

OBSAH

	PŘEHLED VELIČIN A JEJICH JEDNOTEK	13
	PŘEHLED ZKRATEK	15
	INDEXY	16
	PŘEDMLUVA	17
	ÚVOD	18
1	FYZIKÁLNÍ ZÁKLADY PLASTICKÉ DEFORMACE OCELÍ	23
1.1	Struktura oceli	23
1.2	Tuhé roztoky v ocelích	24
1.2.1	Substituční tuhé roztoky	25
1.2.2	Intersticiální tuhé roztoky	25
1.3	Nedokonalosti krystalové mřížky ve struktuře oceli	25
1.3.1	Bodové vady	25
1.3.2	Čárové vady (dislokace)	26
1.3.3	Plošné vady	27
1.3.4	Prostorové vady	28
1.4	Označování krystalografických rovin a směrů, důležité rozměry krychlové mřížky	28
1.5	Plastická deformace ocelí	30
1.5.1	Fyzikální zákony kluzu	31
1.5.2	Pohyb dislokací při transkrystalickém kluzu	32
1.5.3	Další mechanismy plastické deformace ocelí	34
1.5.4	Deformační textura plasticky tvářených ocelí	35
1.5.5	Hlavní překážky pohybu dislokací při tváření ocelí	36
1.5.6	Zpevňování ocelí tvářených za studena a za tepla	39
1.5.7	Vliv teploty na deformační napětí	40
1.5.8	Vliv rychlosti deformace na deformační napětí	40
1.6	Vznik lomů v plasticky deformovaných ocelích	41
2	MECHANICKÁ PODSTATA A ZÁKLADNÍ ZÁKONY PLASTICKÉ DEFORMACE	44
2.1	Napětí v tvářeném tělese	44
2.1.1	Charakteristika napětí	44
2.1.2	Tenzor napětí	45
2.1.3	Stav napjatosti	46
2.2	Deformace v tvářeném tělese	47
2.2.1	Poměrná deformace	47
2.2.2	Skutečná deformace	48
2.2.3	Stav deformace	49
2.2.3.1	Nerovnoměrná deformace	49
2.3	Mechanické schéma deformace	50
2.4	Deformační rychlost	51
2.5	Podmínky vzniku plastické deformace	52
2.5.1	Podmínka maximálního tangenciálního napětí	52
2.5.2	Podmínka intenzity smykových napětí	53
2.6	Deformační síla	53
2.7	Deformační práce	55
2.8	Základní zákony plastické deformace	56
2.8.1	Zákon stálosti objemu	56
2.8.2	Zákon nejmenšího odporu	56
2.8.3	Zákon přídavných napětí	57
2.9	Vnější tření	57

3	TEPELNĚ AKTIVOVANÉ DĚJE PŘI TVÁŘENÍ ZA TEPLA	60
3.1	Uzdravovací procesy při tváření za tepla	61
3.1.1	Dynamické zotavení	61
3.1.2	Dynamická rekrystalizace	62
3.1.3	Studium uzdravovacích procesů při tváření za tepla	63
3.2	Uzdravovací procesy po tváření za tepla	64
3.2.1	Studium uzdravovacích procesů po tváření za tepla	65
3.3	Precipitace při plastické deformaci	66
3.4	Vliv plastické deformace na fázové přeměny	68
4	TVARITELNOST A DEFORMAČNÍ ODPOR	71
4.1	Hlavní činitele ovlivňující tvařitelnost	71
4.2	Zkoušení tvařitelnosti	72
4.2.1	Základní mechanické zkoušky za tepla	72
4.2.1.1	Tahová zkouška	72
4.2.1.2	Tlaková zkouška	72
4.2.1.3	Krutová zkouška	73
4.3	Ukazatele tvařitelnosti	75
4.4	Fyzikální podstata tvařitelnosti	75
4.5	Vliv metalurgických činitelů na tvařitelnost	77
4.5.1	Strukturní stavy	77
4.5.2	Chemické složení oceli	79
4.6	Vliv termomechanických činitelů	82
4.6.1	Teplota deformace	82
4.6.2	Deformační rychlost	82
4.6.3	Velikost deformace	83
4.7	Napětový stav	84
4.8	Deformační odpor	85
4.9	Možnosti zlepšení tvařitelnosti	89
5	VLIV TVÁŘENÍ NA STRUKTURU A VLASTNOSTI OCELI	90
5.1	Vliv tváření na strukturu oceli v litém stavu	90
5.2	Vliv tváření na strukturu v protvářeném stavu	90
5.3	Vliv termomechanických činitelů na strukturní stav tvářené oceli	92
5.4	Podmínky pro zjemnění zrna při tváření za tepla	94
5.5	Zvyšování mechanických vlastností oceli zvláštními způsoby tváření	95
5.5.1	Rízení dovalcovacích teplot	95
5.5.2	Termomechanické zpracování	96
5.5.3	Řízené válcování mikrolegovaných ocelí	99
6	METALURGICKÉ ZÁKLADY OHŘEVU	100
6.1	Fyzikální veličiny charakterizující ohřev kovu	100
6.1.1	Součinitel tepelné vodivosti	100
6.1.2	Měrná tepelná kapacita	102
6.1.3	Hustota	102
6.1.4	Součinitel teplotní vodivosti	103
6.1.5	Teplotní délková roztažnost	103
6.1.6	Mechanické vlastnosti	103
6.2	Základní veličiny ohřívacího režimu	104
6.2.1	Tvářecí teplota	104
6.2.1.1	Horní tvářecí teplota	104
6.2.1.2	Dolní tvářecí teplota	105
6.2.2	Rychlost ohřevu	107
6.2.3	Doba ohřevu	108
6.2.4	Sázecí teplota pece	109
6.3	Průvodní jevy ohřevu	110
6.3.1	Opal	110
6.3.2	Oduhličení	111
6.3.3	Přehřátí a spálení	111

7	ZÁKLADY TEORIE PODÉLNÉHO VÁLCOVÁNÍ	113
7.1	Základní podmínky válcování	113
7.1.1	Rozměrové změny válcovaného polotovaru	115
7.1.2	Vnější tření při válcování	116
7.1.3	Záběrové schopnosti válců	120
7.1.4	Rovnováha sil v mezeře válců	122
7.2	Pásmo deformace	124
7.2.1	Rozbor pásma deformace	124
7.2.2	Deformační rychlost	126
7.3	Průběh rychlosti a deformace ve skutečném pásmu deformace	127
7.3.1	Průběh rychlosti a napětí po výšce provalku	127
7.3.2	Rozdělení rychlosti a napětí po šířce provalku	129
7.3.3	Poloha a tvar neutrální roviny	130
7.3.4	Průběh deformace uvnitř pásma deformace	130
7.4	Nerovnoměrná deformace	132
7.4.1	Projevy nerovnoměrné deformace	133
7.5	Šíření při válcování	136
7.6	Předstih při válcování	142
7.7	Rozložení normálových a tangenciálních napětí při válcování	143
7.7.1	Silové podmínky při válcování	146
7.8	Základy kalibrace, konstrukce kalibrů, kalibrační řady	149
7.8.1	Kalibrace válců a základní pojmy	149
7.8.2	Kalibrační řady pro válcování předválců čtvercového průřezu	154
7.8.3	Kalibrační řady pro válcování předválců kruhového průřezu	156
8	VÝCHOZÍ MATERIÁLY PRO TVÁŘENÍ	159
8.1	Rozdělení ocelí ke tváření	159
8.2	Základní druhy a parametry výchozích materiálů	160
8.2.1	Ingoty	160
8.2.2	Plynule lité předlitky	162
8.2.3	Odstředivě lité duté ingoty	162
8.2.4	Tlakově lité bramy	162
8.2.5	Sdružené lité ingoty a složené předvalky	162
8.2.6	Práškové materiály	162
8.3	Makrostruktura a chemická nehomogenita	163
8.4	Vady výchozích materiálů	166
8.4.1	Ingoty	166
8.4.1.1	Vady vnější	166
8.4.1.2	Vady vnitřní	166
8.4.2	Plynule lité předlitky	167
8.5	Úprava ingotů a předválců před válcováním	168
8.5.1	Homogenizační žihání	168
8.5.2	Úprava povrchu	168
9	VÁLCOVNY A JEJICH ZAŘÍZENÍ	171
9.1	Válcovací tratě a stolice	171
9.1.1	Rozdělení válcovacích tratí	174
9.1.1.1	Rozdělení válcovacích tratí podle konstrukce válcovací stolice a počtu válců ve stolici	174
9.1.1.2	Rozdělení válcovacích tratí podle druhu vývalků a průměru pracovních válců	175
9.1.1.3	Rozdělení válcovacích tratí podle způsobu otáčení válců	176
9.1.1.4	Rozdělení válcovacích tratí podle uspořádání válcovacích stolic	176
9.1.2	Válcovací stolice	176
9.1.2.1	Stojany s příslušenstvím	177
9.1.2.2	Pracovní válce	179
9.1.2.3	Ložiska válcovacích stolic	180
9.1.2.4	Stavění a vyvážení válců	180
9.1.2.5	Stolice ozubených válců a reduktory	181
9.1.2.6	Spojky, vřetena a objímky	181
9.1.2.7	Armatura válcovací stolice	182
9.1.3	Pomocná zařízení válcovacích tratí	184
9.1.3.1	Dopravní a manipulační zařízení	184
9.1.3.2	Úpravenská zařízení	185

10	VÝROBA PŘEDVALKŮ	187
10.1	Předvalkové tratě	187
10.1.1	Blokovny	188
10.1.2	Slabiny	191
10.2	Kalibrace válců blokoven	191
10.3	Technologie válcování bloků a bram	196
10.3.1	Válcování korozivzdorných ocelí na předvalkových tratích	198
10.3.2	Optimalizace výrobní technologie na předvalkové trati	203
10.3.3	Válcování plynule litých bloků a bram	206
10.4	Technologie válcování bram na slabingu	209
10.5	Sochorové tratě	209
10.5.1	Otevřené sochorové tratě	209
10.5.2	Spojité sochorové tratě	211
10.6	Kalibrace sochorových tratí	212
10.7	Technologie válcování sochorů	215
10.7.1	Válcování lehkých bram a ploštin	217
10.8	Technicko-ekonomické ukazatele při válcování předvalků	217
10.9	Základní vývojové směry	218
11	VÝROBA TVAROVÉ A TYČOVÉ OCELI	221
11.1	Rozdělení tvarové a tyčové oceli	221
11.2	Uspořádání a základní parametry válcovacích tratí	221
11.2.1	Těžké válcovací tratě	221
11.2.2	Hrubé, střední a jemné válcovací tratě	223
11.3	Válcování a kalibrace těžkých tvarových vývalků	228
11.3.1	Válcování kolejnic	228
11.3.1.1	Způsoby kalibrace kolejnic	230
11.3.2	Válcování ocelí průřezu I	234
11.3.2.1	Kalibrace ocelí průřezu IE	235
11.3.3	Válcování ocelí průřezu U	237
11.3.3.1	Kalibrace ocelí průřezu U	238
11.3.4	Válcování štetovnic	239
11.3.5	Válcování úhelníků (tyčí průřezu L)	240
11.3.5.1	Kalibrace úhelníků (tyčí průřezu L)	241
11.3.6	Dělení tvarové oceli	242
11.4	Válcování hrubých, středních, jemných tvarových vývalků a tyčové oceli	242
11.4.1	Typické vady profilové oceli	243
11.4.2	Technicko-ekonomické ukazatele při válcování profilů	243
11.4.3	Základní vývojové směry	245
11.5	Válcování drátů	246
11.5.1	Základní požadavky na dráty válcované za tepla	246
11.5.2	Válcovací tratě	246
11.5.2.1	Drátové tratě v otevřeném uspořádání	247
11.5.2.2	Polospojité drátové tratě	247
11.5.2.3	Spojité drátové tratě	248
11.5.3	Kalibrace válců drátových tratí	251
11.5.4	Rízené ochlazování drátů	252
12	VÝROBA PLOCHÝCH VÝVALKŮ	255
12.1	Tlusté plechy	255
12.1.1	Sortiment tlustých plechů	255
12.1.2	Výchozí materiály	256
12.1.3	Uspořádání válcovacích tratí	257
12.1.4	Výrobní zařízení	261
12.1.4.1	Ohřívací pece	262
12.1.4.2	Válcovací tratě	263
12.1.4.3	Úpravenská zařízení	266
12.1.5	Postup výroby tlustých plechů	271
12.1.6	Vliv výrobních činitelů na jakost plechu	282
12.1.6.1	Chemické složení oceli	282
12.1.6.2	Stupeň protváření	282
12.1.6.3	Tloušťka plechu	283

12.1.6.4	Způsob válcování	284
12.1.7	Rozměrová a tvarová přesnost	287
12.1.8	Automatizace válcoven tlustých plechů	288
12.1.9	Zvláštní jakosti tlustých plechů	289
12.1.9.1	Řízeně válcované tlusté plechy z mikrolegovaných ocelí	289
12.1.9.2	Lodní plechy	290
12.1.9.3	Kotlové plechy	291
12.1.9.4	Plátované plechy	291
12.1.10	Typické vady tlustých plechů	292
12.1.11	Technicko-ekonomické ukazatele výroby tlustých plechů	293
12.1.12	Základní vývojové směry	294
12.2	Válcování tenkých plechů v tabulích	294
12.3	Válcování široké oceli	295
12.4	Válcování pásových ocelí za tepla	295
12.4.1	Přehled vyráběného sortimentu pásů válcovaných za tepla	298
12.4.2	Pásově válcovací tratě a jejich výrobní sortiment	299
12.4.3	Metallurgicko-technologická problematika výroby pásů válcovaných za tepla	306
12.4.4	Úprava a zpracování pásů válcovaných za tepla	317
12.5	Válcování pásových ocelí za studena	318
12.5.1	Přehled vyráběného sortimentu pásů válcovaných za studena	318
12.5.2	Odokujování pásů válcovaných za tepla	320
12.5.3	Válcovací stolice a tratě pro válcování pásů za studena	325
12.5.4	Nejužší pece pro žhání pásových ocelí	329
12.5.5	Vliv hlavních technologických činitelů ve válcovací mezeři při válcování pásů za studena	334
12.5.6	Metallurgicko-technologická problematika výroby pásů válcovaných za studena	336
12.5.7	Další úpravenské operace ve válcovnách pásů za studena	349
12.5.8	Zušlechťované a povrchově pokovené a plastované pásy	349
13	TAŽENÍ DRÁTŮ A TYČÍ	351
13.1	Základní dělení ocelových tažených drátů	351
13.2	Tažné stolice	352
13.2.1	Stolice s přímočarým pohybem	352
13.2.2	Stolice s navijením taženého drátu	353
13.3	Průvlaky pro tažení	354
13.4	Základy tažení	354
13.5	Příprava drátů k tažení	360
13.6	Technologie tažení	360
13.6.1	Tažení drátů	361
13.6.2	Tažení tyčové oceli	362
13.6.3	Výroba tvarových drátů	362
13.7	Tepelné zpracování	363
13.8	Pokovování	363
13.9	Zkoušení	364
14	PROTLAČOVÁNÍ	365
14.1	Podstata a použití protlačování oceli	365
14.2	Způsoby protlačování	366
14.2.1	Dopředné protlačování	366
14.2.2	Zpětné protlačování	367
14.2.3	Dopředné protlačování v matici s můstkem	368
14.2.4	Kombinované dopředné a zpětné protlačování (sdružené protlačování)	368
14.3	Technologie protlačování	369
15	VÝROBA OCELOVÝCH TRUBEK	371
15.1	Druhy trubek a jejich použití	371
15.1.1	Trubky podle způsobu výroby	371
15.1.2	Trubky podle provedení a účelu použití	372
15.2	Výroba bezešvých trubek	372
15.2.1	Princip výroby bezešvých trubek	372
15.2.2	Výchozí materiál	373
15.2.3	Ohřev vsázkového materiálu	374

15.2.4	Kosé válcování	376
15.2.5	Výroba trubek na traticích s poutnickými stolicemi	378
15.2.5.1	Válcování dutých předvalků	379
15.2.5.2	Válcování na poutnických stolicích	381
15.2.5.3	Vady trubek válcovaných na traticích s poutnickými stolicemi	384
15.2.6	Výroba trubek na traticích s automatikem	384
15.2.6.1	Válcování dutých předvalků	385
15.2.6.2	Válcování na automatiku	387
15.2.6.3	Vady trubek válcovaných na traticích s automatikem	389
15.2.7	Válcování bezešvých trubek spojitým válcováním	389
15.2.7.1	Technologický postup při spojitém válcování trubek	390
15.2.7.2	Nástroje spojitých válcovacích stolic	391
15.2.8	Válcování bezešvých trubek na tříválcových stolicích	392
15.2.8.1	Technologický postup při výrobě trubek na traticích s tříválcovými stolicemi	392
15.2.8.2	Nástroje tříválcových válcovacích stolic	394
15.2.9	Válcování na stolicích s příčné otáčejícími se kotouči	395
15.2.10	Výroba bezešvých trubek na traticích s protlačovacími stolicemi	396
15.2.11	Výroba bezešvých trubek na traticích s tlačnou válcovací děrovací stolicí	398
15.2.12	Výtlačné lisování trubek	399
15.2.12.1	Technologie výroby bezešvých trubek výtlačným lisováním	400
15.2.12.2	Nástroje a jejich provedení	402
15.3	Výroba svařovaných trubek	403
15.3.1	Výchozí materiál svařovaných trubek a jeho vlastnosti	403
15.3.2	Základy technologie svařování trubek	405
15.3.2.1	Svařování tlakem	405
15.3.2.2	Svařování tavné	406
15.3.2.3	Vlastnosti svarů při tavném svařování	407
15.3.3	Spojité svařování trubek na tupo v peci	408
15.3.4	Odporové svařování trubek	409
15.3.4.1	Podstata a použití odporového svařování trubek	410
15.3.4.2	Odporové svařování proudem o nízké frekvenci	411
15.3.4.3	Odporové svařování proudem o vysoké frekvenci	412
15.3.4.4	Indukční svařování trubek	413
15.3.4.5	Odporové svařování trubek stejnosměrným proudem	415
15.3.4.6	Odporové svařování odtavením	415
15.3.5	Tavné svařování trubek	417
15.3.5.1	Podstata tavného svařování pod tavidlem	417
15.3.5.2	Technologický postup při výrobě trubek svařováním pod tavidlem	419
15.3.5.3	Technologický postup při výrobě svařovaných trubek s podélným švem	420
15.3.5.4	Technologický postup při výrobě svařovaných trubek se svarem ve šroubovici	421
15.4	Další zpracování trubek	423
15.4.1	Rozšiřování trubek válcováním	423
15.4.2	Redukování trubek za tepla	425
15.4.2.1	Podstata a použití redukování trubek za tepla	425
15.4.2.2	Technologie redukování trubek za tepla	426
15.4.3	Výroba trubek tažením za studena	427
15.4.3.1	Vlastnosti trubek tažených za studena	427
15.4.3.2	Výchozí trubky pro tažení za studena	427
15.4.3.3	Technologie tažení trubek za studena	428
15.4.4	Válcování ocelových trubek za studena	431
15.4.4.1	Podstata výroby trubek válcováním za studena	432
15.4.4.2	Technologie válcování trubek za studena	433
16	ZÁKLADY KOVÁNÍ	435
16.1	Význam a charakteristika kování	435
16.2	Výchozí polotovary pro kování	436
16.2.1	Kovářské ingoty	436
16.2.1.1	Tvar a rozměry kovářských ingotů	437
16.2.1.2	Struktura kovářských ingotů	438
16.2.2	Dělení polotovarů	439
16.3	Vliv kování na vlastnosti a strukturu oceli	440
16.3.1	Změna makrostruktury	440
16.3.2	Změna mikrostruktury	441
16.3.3	Změna mechanických vlastností	441

16.3.4	Stupeň prokování	442
16.4	Ohřev v kovárnách	443
16.4.1	Ohřev elektrickým proudem	443
16.4.1.1	Odporový ohřev	443
16.4.1.2	Indukční ohřev	444
16.4.2	Rychlostní ohřev	446
16.4.3	Ohřev v ochranném prostředí	446
16.5	Ohřívací pece	447
16.6	Ochlazování výkovků	448
16.6.1	Vločky	449
17	VOLNÉ KOVÁNÍ	451
17.1	Charakteristické znaky volného kování	451
17.2	Tvářecí stroje pro volné kování	452
17.2.1	Buchary	454
17.2.2	Hydraulické lisý	456
17.3	Kovářské nástroje a pomocná zařízení	458
17.4	Základní kovářské operace	459
17.4.1	Pěchování	459
17.4.2	Děrování	461
17.4.3	Prodlužování	462
17.4.4	Osazování a prosazování	465
17.4.5	Přesazování	466
17.4.6	Sekání	466
17.4.7	Ohýbání	467
17.4.8	Zkrucování	467
17.5	Technologický postup kování	468
18	ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ	472
18.1	Charakteristické znaky zápustkového kování	472
18.2	Zápustkové kování na bucharech	474
18.2.1	Buchary pro zápustkové kování	474
18.2.2	Charakteristika zápustkového kování na bucharech	476
18.2.2.1	Bucharové zápusky	477
18.2.3	Technologický postup kování na bucharech	479
18.2.3.1	Konstrukce zápustkového výkovku	479
18.2.3.2	Výběr zápustkových dutin	480
18.2.3.3	Výběr výchozího polotovaru	481
18.2.3.4	Výpočet hmotnosti beranu	481
18.3	Zápustkové kování na lisech	482
18.3.1	Zápustkové kování na klikových kovacích lisech	482
18.3.2	Zápustkové kování na vřetenových lisech	484
18.3.3	Zápustkové kování na hydraulických lisech	485
18.4	Zápustkové kování na vodorovných kovacích strojích	485
18.5	Tváření předkovků na kovacích válcích	487
18.6	Úprava zápustkových výkovků	488
18.7	Kovací zápusky	489
19	VÝROBA TENKOSTĚNNÝCH OHÝBANÝCH PROFILŮ	491
19.1	Tenkostěnné profily a jejich použití	491
19.1.1	Členění tenkostěnných profilů	491
19.1.2	Výchozí materiál	492
19.1.3	Vlastnosti tenkostěnných profilů	492
19.2	Způsoby výroby tenkostěnných profilů	493
19.2.1	Výroba profilů profilováním	494
19.2.2	Výroba profilů tažením	495
19.2.2.1	Výroba uzavřených profilů tažením	496
19.2.2.2	Výroba otevřených profilů tažením	497
19.2.3	Výroba profilů na ohráňovacích lisech	497
20	ZVLÁŠTNÍ ZPŮSOBY TVÁŘENÍ	500
20.1	Periodické válcování	500
20.2	Výroba kol a obručí kolejových vozidel	500

20.3	Tváření výbuchem	502
20.3.1	Uplatnění výbuchového tváření kovů	502
20.3.2	Detonační účinek výbušnin	503
20.3.3	Technologie výbuchového tváření	503
20.4	Válcování z kovových prášků	505
20.5	Tváření s použitím ultrazvuku	505
20.6	Tváření ve vakuu	506
21	BEZPEČNOST PRÁCE A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	507
21.1	Nadměrná prašnost	507
21.2	Nadměrné plynné látky	508
21.3	Hluk a vibrace	508
21.4	Nadměrné teplo	509
	LITERATURA	510
	REJSTRÍK	515