

PŘEDMLUVA	11
1 ÚVOD DO TECHNIKY LEPENÍ	13
1.1 Historický vývoj lepení	13
1.2 Přednosti a nedostatky lepených spojů z hlediska pevnosti, technologie a ceny	15
2 TEORIE ADHEZE A KOHEZE	29
2.1 Úvod	29
2.2 Molekulární interakce	29
2.2.1 Přesnost odhadu mezimolekulárních sil	29
2.2.2 Uplatnění nesouhlasu krystalových mřížek	30
2.2.3 Energie a síla interakce mezi dvěma molekulami podle Lennardova–Jonesova potenciálu	30
2.2.4 Stručný popis molekulárních interakcí	32
2.2.4.1 Iontová vazba	33
2.2.4.2 Kovalentní vazba	34
2.2.4.3 Vazby představující přechod mezi kovalentní a iontovou vazbou	35
2.2.4.4 Koordinační vazba	37
2.2.4.5 Kovová vazba	39
2.2.4.6 Interakce dipól–dipól	40
2.2.4.7 Vodíkové můstky	43
2.2.4.8 Slabé vazby se sdílenými elektrony	46
2.2.4.9 Dipólem indukované dipólové síly	47
2.2.4.10 Londonovy disperzní síly	52
2.3 Sorpce a adheze	53
2.4 Úloha úpravy povrchu adherendu před lepením	56
2.5 Difúzní teorie adheze	61
3 LEPIDLA PRO KONSTRUKČNÍ SPOJOVÁNÍ	70
3.1 Různé způsoby dělení lepidel	70
3.2 Kaučuková lepidla	73
3.2.1 Lepidla z přírodního kaučuku a regenerátu	74
3.2.2 Lepidla z butylkaučuku a z polyisobutylenu	76
3.2.3 Nitrilkaučuková lepidla	79
3.2.4 Lepidla ze styren–butadienového kaučuku	81
3.2.5 Lepidla z karboxylového kaučuku	82
3.2.6 Lepidla z polychloroprenu	84
3.2.7 Polysulfidová lepidla	86
3.2.8 Lepidla z cyklokaučuku	90

3.2.9	Lepidla z chlorkaučuku	90
3.2.10	Lepidla z hydrochloridu kaučuku	92
3.2.11	Některá československá lepidla, vyrobená z elastomerů	92
3.3	Polyvinylchloridová lepidla	96
3.4	Lepidla z polyvinylalkoholu	99
3.5	Lepidla z polyvinylacetalů	100
3.6	Polyvinylacetátová lepidla	105
3.7	Lepidla z derivátů kyseliny akrylové a metakrylové	108
3.8	Polyamidová lepidla	112
3.9	Polybenzimidazolová lepidla	115
3.10	Polyimidová lepidla	121
3.11	Močovinoformaldehydová lepidla	126
3.12	Melaminformaldehydová lepidla	133
3.13	Fenolformaldehydová lepidla	136
3.14	Resorcinformaldehydová lepidla	146
3.15	Epoxidová lepidla	149
3.16	Polyesterová lepidla	162
3.17	Isokyanátová lepidla	166
3.18	Lepidla z organokřemičitých sloučenin	178
3.19	Výhled výroby nových lepidel	184
4	ZKOUŠKY LEPIDEL A LEPENÝCH SPOJŮ KOVŮ	210
4.1	Souhrnné rozdělení zkoušek	210
4.1.1	Vstupní kontrola lepidel	210
4.1.2	Kontrola procesu lepení	210
4.1.3	Zkoušky pro materiálové listy lepidel	212
4.1.4	Zkoušky na konkretizovaných vzorcích a na hotových dílech	212
4.1.5	Obecné zkoušky konstrukčního uspořádání spojů	212
4.1.6	Význam rozdělení zkoušek lepených spojů	213
4.2	Zkoušky fyzikálních a fyzikálně chemických vlastností lepidel	213
4.3	Zkoušky lepených spojů	215
4.3.1	Zkoušky lepených spojů pro materiálové listy	215
4.3.1.1	Potřebné přípravky a zkušební zařízení	219
4.3.1.2	Vyhodnocování statických zkoušek	221
4.3.1.3	Vyhodnocování zkoušek na únavu	230
4.3.1.4	Běžný rozptyl výsledků zkoušek pro materiálové listy	232
4.3.1.5	Porovnatelnost výsledků zkoušek lepených spojů podle ČSN, GOST, ASTM, DIN	233
4.3.2	Nedestruktivní kontrola lepených spojů	234
5	TECHNOLOGIE LEPENÍ	255
5.1	Skladování lepidel	255
5.2	Slícování lepených dílů	258
5.3	Hodnocení povrchových úprav před lepením	258
5.4	Podíl úpravy povrchu před lepením na pevnosti spoje	273

5.5	Význam drsnosti povrchu pro pevnost lepeného spoje	274
5.6	Čištění a odmašťování	276
5.7	Mechanické úpravy povrchu	281
5.8	Kvalita vody pro přípravu lázní úpravy povrchu před lepením a vody pro oplachování.	285
5.9	Úpravy hliníkových slitin	289
5.9.1	Úprava tvářených hliníkových slitin piklováním v kyselině chromsírové	289
5.9.2	Úprava hliníkových slitin mořením v kyselině chromsírové a eloxováním v kyselině chromové	296
5.9.3	Úprava hliníkových slitin eloxováním v kyselině sírové	299
5.9.4	Konverzní úpravy povrchu hliníkových slitin	300
5.10	Úpravy slitin hořčíku.	306
5.11	Úpravy oceli	311
5.12	Úpravy nerezavějících ocelí	317
5.13	Úpravy mědi a jejích slitin	322
5.14	Úpravy titanu a jeho slitin	324
5.15	Chrom a chromované díly	326
5.16	Úpravy niklu a jeho slitin	326
5.17	Úpravy zinku a jeho slitin, úpravy galvanizovaných dílů	327
5.18	Úpravy dalších kovů a jejich slitin	328
5.19	Úpravy voštinových jader	329
5.20	Úpravy pryží	329
5.21	Úpravy plastů	333
5.22	Úpravy dalších materiálů	342
5.23	Příprava lepidel pro nanášení	346
5.24	Plniva a účely jejich použití	358
5.25	Primery	361
5.26	Technika dávkování, míšení a nanášení lepidel	364
5.27	Vytvrzování lepených dílů.	375
5.27.1	Vytvrzování v lisech	375
5.27.2	Vytvrzování v autoklávech	386
5.27.3	Vytvrzování v přípravcích, odvozených od autoklávů a lisů	394
5.27.4	Další možnosti vytvrzování lepených dílů	394
5.27.5	Kontrola správnosti vytvrzovacího režimu	398
5.27.6	Některé další technologické problémy, spojené s vytvrzováním	399
5.27.7	Vytvrzovací režimy vybraných lepidel.	403
5.28	Tvarování lepených spojů Reduxu po vytvrzení	406
5.29	Rozebírání lepených spojů	406
5.30	Organizace moderních provozů lepení v letectví	407
5.31	Nejčastější chyby při lepení a souhrn praktických zkušeností	409
5.32	Bezpečnost a hygiena práce	410
6	ZÁSADY NAVRHOVÁNÍ SPOJŮ A VOLBY LEPIDLA, ZÁKLADNÍ TYPY SPOJŮ, MATERIÁLOVÉ LISTY	419
6.1	Hlavní zásady navrhování lepených konstrukcí z kovů	419
6.2	Zásady postupu volby lepidla	421

6.2.1	Význam jednotlivých pevností lepených spojů jako charakteristik pro výběr lepidla	421
6.2.2	Technologické vlastnosti, rozhodující o volbě lepidla	423
6.2.3	Přehled vybraných lepidel z hlediska pevnosti spojů, technologie a ceny	424
6.3	Materiálové listy lepidel	426
6.3.1	Materiálový list lepidla ME-1 fólie s nosičem — dural	428
6.3.2	Materiálový list lepidla ChS Epoxy 1010 — dural	436
6.3.3	Materiálový list lepidla ChS Epoxy 1010 — ocel	444
6.3.4	Materiálový list lepidla Redux 775 fólie — dural	448
6.3.5	Materiálový list lepidla ChS Epoxy 1210 + P ₁ — dural	454
6.3.6	Materiálový list lepidla ChS Epoxy 1210 + P ₁ — ocel	459
6.3.7	Materiálový list lepidla ChS Epoxy 1210 + KP ₂ — dural	467
6.3.8	Dodatky k materiálovým listům	474
6.4	Konstrukční podklady některých lepidel a tmelů	507
6.4.1	Tmel Elastosil 33	507
6.4.2	Lukopren S 9410	515
6.4.3	Jednosložková lepidla na bázi kyanoakrylátů a metakrylátů	516
6.4.4	Belzona — Metall	528
7	ROZLOŽENÍ NAPĚTÍ, OBECNÉ ZKOUŠKY KONSTRUKČNÍHO USPOŘÁDÁNÍ, VÝPOČET A DIMENZOVÁNÍ LEPENÝCH SPOJŮ KOVŮ	532
7.1	Rozbor rozložení napětí ve spoji	532
7.2	Různé vlivy, působící na pevnost lepeného spoje	532
7.2.1	Vliv základních konstrukčních faktorů na pevnost ve smyku lepeného spoje	535
7.2.2	Vliv nejdůležitějších konstrukčních faktorů na pevnost spoje v odlupování	539
7.2.3	Vliv základních konstrukčních a technologických faktorů na únavovou pevnost spoje	543
7.2.4	Vliv základních konstrukčních faktorů na pevnost trubkových spojů	544
7.2.5	Vliv vysokých a nízkých teplot na pevnost lepených spojů	544
7.2.6	Vliv prostředí na pevnost lepených spojů	545
7.2.7	Vliv nosičů a plniv na pevnost lepených spojů	547
7.2.8	Vliv rychlosti zatěžování na pevnost lepených spojů	547
7.3	Ploché spoje	550
7.3.1	Příklady plochých lepených spojů a vliv typu spoje na jeho pevnost	550
7.3.2	Konstrukční pokyny pro zmenšení odlupujících sil	550
7.3.3	Závislost pevnosti lepeného spoje ve smyku na součiniteli spoje <i>JF</i>	550
7.3.3.1	Jednoduše a dvojité překlátovaný spoj — dural	554
7.3.3.2	Jednoduše překlátovaný spoj — ocel	557
7.3.4	Únosnost spoje jako závislost maximálního napětí dosaženého v základním kovovém materiálu při zkoušce spoje tahem, v závislosti na délce překlátování	
7.3.4.1	Jednoduše a dvojité překlátovaný spoj — dural	559
7.3.4.2	Jednoduše překlátovaný spoj — ocel	559
7.3.5	Únosnost jako závislost porušující síly v N, vztažené na 1 mm šířky spoje, na délce překlátování	567

7.3.5.1	Jednoduše a dvojité přeplátovaný spoj — dural	571
7.3.5.2	Jednoduše přeplátovaný spoj — ocel	577
7.3.6	Únosnost spoje jako závislost porušujícího zatížení v $N\ mm^{-1}$ šířky spoje na tloušťce plechu	579
7.3.6.1	Jednoduše a dvojité přeplátovaný spoj — dural	579
7.3.6.2	Jednoduše přeplátovaný spoj — ocel	585
7.3.7	Teoretický výpočet únosnosti q jednoduše přeplátovaného lepeného spoje, vytvořeného ze stejných materiálů o stejné tloušťce, namáhaného ve smyku .	586
7.3.8	Pevnosti ve smyku různých kovů, lepených Reduxem 775	591
7.4	Trubkové spoje	591
7.4.1	Příklady konstrukcí trubkových spojů	591
7.4.2	Výpočet délky přeplátování trubkového spoje	592
7.5	Příklady konstrukcí rohových spojů	594
7.6	Lepené spoje jako konstrukce bezpečné při poruše	595
8	ZKOUŠKY NA KONKRETIZOVANÝCH VZORCÍCH A NA HOTOVÝCH DÍLECH	597
8.1	Vzpěrná únosnost lepených panelů	597
8.2	Potahový panel s výztuhami, zatěžovaný tahem	602
8.3	Potahové panely s otvorem vyztuženým přírubou, zatěžované tahem . . .	604
8.4	Potahové panely s otvorem vyztuženým zárubní, zatěžované tahem . . .	605
8.5	Skříňový panel křídla, zatěžovaný kombinovaným namáháním	606
9	KOMBINOVANÉ SPOJE KOVŮ	611
9.1	Spoje současně lepené a nýťované	611
9.2	Lepené spoje dodatečně nýťované	615
9.3	Spoje současně lepené a svařované	617
9.4	Spoje současně lepené a šroubované	619
9.5	Spoje provedené kombinovaným lepením	620
10	LEPENÍ PLASTŮ NAVZÁJEM A S JINÝMI KONSTRUKČNÍMI MATERIÁLY	630
10.1	Lepení polyolefinů	633
10.2	Lepení fluorovaných polymerů	634
10.3	Lepení polyisobutylenu	635
10.4	Lepení neměkčeného polyvinylchloridu (PVC) a modifikovaného neměkčeného polyvinylchloridu (hPVC)	636
10.5	Lepení měkčeného polyvinylchloridu (PVC)	639
10.6	Lepení lehčeného polyvinylchloridu	640
10.7	Lepení polystyrenu (PS) a houževnatého polystyrenu (hPS)	641
10.8	Lepení lehčeného polystyrenu	643
10.9	Lepení terpolymeru akrylonitril–butadien–styren (ABS)	645
10.10	Lepení polymethylmetakrylátu (PMMA)	649
10.11	Lepení polyformaldehydu	650
10.12	Lepení polyamidu (PA)	651
10.13	Lepení polyethyltereftalátu	654

10.14	Lepení polykarbonátů (PC)	656
10.15	Lepení polyuretanů	656
10.16	Lepení derivátů celulosy	658
10.17	Lepení fenoplastů	659
10.18	Lepení aminoplastů	660
10.19	Lepení vyztužených epoxidů	660
10.20	Lepení vyztužených nenasycených polyesterů	662
10.21	Závěr	662
11	SENDVIČOVÉ MATERIÁLY	667
11.1	Výhody sendvičů, potahové a výplňové materiály, tvary buněk	667
11.2	Výroba voštinových jader	690
11.3	Obrábění a tváření voštinových jader	694
11.4	Opravy sendvičových dílů	696
11.5	Ukončování sendvičových panelů, jejich spojování a zavádění sil	697
11.6	Zkoušení sendvičových vzorků	697
12	PŘEHLED POUŽITÍ KONSTRUKČNÍCH LEPENÝCH SPOJŮ V JEDNOTLIVÝCH PRŮMYSLÝCH ODVĚTVÍCH	705
12.1	Lepené spoje v letectví	705
12.2	Lepené spoje ve stavbě automobilů	728
12.3	Lepené spoje v železniční dopravě	748
12.4	Lepení ve stavebnictví	752
12.5	Lepené spoje v elektrotechnice	761
12.6	Lepené spoje v ostatních průmyslových odvětvích	765
	REJSTRÍK	777