	6.78
M 4	0.70	4.00	3.545	3.141	3.242	0.429	8.78
M 4.5	0.75	4.50	4.012	3.580	3.688	0.460	11.30
M 5	0.80	5.00	4.480	4.019	4.134	0.491	14.20
M 6	1.00	6.00	5.350	4.773	4.918	0.613	20.10
M 7	1.00	7.00	6.350	5.773	5.918	0.613	28.80
M 8	1.25	8.00	7.188	6.466	6.647	0.767	34.60
M 10	1.50	10.00	9.026	8.160	8.376	0.920	58.30
M 12	1.75	12.00	10.863	9.858	10.106	1.074	84
M 14	2.00	14.00	12.701	11.546	11.835	1.227	115
M 16	2.00	16.00	14.701	13.546	13.835	1.227	157
M 18	2.50	18.00	16.376	14.933	15.294	1.534	192
M 20	2.50	20.00	18.376	16.933	17.294	1.534	245
M 22	2.50	22.00	20.376	18.933	19.294	1.534	300
M 24	3.00	24.00	22.051	20.320	20.752	1.840	353
M 27	3.00	27.00	25.051	23.320	23.752	1.840	459
M 30	3.50	30.00	27.721	25.706	26.211	2.147	561
M 33	3.50	33.00	30.721	28.706	29.211	2.147	694
M 36	4.00	36.00	33.402	31.093	31.670	2.454	817
M 39	4.00	39.00	36.402	34.093	34.670	2.454	976
M 42	4.50	42.00	39.077	36.416	37.129	2.760	1104
M 45	4.50	45.00	42.077	39.416	40.129	2.760	1300
M 48	5.00	48.00	44.752	41.795	42.587	3.067	1465
M 52	5.00	52.00	48.752	45.795	46.587	3.067	1755
M 56	5.50	56.00	52.428	49.177	50.046	3.067	2022
M 60	5.50	60.00	56.428	53.177	54.046	3.374	2360

Η κατανομή της επιφάνειας του κοχλίας είναι

$$A = \frac{\pi}{4} \left(\frac{d_2 + d_1}{2} \right) l \quad \text{αν η φόρση είναι στατική, και} \quad A = \frac{\pi d_2^2}{4} \quad \text{αν είναι δυναμική}$$

Στοιχεία Μηχανών - Διαλέξη 6

8

8

Υλικά



- Κατηγορία (x,y)= $S_u = x \cdot 100$, $S_y = (y \cdot 10\%) \cdot S_u$

ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΚΟΧΛΙΑ	S_u (MPa)	S_y (MPa)	$S_{y0.2}$ (MPa)	δu (% επιμήκυνση μετά τη θραύση)	ΚΑΤΗΓΟΡΙΑ ΠΕΡΙ-ΚΟΧΛΙΟΥ	S_u (MPa)
3.6	300	180	-	25	5	500
4.6	400	240	-	22	5	500
4.8	400	320	-	14	5	500
5.6	500	300	-	20	5	500
5.8	500	400	-	10	5	500
6.6	600	360	-	16	6	600
6.8	600	480	-	8	6	600
6.9	600	-	540	12	6	600
8.8	800	-	640	12	8	800
10.9	1000	-	900	9	10	1000
12.9	1200	-	1080	8	12	1200
14.9	1400	-	1260	7	14	1400

- Συντελεστής τριβής

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

ΥΛΙΚΟ		ΛΙΠΑΝΣΗ		
ΚΟΧΛΙΑ	ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟΥ	ΧΩΡΙΣ ΛΙΠΑΝΣΗ	ΛΙΠΑΝΣΗ ΜΕ ΛΑΔΙ	ΣΚΟΝΗ MoS ₂
ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ				
Mn - Ph	ΧΩΡΙΣ	0.14 έως 0.18	0.14 έως 0.15	0.10 έως 0.11
Zn - Ph	ΧΩΡΙΣ	0.14 έως 0.21	0.14 έως 0.17	0.10 έως 0.12
Zn	ΧΩΡΙΣ	0.125 έως 0.18	0.125 έως 0.17	-
Cd	ΧΩΡΙΣ	0.08 έως 0.12	0.08 έως 0.11	-
Zn		0.125 έως 0.17	0.14 έως 0.19	-
Cd	Cd	0.08 έως 0.12	0.14 έως 0.15	-

9

9

Ροπή σύσφιξης



$$M = F \left[\tan(\rho' \pm \alpha) \frac{d_2}{2} + \mu_{\pi} \frac{d_m}{2} \right]$$

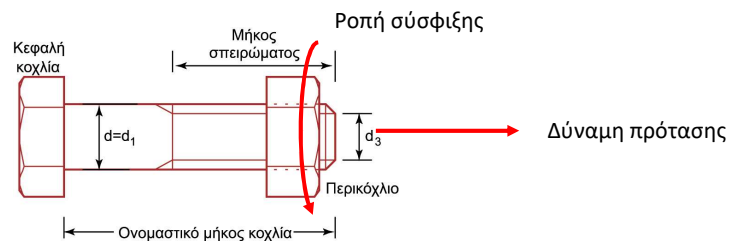
- F η εφελκυστική δύναμη στον κοχλία
- $\rho' = \mu / \cos(\beta/2)$ με $\beta = 60^\circ$ για μετρικό και μ ο συντελεστής τριβής μεταξύ κοχλία και περικοχλίου
- α η γωνία του σπειρώματος
- $d_2 = (d + d_3)/2$ η μέση διάμετρος του κοχλία
- μ_{π} ο συντελεστής τριβής μεταξύ περικοχλίου και ελάσματος (0 αν αγνοήσουμε την ροδελα)
- $d_m = (d + d_{\pi})/2$ όπου d_{π} η διάμετρος του περικοχλίου

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

10

10

Πρόταση κοχλία



- Απαιτούμενη πρόταση: 1.5x το στατικό φορτίο ή 2-2.5x το δυναμικό φορτίο
- Μέγιστη πρόταση: $F_i = 2840d$ (kp)
 $M_i = CdF_i$ (kpcmt) (αντιστοιχούσα ροπή)
 όπου $C=0.2$ για σπείρωμα χωρίς λίπανση
 $C=0.18$ για σπείρωμα με λίπανση

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

11

11

Στατική φόρτιση



- Θεωρώ κοχλία με πρόταση F_i που συνδέει δύο φλάντζες
- Η F_i οποία προκαλεί αρχική επιμήκυνση δ_{ib} στον κοχλία, και αρχική βράχυνση δ_{ip} στις φλάντζες.

Νόμος Hooke (ελατηρίου)

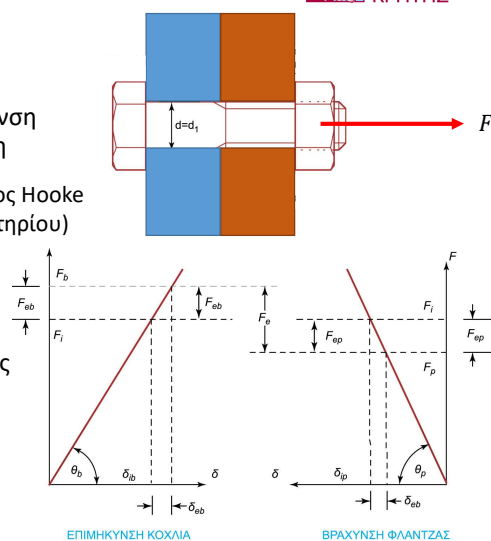
$$F_i = k_b \delta_{ib} \text{ με } k_b = E_b A_b / L_b \text{ και}$$

$$F_{ip} = k_p \delta_{ip} \text{ με } k_p = E_p A_p / L_p$$

- Όταν εφαρμοστεί φορτίο λειτουργίας F_e , οι δυνάμεις γίνονται:

$$F_b = F_i + \frac{k_b}{k_b + k_p} F_e$$

$$F_p = F_i - \frac{k_p}{k_b + k_p} F_e$$



Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

12

12

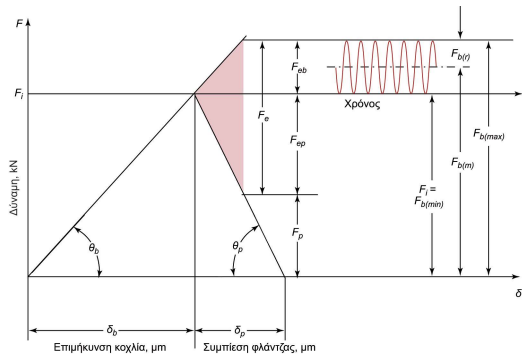
Δυναμική φόρτιση κοχλία



- Αν το φορτίο λειτουργίας είναι μεταβαλλόμενο (πχ μεταξύ 0 και F_e)

$$F_{b(max)} = F_i + \frac{k_b}{k_b + k_p} F_e \quad \rightarrow \quad F_{bm} = F_i + \frac{k_b}{k_b + k_p} \frac{F_e}{2} \quad \text{Μέση τιμή}$$

$$F_{b(min)} = F_i \quad \rightarrow \quad F_{br} = \frac{k_b}{k_b + k_p} \frac{F_e}{2} \quad \text{εύρος}$$



$$\sigma_m = F_{bm}/A_3$$

$$\sigma_r = F_{br}/A_3$$

Όπου A_3 η επιφάνεια που ορίζει η εσωτερική διάμετρος του σπειρώματος d_3

Soderberg

$$\sigma_{eq} = \sigma_m + \sigma_r \frac{S_y}{S_e} < \frac{S_y}{N}$$

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

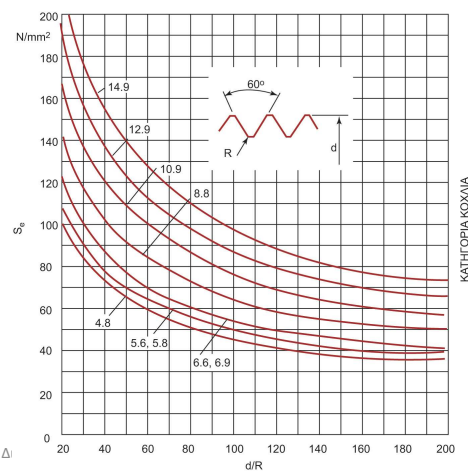
13

13

Συντελεστές συγκέντρωσης τάσεων



- Χρησιμοποιούνται στον υπολογισμό του τροποποιημένου ορίου διαρκούς αντοχής ανάλογα με την κατηγορία κοχλία



Το διάγραμμα δίνει το S_e για κάθε κατηγορία

Στοιχεία Μηχανών - Δι

14

14

Τάσεις κοχλία



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ

Περίπτωση	Τάση
Εφελκυσμός κορμού	$\sigma = F_i/A_s$ $A_s = \pi d^3/4$ για δυναμικό φορτίο $A_s = \pi d_m^3/4$ για στατικό φορτίο με $d_m = (d_2 + d_3)/2$
Κάμψη κορμού	$\sigma = \delta E/2L$ με δ την εγκάρσια μετατόπιση
Στρέψη κοχλία για σύσφιξη	$\tau = 16M/\pi d_3^3$
Σύνθετη καταπόνηση	$\sigma_{eq} = \sqrt{\sigma^2 + \alpha \tau^2} \leq \frac{S_y}{N}$ $\alpha=3$ (von Mises) ή 4 (Tresca)
Διατμητική τάση σπειρώματος	$\tau = F_b/\pi d_3 n b$ n ο αριθμός σπειρών b το ύψος της σπείρας
Κάμψη σπειρώματος	$\sigma = 3F_b h/\pi d_m n b^2$ h το ύψος του δοντιού

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

15

15

Επιφανειακή τάση σπειρώματος



ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ

- Το φορτίο F παραλαμβάνεται από το περικόχλιο πάχους $h_\pi = nP$ με εργαζόμενη επιφάνεια σπειρώματος $A_\sigma = h_\pi(\pi d_2 H_1)/P$

$$\sigma_b = \frac{F}{A_\sigma} = \frac{F}{h_\pi(\pi d_2 H_1)/P} < \sigma_b(\varepsilon\pi)$$

ΚΟΧΛΙΑΣ - ΠΕΡΙΚΟΧΛΙΟ	Επιτρεπόμενη επιφανειακή πίεση $\sigma_{\varepsilon\pi}$ (MPa)	ΤΑΧΥΤΗΤΑ
Χάλυβας-Χυτοσίδηρος	120 έως 170	Χαμηλή
Χάλυβας-Μπρούντζος	105 έως 170	Χαμηλή
Χάλυβας-Μπρούντζος	10 έως 16	Υψηλή
Χάλυβας-Χυτοσίδηρος	40 έως 70	Μέτρια
Χάλυβας-Μπρούντζος	50 έως 95	Μέτρια

Στοιχεία Μηχανών - Διάλεξη 6

16

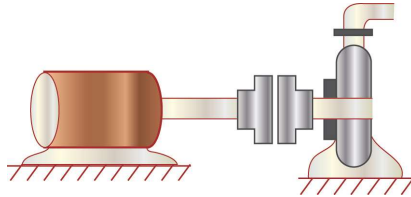
16

Άσκηση



7.7.2 από Παπαδόπουλος, Στοιχεία Μηχανών, σελ. 238-239

13.4.1 από Παπαδόπουλος, Στοιχεία Μηχανών, σελ. 525-526



13.4.2 από Παπαδόπουλος, Στοιχεία Μηχανών, σελ. 526-528



Ερωτήσεις?