

OBSAH

	PŘEDMLUVA K NĚMECKÉMU VYDÁNÍ	9
	OZNAČENÍ VELIČIN	11
1	ÚVOD	19
1.1	Zvláštnosti vyztužených polymerů	19
1.2	Hospodářský vývoj	23
1.3	Zvláštnosti polymerních kompozitů jako konstrukčních materiálů	25
1.3.1	Obecné charakteristiky	25
1.3.2	Letectví	28
1.3.3	Strojírenství	30
1.4	Historický vývoj	33
1.5	Základní pojmy	35
2	VYZTUŽUJÍCÍ VLÁKNA	37
2.1	Skleněná vlákna	37
2.2	Aramidová vlákna	49
2.3	Uhlíková vlákna	55
2.4	Přírodní vlákna	61
2.5	Porovnání vláken	62
3	MATRICE – POJIVO	71
3.1	Úloha matrice a její druhy	71
3.2	Reaktivní pryskyřice	73
3.2.1	Nenasycené polyesterové pryskyřice (UP-R)	75
3.2.2	Vinylesterové pryskyřice (VE-R)	82
3.2.3	Epoxidové pryskyřice (EP-R)	86
3.2.4	Fenolické pryskyřice (PF-R)	93
3.3	Zvláštnosti vytvrzování reaktivních pryskyřic	97
3.3.1	Reakční teplo, zvýšení viskozity a změna objemu	97
3.3.1.1	Exotermní reakce	97
3.3.1.2	Viskozita	99
3.3.1.3	Změna objemu	100
3.3.1.4	Bod gelace, doba gelace (želatinace) a doba zpracovatelnosti	101
3.3.2	Znázornění vytvrzovacího procesu ve stavovém TTT diagramu	103
3.3.3	Vytvrzování a stupeň vytvrzení	106
3.3.3.1	Teplota skelného přechodu T_g a „chemický stupeň vytvrzení“, určené pomocí diferenciální snímací kalorimetrie	106
3.3.3.2	Další měřicí metody stupně vytvrzení	109
3.3.3.3	Význam stupně vytvrzení	111
3.3.3.4	Neúplné vytvrzení	115
3.4	Termoplasty	118
3.4.1	Termoplasty vyztužené krátkými vlákny	120
3.4.2	Termoplasty vyztužené dlouhými vlákny	121
3.5	Spojení vlákno-matrice	125

3.5.1	Textilní skleněná vlákna	125
3.5.1.1	Vazba silanů na skleněná vlákna	126
3.5.1.2	Vazba silanu na plast	127
3.5.1.3	Lubrikace („šlichty“)	128
3.5.2	Uhlíková vlákna	131
3.5.3	Aramidová vlákna	131
3.5.4	Přírodní vlákna	132
4	VLÁKNA V KOMPOZITU (podle A. Pucka)	133
4.1	Podmínky vyztužujícího účinku	133
4.2	Namáhání ve směru vláken	133
4.2.1	Nekonečná vlákna	133
4.2.1.1	Elementární vlákno a matrice	133
4.2.1.2	Jednosměrně vyztužený kompozit	135
4.2.1.3	Lom vlákna	137
4.2.1.4	Vliv tažnosti matrice na pevnost v tahu	139
4.2.1.5	Zvláštnosti chování při zatížení tlakem	139
4.2.2	Krátká vlákna	141
4.2.2.1	Elementární vlákno	141
4.2.2.2	Praktický význam orientace vláken	148
4.2.2.3	Smrštění a zkřivení tvaru výrobku	149
4.2.2.4	Pigmenty	152
4.3	Namáhání kolmo k vláknu	154
4.3.1	Koncentrace protažení a tvorba trhlin	154
4.3.2	Příčný modul pružnosti vlákna	159
4.3.3	Smykové intralaminární namáhání	161
4.4	Interlaminární lomová houževnatost	162
4.5	Tepelné vlastnosti	165
4.6	Vyztužující účinek vláken	168
4.6.1	Zlom v diagramu napětí-deformace	168
4.6.2	Pevnost	171
4.6.3	Tuhost (modul pružnosti)	174
4.6.4	Porušování vlákný vyztuženého kompozitu	176
5	ZPRACOVÁNÍ – TECHNOLOGIE	181
5.1	Zpracování polotovarů	181
5.1.1	Polotovary s termosetickým pojivem	181
5.1.1.1	Výroba prepregů	183
5.1.1.2	Plošné lisovací materiály (SMC)	185
5.1.2	Polotovary s termoplastickou matricí	194
5.1.2.1	Hybridní příze	194
5.1.2.2	GMT – termoplasty vyztužené skleněnými rohožemi	195
5.2	Zpracování vyztužených reaktivních (licích) pryskyřic	196
5.2.1	Ruční výrobní postupy	196
5.2.2	Částečně automatizované nebo mechanizované výrobní postupy	197

5.2.3	Plně automatizované výrobní postupy	201
5.2.3.1	Mokrý lisování	201
5.2.3.2	Lisování předimpregnovaných lisovacích hmot za tepla	202
5.2.3.2.1	Zpracování lisovacích rohoží (SMC)	204
5.2.3.2.2	Lisovací nástroje (formy)	206
5.2.3.2.3	Povrchová úprava výlisků z lisovacích rohoží (SMC)	207
5.2.3.2.4	Konstrukce výlisku	207
5.2.3.2.5	Použití lisovacích rohoží (SMC)	207
5.2.3.2.6	Vstřikování UP kompozitů (BMC/ZMC)	207
5.2.4	Kontinuální postupy	209
5.2.5	Speciální technologie	210
5.2.6	Povrchové vrstvy	213
5.3	Zpracování kompozitů s termoplastickou maticí	213
5.3.1	Výroba desek z termoplastů vyztužených rohoží ze skleněných vláken (GMT)	215
5.3.2	LFT – termoplasty vyztužené dlouhými vlákny	219
5.4	Speciální zpracovatelské technologie epoxidových pryskyřic	223
5.4.1	Elektrotechnika	223
5.4.2	Elektronika	226
5.4.3	Výroba výrobních prostředků	229
5.5	Dodatečné opracování	232
5.5.1	Třískové obrábění	232
5.5.2	Povrchová úprava prepregových výlisků	234
5.6	Recyklace	237
5.6.1	Opakované zpracování materiálů	237
5.6.2	Spalování	239
5.6.3	Chemické zpracování	240
5.6.4	Organizace	240
5.7	Bezpečnost práce a ochrana zdraví	240
5.7.1	Přípustné expoziční limity (PEL)	242
5.7.2	Nejvyšší přípustné koncentrace (NPK-P)	242
5.7.3	Jednotlivé složky	242
6	ZKOUŠKY MECHANICKÝCH VLASTNOSTÍ (spolu s J. Kabelkou)	245
6.1	Některé typické vlastnosti vyztužených plastů	245
6.1.1	Mechanismus porušování	245
6.1.2	Ortotropní vrstva	248
6.2	Statické zatížení laminátu	249
6.2.1	Tah	251
6.2.2	Tahové zkoušky jednosměrně vyztužené vrstvy pomocí NOL-Ring vzorku	253
6.2.3	Tlak	254
6.2.4	Smyk	255
6.2.5	Ohyb	259
6.3	Statické dlouhodobé zkoušky	260
6.4	Dynamické zatížení	265
6.4.1	Wöhlerovy křivky	268

6.4.2	Vyšetřování únavového procesu hysterezní metodou	271
6.4.2.1	Postup měření	271
6.4.2.2	Stanovení mezí namáhání	274
6.5	Provedení zkoušek	279
6.5.1	Výroba a příprava zkušebního tělesa	279
6.5.2	Počet zkušebních těles	280
6.5.3	Stanovení obsahu vláken	283
7	DIMENZOVÁNÍ PRVKŮ Z VÍCEVRSTVÝCH KOMPOZITŮ (spolu s J. Kabelkou)	287
7.1	Elementární vrstva	288
7.1.1	Hookeův zákon při rovinné napjatosti	289
7.1.2	Jednosměrně vyztužená vrstva	291
7.1.3	Součinitel teplotní roztažnosti jednosměrně vyztužené vrstvy	294
7.1.4	Směrová závislost charakteristik jednosměrně vyztužené vrstvy	296
7.2	Klasická laminátová teorie	299
7.3	Rovnovážná dvojvrstva	302
7.3.1	Součinitel teplotní roztažnosti rovnovážné dvojvrstvy	304
7.3.2	Křížně vyztužený kompozit	306
7.4	Vrstva vyztužená tkaninou	309
7.5	Vrstva vyztužená rohoží	310
7.5.1	Elastické charakteristiky	310
7.5.2	Součinitel teplotní roztažnosti vrstvy vyztužené rohoží	312
7.6	Pevnost vícevrstevných kompozitů	312
7.6.1	Pevnost jednosměrně vyztužené vrstvy	312
7.6.2	Analýza pevnosti z hlediska namáhání jednotlivých vrstev	319
7.6.3	Zbytková napětí ve vícevrstevných kompozitech	321
8	TABULKY	326
8.1	Vlastnosti standardních laminátů z nenasycených polyesterových pryskyřic (UP-R) vyztužených skleněnými vlákny (podle BASF)	326
8.2	Směrné hodnoty pro různé technologie zpracování	328
	NORMY A SMĚRNICE VZTAHUJÍCÍ SE K TEXTU	332
	LITERATURA	339
	REJSTŘÍK	343