

1. SUPERPLASTICITA	9
1.1. Mechanismus superplastické deformace	9
1.1.1. Superplasticita jako jev	9
1.1.2. Mechanismus superplasticity	10
1.2. Zvláštnosti SPD	11
1.2.1. Vliv deformační rychlosti	12
1.2.2. Vliv teploty	12
1.2.3. Vliv velikosti zrna	13
1.2.4. Vliv obsahu fáze β	13
1.3. Stanovení exponentu n	14
1.4. Superplastická deformace Ti slitin	16
1.4.1. Vlastnosti různých slitin při SPD	16
1.4.2. Metody dosažení ultrajemnozrné struktury	18
1.5. Vliv SPD na mechanické vlastnosti slitin	18
1.6. Fyzikální model superplastické deformace	18
1.7. Technologie superplastického tváření	19
1.7.1. Princip superplastického tváření plechu	19
1.7.2. Metoda tažení tažnicí	20
1.7.2.1. Prosté tažení	20
1.7.2.2. Reverzní tažení	21
1.7.2.3. Tváření pevným tažníkem v tažnici	21
1.7.2.4. Tváření tažníkem	22
1.7.2.5. Metoda SPF/DB	23
1.7.2.6. Zařízení pro tváření SPF	24
1.8. Tváření nástrojem ohřátým na teplotu tvářeného materiálu	25
1.8.1. Podstata této metody tváření	26
1.8.2. Izotermické kování	27
1.8.3. Výhody izotermického tváření	27
2. TVÁŘENÍ	31
2.1. Klasifikace tvářecích postupů	31
2.2. Vliv tvářecích podmínek na krystalickou strukturu a fyzikální vlastnosti kovových materiálů	32
2.2.1. Účinky tváření nad rekrystalizační teplotou	33
2.2.2. Účinky tváření pod rekrystalizační teplotou	35
2.2.3. Účinky tváření za poloohřevu	36
2.3. Tvařitelnost kovových materiálů	39
2.3.1. Vliv tvářecí teploty	40
2.3.2. Vliv stavu napjatosti	42
2.4. Deformační chování za působení vnějších sil	45
2.4.1. Stavba krystalové mřížky	45
2.4.2. Mechanismy plastické deformace	45
2.4.3. Plastická deformace monokrystalu	46
2.4.4. Plastická deformace polokrystalu	46
2.4.5. Vliv vnějších činitelů na plastickou deformaci	47
2.5. Mechanismy zpevňování	47
2.5.1. Deformační zpevnění	47

2.5.2. Zpevnění hranicemi zrn	48
2.5.3. Zpevnění legováním tuhého roztoku	48
2.5.4. Precipitační zpevňování	48
2.6. Stárnutí - rozpad tuhého roztoku	49
2.6.1. Druhy tuhých roztoků	49
2.6.2. Rozpad přesyceného substitučního tuhého roztoku	50
2.6.3. Rozpad přesyceného intersticiálního tuhého roztoku	52
2.7. Vytvrzování hliníkových slitin	53
2.7.1. Podstata vytvrzování	53
2.7.2. Stadia vytvrzování hliníkových slitin	54
2.7.3. Přehled praktických soustav	55
2.8. Kombinované způsoby zpevňování	55
2.8.1. Zpevňování vytvrzováním a plastickou deformací hliníkových slitin	56
2.8.2. Faktory ovlivňující stárnutí systému Al-Cu-Mg	56
2.8.3. Deformační stárnutí oceli	57
2.9. Tváření plechů	58
2.9.1. Plechy v konstrukci draku letounu	58
2.9.2. Plechy z hliníku a jeho slitin	60
2.9.3. Plechy z titanu a jeho slitin	63
2.9.4. Směry vývoje materiálů pro letectví	67
2.10. Metody tváření plechů	68
2.10.1. Tažení	68
2.10.2. Tažení čtyřhranných výtažků	72
2.10.3. Tažení výtažků složitějšího tvaru	73
2.10.4. Ostatní metody tváření	74
2.11. Faktory ovlivňující tvařitelnost plechu	75
2.11.1. Faktory materiálové	75
2.11.2. Faktory konstrukční	77
2.11.3. Faktory technologické	80
2.12. Anizotropie tvářeného materiálu	81
2.12.1. Křivka zpevnění anizotropního materiálu	82
2.12.2. Anizotropie při víceosé napjatosti	84
2.13. Lisovatelnost plechu a metody zjišťování	88
2.13.1. Zkouška tahem	88
2.13.2. Exponent deformačního zpevnění	88
2.13.3. Technologické zkoušky	91
2.13.4. Metody zjišťování plastické deformace	95
2.14. Hranice tvařitelnosti plechu	101
2.14.1. Keeler-Goodwinův diagram mezi tvařitelností	101
2.14.2. Teoretická Keeler-Goodwinova mezní křivka pro izotropní materiál	105
2.14.3. Teoretické Keeler-Goodwinovy mezní křivky pro anizotropní materiál	106
2.15. Vývojové tendence technologií tváření plechu	107
2.15.1. Technologie přetahování s řízeným předpětím	108
2.16. Tváření vysokými parametry	111
2.16.1. Porovnání konvenčních a vysokorychlostních tvářecích metod	111
2.16.2. Tváření výbuchem	113
2.16.3. Pneumaticko-mechanické tváření vysokou rychlostí	116
2.16.4. Princip elektromagnetického impulsního tváření	117

2.17. Prášková metalurgie	118
2.17.1. Základní vlastnosti a způsoby výroby prášků	119
2.17.2. Zhutňování kovových prášků (konsolidace)	122
2.17.3. Spékání	130
2.17.4. Kování	132
3. ZPŮSOBY SPOJOVÁNÍ PŘI VÝROBĚ DRÁKU LETOUNŮ	134
3.1. Nýtované letecké konstrukce	134
3.1.1. Nýtovací metody a nástroje	135
3.1.2. Nýtování rázem	136
3.1.3. Nýtování tlakem	137
3.1.4. Radiální (rotační) nýtování	138
3.1.5. Druhy nýtů	139
3.1.6. Montážní zásady a pomocné operace	139
3.1.7. Otvory pro nýty	140
3.1.8. Lůžka pro hlavy nýtů	142
3.1.9. Materiály nýtů	143
3.1.10. Vyplnění předvrtaného otvoru dřikem nýtu	143
3.1.11. Mechanizace a automatizace nýtování	144
3.1.12. Zvláštní druhy nýtů	149
3.1.13. Hermetizace (utěšňování) nýtových spojů	150
3.1.14. Zvyšování životnosti nýtových spojů, nové druhy nýtů	152
3.1.15. Spojení nýt-šroub, řešení spojení kompozitů	153
3.1.16. Vady nýtových spojů	155
3.1.17. Kontrola nýtových spojů	155
3.2. Spojování svařováním	156
3.2.1. Vznik bodového svaru	157
3.2.2. Zařízení pro svařování	160
3.2.3. Technologie bodového svařování	162
3.2.4. Kontrola svařování	162
3.2.5. Svařitelnost hliníkových slitin	163
3.2.6. Zásady při bodovém svařování a jejich příčiny	163
3.2.7. Kombinace bodového svařování a lepení - lepenosvařování	165
3.2.8. Porovnávací hlediska	168
3.3. Spojování lepením	168
3.3.1. Přednosti technologie lepení	170
3.3.2. Nedostatky technologie lepení	170
3.3.3. Pevnost lepených spojů	170
3.3.4. Bezpečnost lepené konstrukce při poruše	175
3.3.5. Možnost miniaturizace	176
3.3.6. Zhodnocení nedostatků lepení	177
3.3.7. Aplikace lepení	178
3.3.8. Hlavní zásady navrhování lepených konstrukcí	181
3.3.9. Konstrukční lepidla	182
3.3.10. Povrchová úprava před lepením	186
3.3.11. Lepení konstrukčních dílů, zařízení k vytvrzování	187
3.3.12. Kombinovaný spoj lepený a nýtovaný	194
3.3.13. Lepení kompozitů	194

3.3.14. Akrylátová lepidla	197
3.3.15. Jiná lepidla	197
4. ÚLOHA NOVÝCH MATERIÁLŮ A TECHNOLOGIÍ VE VÝROBĚ LETADEL	198
4.1. Termoplasty v leteckém průmyslu. Zaměření a použití	202
4.1.1. Vlastnosti termoplastických materiálů	202
4.1.2. Typy používaných materiálů	202
4.1.3. Charakteristiky jednotlivých typů	204
4.1.4. Vyztužené termoplasty	205
4.1.5. Zpracování termoplastů	206
4.1.6. Termoplasty na překryty kabin	210
4.1.7. Orientace organických skel	211
4.1.8. Kompozitní skládaná skla	215
4.1.9. Nové materiály interiérů letadel	215
4.2. Sendvičové konstrukce s voštinovým jádrem	217
4.2.1. Použití sendvičových konstrukcí	217
4.2.2. Parametry a fyzikálně-mechanické vlastnosti voštinového jádra	219
4.2.3. Výroba voštinového jádra	222
4.2.4. Obrábění voštinového jádra	223
4.2.5. Výroba sendvičových konstrukcí	225
4.2.6. Lepidla k lepení sendvičů	226
4.2.7. Kontrola kvality sendvičových panelů	228
4.2.8. Konstrukční uspořádání	228
4.2.9. Voštinové jádro jako bezpečnostní deformační prvek	231
4.2.10. Sendvičové konstrukce s potahy z vyztužených plastů	233
4.3. Sendvičové konstrukce s pěnovou výplní	235
4.3.1. Vlastnosti PU pěn	236
4.3.2. Proces vypěňování PU pěn	238
4.3.3. Kontrola kvality	241
4.3.4. Integrovaná pěna a její použití	241
5. MODERNÍ VYZTUŽENÉ PLASTY	244
5.1. Členění kompozitních materiálů z různých hledisek	244
5.2. Výroba skelných kompozitů pro letecké konstrukce	248
5.2.1. Skleněná a minerální vlákna	253
5.3. Vývoj špičkových kompozitních materiálů	254
5.3.1. Uhlíková vlákna na bázi PAN	256
5.3.2. Uhlíková vlákna na bázi PITCH	259
5.3.3. Bórová vlákna	260
5.3.4. Organické vlákno na bázi aromatických polyamidů	261
5.3.5. Organická vlákna na bázi polyetylenů	264
5.3.6. Karbidová vlákna	265
5.3.7. Ostatní anorganická vlákna a whiskery	265
5.3.8. Pojiva k výrobě kompozitů	266
5.4. Prepregy a polotovary na bázi nových typů výztuží	270
5.4.1. Navrhování a optimalizace konstrukcí z kompozitů	275
5.4.2. Typické prvky kompozitních konstrukcí	277
5.4.3. Výroba kompozitních dílů. Příprava materiálu, nástřihy, skládání	278

5.4.4. Automatické kladení	279
5.4.5. Sestava dílů a příprava k vytvrzování	280
5.4.6. Vytvrzovací proces	280
5.4.7. Obrábění kompozitních materiálů	283
5.5. Technologie vyztužování navíjením	284
5.5.1. Navíjecí proces	284
5.5.2. Výztuž pro navíjení	287
5.5.3. Jádra pro navíjení (linery)	287
5.5.4. Druhy navíjecích strojů	288
5.6. Injekčně-vakuový způsob výroby kompozitů	290
5.7. Defektoskopie kompozitních materiálů	291
5.8. Vybrané aplikace kompozitních materiálů v konstrukci letadel	294
5.8.1. Uplatnění kompozitů na leteckých konstrukcích	299
5.8.2. Malé dopravní letouny	301
5.8.3. Sportovní letadla a větroně	303
5.8.4. Obchodní letouny	304
5.8.5. Bojové a cvičné letouny	304
5.8.6. Ostatní letecké aplikace mimo draku letounu	306
LITERATURA	307