

## Obsah

<u>A. ÚVODNÍ KAPITOLY</u>	str.	3
1. Definice výrobního stroje		3
2. Společenský význam výrobních strojů		3
3. Výrobní stroj jako základní článek výrobního systému - struktura výrobního stroje		3
4. Základy statické tuhosti		8
4.1 Základní definice, druhy tuhostí, poddajnost		8
4.2 Model nosné soustavy (systému)		10
4.3 Volba tvaru a materiálu součástí se zřetelem na maximální tuhost		11
4.3.1 Navrhování součástí namáhaných v ohybu		11
4.3.2 Navrhování součástí, namáhaných v kroucení		15
4.4 Tuhost styků		16
5. Základy dynamické tuhosti a kmitání výrobních strojů		18
5.1 Úvod		18
5.2 Základní vztahy z komplexních čísel		19
5.3 Rozdělení kmitání a kmitavých systémů		21
5.4 Systémy s jedním stupněm volnosti		21
5.4.1 Kmitání volné		21
5.4.2 Kmitání vynucené		25
5.5 Systémy se dvěma stupni volnosti		32
5.5.1 Kmitání volné		32
5.5.2 Kmitání vynucené		36
5.6 Systémy s obecným počtem stupňů volnosti		40
5.7 Závěr		41
6. Technologické charakteristiky výrobních strojů		42
6.1 Základní technologické charakteristiky obráběcích procesů		42
6.2 Základní charakteristiky technologických tvářecích pochodů		43
6.2.1 Podmínky vzniku plastické deformace, přetvárná pevnost materiálu		44
6.2.2 Přetvárný (deformační) odpor		45
6.2.3 Poměrná rychlost tváření		46
6.2.4 Tvářecí síla, tvářecí charakteristika		48
6.2.5 Tvářecí práce, deformační účinnost		50
7. Hlavní technické parametry výrobních strojů		51
<u>B. ZÁKLADY STAVBY OBRÁBĚCÍCH STROJŮ</u>		52
I. ÚVOD		52
1. Stručná historie vývoje obráběcích strojů		52
2. Výrobní základna obráběcích strojů v Československu		54
3. Rozdělení obráběcích strojů		54
4. Požadavky kladené na obráběcí stroje		55
4.1 Rozbor požadavků velkého výrobního výkonu		56

4.1.1 Snižování časových ztrát uvnitř jedné pracovní směny, tj. zvyšování krátkodobého výrobního výkonu obráběcích strojů	58
4.1.1.1 Zkracování produktivních časů	59
4.1.1.2 Zkracování neproduktivních časů	64
4.1.1.3 Shrnutí	66
4.1.2 Snižování časových ztrát zvyšováním směnnosti a prací o volných dnech	66
4.2 Rozbor požadavku vysoké pracovní přesnosti	67
4.3 Provozní spolehlivost a trvanlivost	68
4.4 Bezpečnost práce	68
4.5 Dobrá účinnost	69
4.6 Rychlé odstraňování třísek	69
4.7 Malá hmotnost	69
4.8 Malá půdorysná plocha	70
<b>II. ZAJIŠTĚNÍ TOKU ENERGIE A REALIZACE ENERGIE V PROCESU ŘEZÁNÍ - SYSTÉM STROJ - NÁSTROJ - OBROBEK</b>	<b>70</b>
<b>5. Pohony, jejich mechanismy a součásti</b>	<b>72</b>
5.1 Úvod do teorie pohonů	72
5.1.1 Základní pojmy	72
5.1.2 Plynulá a stupňovitá změna pracovních rychlostí	74
5.2 Hnací jednotky - motory	75
5.2.1 Výkon hnacího motoru	75
5.2.2 Výkonové a momentové charakteristiky	76
5.3 Mechanismy pohonů a jejich součásti	76
5.3.1 Mechanismy pro rotační pohyb	76
5.3.1.1 Stupňovitá změna otáček	77
5.3.1.1.1 Řady otáček a jejich normalizace	77
5.3.1.1.2 Diagram otáček	82
5.3.1.1.3 Základní převodové systémy stupňovité změny otáček	83
5.3.1.1.4 Složení převodové systémy stupňovité změny otáček	93
5.3.1.2 Plynulá změna otáček	100
5.3.1.2.1 Základní systémy	100
5.3.1.2.2 Složené systémy	102
5.3.1.3 Zatížení mechanismů pro rotační pohyb	103
5.3.1.3.1 Zatížení statické	103
5.3.1.3.2 Zatížení dynamické	103
5.3.1.4 Vymezování vůle v převodech ozubených kol	104
5.3.1.5 Součásti mechanismů pro rotační pohyb	106
5.3.1.5.1 Hřídele	106
5.3.1.5.2 Ozubená kola	107
5.3.1.5.3 Spojky	112
5.3.2 Mechanismy pro přímočarý pohyb	113
5.3.2.1 Šroub a matice	113
5.3.2.2 Šnek a ozubený hřeben	115
5.3.2.3 Šnek a šnekový hřeben	115

5.3.2.4	Pastorek a ozubený hřeben	str. 115
5.3.2.5	Vačky	116
5.3.2.6	Klikové mechanismy	116
5.3.3	Mechanismy pro přerušovaný pohyb	117
5.3.3.1	Vypínání a zapínání pohonu	118
5.3.3.2	Rohatka se západkou	118
5.3.3.3	Maltézské mechanismy	118
5.3.3.4	Vačkové mechanismy	119
6.	Nosný systém obráběcího stroje	119
6.1	Definice a požadavky	119
6.2	Části nosného systému obráběcího stroje	120
6.2.1	Hlavní nosná tělesa	120
6.2.2	Spojení a jejich součásti	122
6.2.2.1	Spojení nepohyblivá	122
6.2.2.2	Spojení pohyblivá	125
6.2.2.2.1	Teoretické základy pohyblivého spojení (textová část k tab.6.2)	126
6.2.2.2.2	Přímochará vedení	132
6.2.2.2.3	Kruhová vedení	155
6.2.2.2.4	Vřetena a jejich uložení	157
6.2.2.2.5	Posuvové šrouby a jejich uložení	166
III.	ZAJIŠTĚNÍ TOKU HMOTY	170
7.	Mazání a chlazení	170
7.1	Mazací zařízení	170
7.1.1	Mazání ruční	171
7.1.2	Mazání rozstříkem	171
7.1.3	Mazání broděním	171
7.1.4	Mazání olejovou mlhou	172
7.1.5	Oběhové mazání	172
7.2	Chladicí zařízení	173
IV.	ZAJIŠTĚNÍ TOKU INFORMACÍ - ŘÍZENÍ	174
8.	Řízení obráběcích strojů	174
8.1	Řízení ruční	175
8.1.1	Požavky na ovládací zařízení	175
8.1.2	Převodní mechanismy	176
8.1.3	Blokovací a aretační ústrojí	176
8.1.4	Řadicí ústrojí	
8.1.5	Předvolba otáček	177
8.2	Řízení programové (automatické)	177
V.	DOPLŇUJÍCÍ KAPITOLY	178
9.	Vlastnosti obráběcích strojů	178
9.1	Statické chování obráběcích strojů	178
9.2	Dynamické chování obráběcích strojů	180
9.3	Tepebné chování obráběcích strojů	187
9.4	Přesnost práce obráběcích strojů	190

9.4.1 Přesnost nastavení nástroje	str. 190
9.4.2 Vůle v pohybovém mechanismu	192
9.4.3 Relativní deformace mezi nástrojem a obrobkem	192
9.4.5 Geometrická přesnost stroje	194
9.5 Účinnost obráběcích strojů	194
9.5.1 Účinnost výkonová	195
9.5.2 Účinnost energetická	195

## C. ZÁKLADY STAVBY TVÁŘECÍCH STROJŮ

I. Úvod	197
1. Stručné dějiny vývoje tvářecích strojů	197
2. Směry ve vývoji tvářecích strojů	199
3. Rozdělení tvářecích strojů	202
4. Požadavky kladené na tvářecí stroje	206
4.1 Výkonnost	207
4.2 Provozní spolehlivost a trvanlivost	207
4.3 Jakost práce	208
5. Základní technické parametry tvářecích strojů	210
5.1 Rozměrové parametry (obr. 5.1)	210
5.1.1 Rozměry pracovního prostoru	210
5.1.2 Vnější rozměry stroje	211
5.2 Výkonové parametry	212
5.2.1 Jmenovitá síla $F_j$	212
5.2.2 Jmenovitý zdvih	213
5.2.3 Jmenovitá energie	213
5.3 Rozbor výkonnosti	215
5.4 Využití výkonových parametrů	220
5.4.1 Efektivní rozsah tvářecí dráhy a regulace výkonových parametrů	222
II. ZAJIŠTĚNÍ TOKU ENERGIE A JEJÍ REALIZACE V PROCESU TVÁŘENÍ - SYSTÉM STROJ - NÁSTROJ - TVÁŘENÝ MATERIÁL	
6. Pohony tvářecích strojů	224
6.1 Základy teorie pohonů tvářecích strojů	224
6.1.1 Pohybová rovnice soustavy	224
6.1.2 Volba druhu pohonu	226
6.1.2.1 Přímý pohon	227
6.1.2.2 Nepřímý pohon	228
6.1.2.2.1 Stupeň využití energie setrvačnicku	228
6.1.2.2.2 Stupeň využití energie plynového akumulátoru	229
6.1.3 Přenos energie tvářecím strojem	230
6.1.3.1 Energetická bilance hlavního pracovního cyklu	231
6.1.3.2 Přenos energie při lisovním zdvihu	232
6.1.3.3 Přenos energie při rázu	234
6.2 Mechanismy pohonu a jejich součásti	238
6.2.1 Převodové systémy ozubených kol	238
6.2.2 Mechanismy s přímočarým vratným pohybem	242
6.2.3 Základy výpočtu pohonů mechanických tvářecích strojů	244

6.2.3.1	Kinematika klikových mechanismů	str. 244
6.2.3.2	Kinematika kolenových mechanismů	248
6.2.3.3	Kinematika kliko-pákových a přidržovacích mechanismů	250
6.2.3.4	Síly a momenty	255
6.2.3.4.1	Základní síla a hnací moment	255
6.2.3.4.2	Tvářecí síla a odporový moment	256
6.2.3.4.3	Vliv pružení nosné soustavy na průběh odporového momentu	258
6.2.3.4.4	Dynamické síly a momenty	263
6.2.3.4.5	Hnací a jmenovitý moment elektromotoru	264
6.2.3.5	Odpory proti smykovému a čepovému tření	265
6.2.3.5.1	Rameno třecího momentu a funkce přenosu energie $\eta_f$	265
6.2.3.5.2	Zaklínování klikového mechanismu	268
6.2.3.6	Práce odporových sil a momentů	270
6.2.3.6.1	Energetická účinnost klikového mechanismu	272
6.2.3.7	Výkon elektromotoru a práce setrvačnicku	275
6.2.3.7.1	Výkon elektromotoru – předběžný výpočet	275
6.2.3.7.2	Energie setrvačnicku a elektromotoru – předběžný výpočet	278
6.2.3.7.3	Vliv změny otáček na výkon elektromotoru a velikost setrvačnicku	279
6.2.3.8	Regulace zdvihu dvojitým výstředníkem	282
6.2.3.8.1	Geometrické poměry	282
6.2.4.8.2	Regulace základní síly změnou zdvihu, přetíživost silou a momentem	286
6.3	Spojky	288
6.4	Brzdy	293
7.	Nosná soustava tvářecího stroje	295
7.1	Vliv tuhosti nosné soustavy na provozní vlastnost tvářecího stroje	296
7.1.1	Vliv tuhosti nosné soustavy na charakteristiku hnací síly	296
7.1.2	Vliv tuhosti na životnost stroje	299
7.1.3	Vliv tuhosti na odpory proti smykovému a čepovému tření	301
7.1.4	Vliv tuhosti na přesnost rozměrů výrobků	301
7.2	Volba tuhosti nosné soustavy	305
7.3	Kritérium statické tuhosti zdvihových tvářecích strojů	307
7.4	Stojany tvářecích strojů	310
7.4.0.	Třídění, charakteristické vlastnosti, požadavky	311
7.4.1	Výpočet otevřených stojanů	312
7.4.2	Výpočet uzavřených stojanů	315
7.4.3	Optimalizace statické tuhosti a hmotnosti nosného jádra otevřeného stojanu	319
7.4.3.1	Tuhost nosného jádra	319
7.4.4	Kritéria hospodárnosti konstrukce nosného jádra	320
7.4.4.1	Absolutní kritérium	320
7.4.4.2	Relativní kritérium	320
7.4.5	Lokální extrém tvarové konstanty	321
7.4.5.1	Lokální extrém tvarové konstanty s nulovou tloušťkou bočních stěn	322

7.4.5.2 Lokální extrém tvarové konstanty plnostěnného jádra s nenulovou tloušťkou bočních stěn	str. 323
7.4.6 Mezní poměrná tuhost a hmotnost nosného jádra	324
7.4.7 Maximální hospodárnost konstrukce (lokální extrém poměrné tvarové konstanty)	325
7.4.8 Optimální a mezní parametry nosného jádra, absolutní hospodárnost	325
7.4.9 Příklad výpočtu mezních a optimálních poměrných parametrů	326
7.4.10 Vliv poměrného vyložení stojanu $\lambda$ na hospodárnosti konstrukce $\xi$ a poměrnou ohybovou tuhost $\gamma$	328
7.5 Klikové hřídele	328
7.6 Ojnice	329
7.7 Berany	330
III. ZAJIŠTĚNÍ TOKU HMOTY	332
8. Mazací systémy tvářecích strojů	332
IV. ZAJIŠTĚNÍ TOKU INFORMACÍ - ŘÍZENÍ	333
9. Ovládací zařízení tvářecích strojů	333
9.1 Požadavky na ovládání	333
9.2 Třídění ovladačů	334
V. DOPLŇUJÍCÍ KAPITOLY	337
10. Přesnost práce tvářecích strojů	337
10.1 Přesnost prostorové dráhy nástroje	337
10.1.1 Geometrické úchyly stroje a nástroje	339
10.1.2 Radiální a axiální vůle	340
10.1.3 Pružné deformace a natočení	341
10.2 Technologické faktory	344
11. Zkoušení a měření tvářecích strojů	345
11.1 Příprava zkoušek a měření	345
11.2 Zabíhání stroje	346
11.3 Měřené parametry	346
11.3.1 Měření statické tuhosti	236
11.3.2 Měření sil a momentů	347
11.3.3 Měření dráhy	348
11.3.4 Měření rychlosti	349
11.3.5 Měření příkonu a oteplení elektromotoru	350
11.3.6 Měření energie setrvačnicku (poměrný pokles otáček)	350
11.3.7 Měření práce a energetické účinnosti	351
11.3.8 Měření dobehu beranu	352
11.3.9 Měření dynamických sil působících do základu stroje	353
11.4 Přejímací zkoušky	354
11.4.1 Kontrola provozní schopnosti strojů	355
11.4.2 Zabíhání strojů	356
11.4.3 Funkční zkoušky	356
11.4.4 Zkoušky geometrické přesnosti	357

11.4.4.1 Podmínky pro měření	str. 357
11.4.4.2 Druhy měření	357
11.4.5 Zkoušky stroje se zatížením a ověření vybraných parametrů	360
12. Základy bezpečnosti práce	362
12.1 Základní definice	362
12.2 Zásady bezpečnosti práce	362
12.3 Ochranné zařízení	363
13. Parametry typizované řady výstředníkových a klikových lisů	365
<u>D. KAPITOLY ZÁVĚREČNÉ</u>	371
1. Hlavní zásady pro konstrukci	371
2. Využití počítačů při navrhování výrobních strojů	372
3. Ukládání strojů na základ	374
Literatura	377