

E-LEARNING VÝROBNÍCH PROCESŮ

Romana Lamborová

Bakalářská práce
2007



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2006/2007

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: Romana LAMBOROVÁ
Studijní program: B 3909 Procesní inženýrství
Studijní obor: Technologická zařízení

Téma práce: E-learning výrobních procesů

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární studii na dané téma a stanovte kapitoly studijního materiálu**
- 2. Zpracujte náplně jednotlivých kapitol**
- 3. Zpracujte e-learnigovou prezentaci kapitol**
- 4. Závěr**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

[1] DVOŘÁK, Zdeněk. Přednášky Základy výrobních procesů. Univerzita Tomáše Bati "P"

[2] ŠPAČEK, Josef. Speciální gumárenská technologie [Skripta]. Vysoké učení technické, Fakulta technologická, Gottwaldov.

[3] FRANTA, Ivan. Zpracování kaučukových směsí a vlastnosti pryže. 2. vyd. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1969. 606 s.

[4] SOUBOR STUDENTSKÝCH PRACÍ 2006–2006, Univerzita Tomáše Bati – Základy výrobních procesů

[5] Mañas, M., Tomis, F.: Výrobní stroje a zařízení I a II, VUT Brno, 1987

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Zdeněk Dvořák, CSc.

Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání bakalářské práce:

13. února 2007

Termín odevzdání bakalářské práce:

31. května 2007

Ve Zlíně dne 17. ledna 2007


prof. Ing. Ignác Hoza, CSc.
děkan




doc. Ing. Miroslav Mañas, CSc.
ředitel ústavu

ABSTRAKT

Úkolem mé bakalářské práce je využití metod e-learningu pro zpracování literární studie na téma výrobní procesy jak v tištěné podobě tak pomocí prezentace v programu Microsoft Office Power Point a hlavně seznámení s metodou e-learning a její uvedení do praxe.

Klíčová slova: E-learning, konstrukční materiály, železo, slitiny železa, slitiny neželezných kovů, polymery, kompozitní materiály

ABSTRACT

Problem of my bachelor thesis is use of e-learning methods for working-out literary study on the theme production processes in printed form even through the use of computer program Microsoft Office Power Point and especially acquaint with the method e-learning with it's implementation.

Keywords: E-learning, construction materials, iron, ferro-alloys, non-ferrous metals-alloys, polymers, composite material

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto vedoucímu mé bakalářské práce, Ing. Zdeňkovi Dvořákovi, za cenné připomínky a rady při jejím vypracování.

Souhlasím s tím, že s výsledky mé práce může být naloženo podle uvážení vedoucího mé bakalářské práce a ředitele ústavu.

Prohlašuji, že jsem na celé bakalářské práci pracovala samostatně a použitou literaturu jsem citovala.

Ve Zlíně 24.1.07

.....

Podpis

OBSAH

ÚVOD	10
I TEORETICKÁ ČÁST	11
1 E-LEARNING EFEKTIVNÍ VZDĚLÁVÁNÍ (12)	12
1.1 CÍL E-LEARNINGU (11)	13
1.1.1 Asynchronní výuka	13
1.1.2 Synchronní výuka.....	14
1.2 PROČ E-LEARNINGOVÉ STUDIUM?	14
1.2.1 Levněji bez více nákladů.....	15
1.2.2 Rychleji v čase i objemu	15
1.2.3 Lépe, efektivněji a individuálně.....	16
1.3 POROVNÁNÍ VÝHOD A NEVÝHOD FOREM VZDĚLÁVÁNÍ	17
1.4 PROVĚŘOVÁNÍ ZNALOSTÍ	18
1.4.1 Testy	20
1.5 SUBJEKTY E-LEARNINGU A JEJICH SPOLUPRÁCE	22
1.5.1 Postavení LMS v e-learningovém prostředí.....	22
1.6 SIMULACE	24
1.7 STANDARDY E-LEARNING.....	27
1.7.1 Základní standardy a standardizační organizace pro e-learning (13)	27
1.8 ZÁKLADY VÝROBNÍCH PROCESŮ.....	29
1.9 SHRNUÍ.....	29
2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ (3)	31
2.1 VÝVOJ KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ.....	31
2.2 VZTAH MATERIÁLU, TECHNOLOGIÍ A VÝROBKU	32
2.3 TECHNICKÉ MATERIÁLY	32
2.4 MATERIÁL A ŽIVOTNÍ PROSTŘEDÍ	33
2.5 ZÁKLADNÍ PRINCIPY ROZDĚLENÍ MATERIÁLŮ	33
2.6 ZÁKLADNÍ PRINCIPY ROZDĚLENÍ KOVOVÝCH MATERIÁLŮ	34
2.7 ZÁKLADNÍ PRINCIPY A ROZDĚLENÍ POLYMERŮ	34
2.8 ZÁKLADNÍ PRINCIPY A ROZDĚLENÍ ANORGANICKÝCH NEKOVOVÝCH MATERIÁLŮ	35
2.9 ZÁKLADNÍ PRINCIPY A ROZDĚLENÍ KOMPOZITNÍCH MATERIÁLŮ	35
3 ŽELEZO A JEHO SLITINY (1)	38
3.1 VLASTNOSTI ŽELEZA	38
3.2 VÝROBA ŽELEZA	39
3.2.1 Používané postupy	39
3.2.2 Vysoké pece	44

3.3	SYSTÉM ŽELEZO – UHLÍK (18)	47
3.3.1	Metastabilní Fe – Fe ₃ C	48
3.3.2	Stabilní Fe – C	52
3.3.3	Diagram IRA (izotermický rozpad austenitu) (26)	53
3.3.4	Diagram ARA (anizotermický rozpad austenitu) (26)	57
3.4	SLITINY ŽELEZA	59
3.4.1	OCELI	59
3.4.2	Úvod (16)	59
3.4.3	Vlastnosti ocele	60
3.4.4	Druhy ocelí	61
3.4.5	LITINY (27)	63
3.4.6	Úvod	63
3.4.7	Cementit	63
3.4.8	Grafit	64
3.4.9	Bílá litina	64
3.4.10	Grafitické litiny	65
4	SLITINY NEŽELEZNÝCH KOVŮ (1)	72
4.1	HLINÍK A SLITINY HLINÍKU (15)	72
4.1.1	Vlastnosti hliníku	72
4.1.2	Výskyt v přírodě	72
4.1.3	Výroba	73
4.1.4	Tepelné zpracování hliníkových slitin	73
4.1.5	Použití	75
4.1.6	Slitiny hliníku	76
4.2	HOŘČÍK A JEHO SLITINY	78
4.2.1	Vlastnosti hořčíku	78
4.2.2	Výskyt v přírodě	78
4.2.3	Výroba a využití hořčíku	79
4.2.4	Tepelné zpracování slitin hořčíku	81
4.2.5	Slitiny hořčíku	81
4.3	TITAN A JEHO SLITINY	83
4.3.1	Vlastnosti titanu	83
4.3.2	Průmyslová výroba titanu	84
4.3.3	Slitiny titanu a jejich použití	84
4.3.4	Tepelné zpracování slitin titanu	85
4.4	MĚĎ A JEJÍ SLITINY	86
4.4.1	Vlastnosti mědi	86
4.4.2	Výskyt	86
4.4.3	Tepelné zpracování slitin mědi	87
4.4.4	Slitiny mědi	87
4.5	NIKEL A JEHO SLITINY (20)	90
4.5.1	Vlastnosti niklu	90
4.5.2	Výskyt a výroba	91
4.5.3	Využití niklu	91
4.5.4	Slitiny niklu	92
4.6	OLOVO A JEHO SLITINY	94
4.6.1	Vlastnosti olova	94

4.6.2	Výskyt a výroba	94
4.6.3	Využití olova	94
4.6.4	Slitiny olova	96
4.7	CÍN A JEHO SLITINY	96
4.7.1	Vlastnosti cínu	96
4.7.2	Výskyt a výroba	97
4.7.3	Využití cínu	97
4.7.4	Slitiny cínu	98
4.8	ZINEK A JEHO SLITINY	99
4.8.1	Vlastnosti zinku	99
4.8.2	Výskyt a výroba	99
4.8.3	Použití zinku a jeho sloučenin	100
4.8.4	Slitiny zinku	101
4.9	WOLFRAM A JEHO SLITINY	101
4.9.1	Vlastnosti wolframu a jeho použití	101
4.9.2	Výskyt a výroba	102
4.9.3	Slitiny wolframu	102
4.9.4	Prášková metalurgie	103
4.10	MOLYBDEN A JEHO SLITINY	103
4.10.1	Vlastnosti molybdenu	103
4.10.2	Výskyt a výroba	103
4.10.3	Využití molybdenu	104
4.11	CHROM A JEHO SLITINY	104
4.11.1	Vlastnosti chrómu	104
4.11.2	Výskyt a výroba	105
4.11.3	Využití chrómu	105
4.12	STŘÍBRO A JEHO SLITINY	106
4.12.1	Vlastnosti stříbra	106
4.12.2	Výskyt a výroba	106
4.12.3	Využití stříbra	107
4.12.4	Slitiny stříbra	108
4.13	ZLATO A JEHO SLITINY	109
4.13.1	Vlastnosti zlata	109
4.13.2	Výskyt zlata a jeho získávání	109
4.13.3	Využití zlata	110
4.14	PLATINA A JEJÍ SLITINY	113
4.14.1	Vlastnosti platiny	113
4.14.2	Výskyt	113
4.14.3	Využití platiny	113
5	POLYMERY (12)	115
5.1	ÚVOD (21)	115
5.2	ZÁKLADNÍ POJMY	116
5.3	ROZDĚLENÍ (1)	124
5.4	TERMOPLASTY	127
5.4.1	Polyolefiny a fluoroplasty	127

5.4.2	Vinylové polymery (26)	131
5.4.3	Styrenové a akrylové polymery (26)	133
5.4.4	Polyestery a polyethery (26)	138
5.4.5	Polyamidy a polyurethany	140
5.5	REAKTOPLASTY (26)	142
5.5.1	Fenoplasty (PF)	142
5.5.2	Aminoplasty (MF)	144
5.5.3	Nenasycené polyestery (UP) plněné skleněnými vlákny	145
5.6	ELASTOMERY (1)	147
5.6.1	Kaučuky	147
5.7	POLYMERNÍ REAKCE (26)	157
5.7.1	Polymerace	158
5.7.2	Polykondenzace	160
5.7.3	Polyadice	162
6	KOMPOZITNÍ MATERIÁLY (1)	164
6.1	ÚVOD	164
6.2	SKLADBA KOMPOZITU	166
6.3	DĚLENÍ NOSNÝCH PRVKŮ	167
6.3.1	Dělení nosných prvků podle materiálu	167
6.3.2	Dělení nosných prvků podle konstrukce	170
6.4	ROZDĚLENÍ POJIV	172
6.4.1	Polyesterové pryskyřice	172
6.4.2	Epoxidové pryskyřice	172
6.5	POMOCNÉ PROSTŘEDKY PŘI LAMINOVÁNÍ	173
6.5.1	Separční materiály	173
6.5.2	Povrchové Gelcoaty	173
6.5.3	Voštinové materiály	174
6.6	NOVÉ SMĚRY V KOMPOZITECH	175
6.6.1	Použití Prepregu	175
6.6.2	Termoplastické pojiva	177
6.7	PŘÍKLADY POUŽITÍ KOMPOZITŮ	178
	Podvozek RC modelu	178
	Přilba pro Paragliding	178
II	PRAKTICKÁ ČÁST	181
	ZÁVĚR	183
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	184
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	186
	SEZNAM OBRÁZKŮ	187
	SEZNAM TABULEK	194
	SEZNAM PŘÍLOH	195

ÚVOD

E-learningová studia nabývají stále větší popularity. Důvodem jsou zejména možnosti rozšiřování informací po síti. V současné době je informace hybnou silou ve všech oblastech lidských činností. Mezi nejdůležitější činnosti patří i nutnost stálého vzdělávání, rekvifikace, prohlubování a rozšiřování znalostí nejen studentů, ale i zaměstnanců, lidí nezaměstnaných, hledající vhodnou pracovní příležitost, vedoucích pracovníků, apod. Soustavné sebevzdělávání formou školení, seminářů či samostudia je běžnou součástí života každé firmy i jednotlivce. Tím lze vytvořit lepší kvalifikaci a hlubší znalosti, potřebné pro volbu zaměstnání, případně profesní růst, než běžnými vzdělávacími postupy.

Mezi prostředky e-learningové komunikace patří především počítačové sítě, propojené s dalšími informačními a komunikačními technologiemi, umožňující žákům efektivně využívat a sdílet různé informační zdroje a propojení se s ostatními uživateli e-learningového programu.

Výhodou e-learningového studia je nejen možnost samostatně si organizovat čas a oblast vzdělávání, ale i s ní související dostupnost výpočetní techniky a internetové a intranetové komunikace. Je proto nezbytné postupně zpracovat vzdělávací informace do stavu přístupného pro e-learningová studia.

Ke studiu Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulty technologické nastupují studenti z různých typů středních a středních odborných škol. Jejich znalosti jsou proto roztržité a zatížené dříve studovanými obory. Z tohoto důvodu byl ke vstupu do problematiky výrobního inženýrství připraven a přednášen předmět, mající za úkol sjednotit informace všech studentů a doplnit je na úroveň, která je potřebná pro studium dalších předmětů.

Aby se studentům usnadnilo individuální studium, vyplývající z různé úrovně znalostí, je připravena e-learningová podpora, která využívá moderní přístup vzdělávání. Prostředkem k tomuto způsobu výuky je především výpočetní technika, vzájemná komunikace mezi lektorem a studentem i možnost ověření znalostí.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 E-LEARNING EFEKTIVNÍ VZDĚLÁVÁNÍ (12)

Řečeno stručně a velmi jednoduše, e-Learning není nic jiného než efektivní využívání Informačních Technologii (dále jen IT) v procesu vzdělávání. (11)



Obr.1.1: E-learningové pracoviště

Díváme-li se na e-Learning touto optikou, asi málokdo bude tvrdit, že nechce IT ve vzdělávání efektivně využívat. Zůstává tedy pouze otázka efektivní míry využití IT ve vzdělávání u konkrétní společnosti či jednotlivce, jinými slovy co ještě efektivní je a co již ne. Tím není vyloučeno, že pro konkrétní situaci může být nejefektivnější IT ve vzdělávání nevyužívat vůbec. V dnešní technologické situaci dojdeme však k tomuto závěru velmi zřídka. Zejména s nástupem technologií internetu/intranetu, rozvojem telekomunikačního trhu a za současných možností a cen pracovních stanic nalezneme téměř vždy řešení, kdy nám IT vzdělávání zlevní zrychlí a zlepší.



Obr.1.2: Výhody E-learningového vzdělávání: šetří peníze, čas, je efektivnější

E-Learning lze velice efektivně využít jak u společností s dobrou technologickou základnou, tak u společností s horším IT vybavením a s lidmi bez počátečních zkušeností s počítači.

1.1 CÍL E-LEARNINGU (11)

Cílem je integrovat výuku do každodenního pracovního života zaměstnance/studenta. Používáním více metod dodávání výuky se dosahuje cílového efektu. E-learning se většinou používá v konjunkci s dalšími typy výuky jako je např. instruktorem vedený trénink.



Obr.1.3: Integrace E-learningového vzdělávání do každodenního života

Organizace typicky spojuje řadu metod, aby zajistila pro své zaměstnance/studenty optimální vzdělávání.

E-learning nabízí bohatou sadu různých kombinací metod výuky. Řada možností však ještě nezajišťuje úspěch. Abychom dosáhli požadovaného efektu, musíme promyšleně volit, koordinovat a implementovat jednotlivé metody dodávání výuky.

Rozlišujeme dva základní typy výuky, jejichž metody při E-Learning kombinujeme – **Asynchronní a Synchronní výuku.**

1.1.1 Asynchronní výuka

Může být aplikována v různých časech na jednotlivé studenty, kteří si mohou volit tempo a způsob přijímání informací, avšak nelze navzájem reagovat v reálném čase. Patří sem například tištěné manuály a knihy, Audio/Video, či elektronické výukové kurzy.



Obr1.4: Asynchronní komunikace student učitel

1.1.2 Synchronní výuka

Probíhá v reálném čase, v kterém všichni účastníci současně přijímají předávané zkušenosti a mohou navzájem reagovat. Patří sem například výuka v učebně, kdy všichni účastníci včetně lektora jsou ve stejném čase a místě, či virtuální třídy, kde se mohou účastníci v jednom čase pomocí synchronních technologií setkat a reagovat, ačkoliv jsou v různých lokalitách.



Obr1.5: Synchronní komunikace student učitel

1.2 Proč e-learningové studium?

V současném světě, kdy informace je hybnou silou obchodu, již asi nikdo nepochybuje o nutnosti stálého vzdělávání. Dle posledního výzkumu ASTD (světová asociace organizací zabývajících se vzděláváním dospělých), firmy, které investují do vzdělávání zaměstnanců vyšší částky než je průměrná výše investic do vzdělávání, vykazují o 86% vyšší zhodnocení svých akcií než firmy, které investují do vzdělávání méně než průměr, a o 45%

vyšší zhodnocení než firmy, investující do vzdělávání částky na úrovni průměrných investic do vzdělávání na daném trhu.

Soustavné školení zaměstnanců i sebevzdělávání formou školení, seminářů či samostudia je běžnou součástí života každé progresivní firmy i jednotlivce. Efektivní využívání intelektuálního kapitálu firmy má přímý vliv na výsledky firmy.

E-Learning přináší vzdělávání levněji, rychleji a lépe.

1.2.1 Levněji bez více nákladů

Klasické vzdělávání sebou nese řadu nákladů nesnižujících se po celý vzdělávací proces. Jedná se například o cenu za lektory, pronájem školících prostor a prostředků, výrobu školících materiálů, dopravu na školení, stravné a řadu dalších. Mezi významné skryté náklady pak patří skutečnost, že zaměstnanci bývají po dobu školení i delší dobu mimo pracovní proces a neplní své pracovní úkoly.

E-Learning přináší počáteční náklady například na výrobu kurzů, implementaci řídicího systému či investici do výpočetní techniky. Poté jsou však již náklady na provoz minimální. Lektori jsou využíváni efektivně pro aktivní tvorbu obsahu a řízení výuky a ne pro neustálé opakování výkladu na učebnách, pronájem školících prostor a prostředků většinou odpadá, vyrobená školení se velmi jednoduše aktualizují, rozšiřují a integrují se do nich nové poznatky získané při výuce. Doprava zaměstnanců odpadá či se eliminuje na individuální dopravu do počítačových učeben. Zaměstnanci mohou absolvovat školení ve vhodných okamžicích v průběhu pracovního procesu, takže z něj nejsou vyřazeni. U většiny společností, které již vzdělávají klasickými metodami a mají správně kalkulované celkové vzdělávací náklady přímé i nepřímé, lze spočítat, že zavedením e-Learningu i se započtením počátečních nákladů se významně sníží již v prvním či druhém roku celkové náklady na vzdělávání.

1.2.2 Rychleji v čase i objemu

Při klasickém vzdělávání nedostávají většinou studenti školení ve chvíli potřeby, ale v době, kdy se jich sejde dostatečné množství, je k dispozici lektor, školící prostory a další prostředky. Nově nastupující zaměstnanci často čekají na proškolení dlouho. Pokud se

změní školený předmět, trvá opět dlouhou dobu, než jsou všichni zaměstnanci přeškoleni. Studenti si rovněž nemohou jednoduše školení zopakovat či se vrátit k části školené látky.

E-Learning umožňuje studentům dostat školení skutečně ve chvíli, kdy potřebují.



Obr1.6: E-learning – využití v jakékoliv chvíli

Stačí spustit počítač a začít. Noví zaměstnanci jsou proškoleni v okamžiku příchodu, každý zaměstnanec se může kdykoliv k jakémukoliv školení či jeho části vrátit. Při změně pravidel, předpisů apod. se tato změna dostává ke všem zaměstnancům ihned po zpracování do školícího programu, což bývají řádově hodiny až dny. Pokud je výukový kurz správně koncipován z jednotlivých elementů (učební objekty), mohou zaměstnanci tyto elementy dále využívat v každodenním pracovním procesu v nástrojích pro knowledge management.

1.2.3 Lépe, efektivněji a individuálně

Klasické vzdělávání předpokládá, že všichni studenti v učebně vnímají stejně rychle, všem vyhovuje mluvený výklad lektora a všichni chtějí v dané chvíli látku studovat. Praxe je však poněkud odlišná.



Obr1.7: E-learning – využití pro kohokoliv, bez zábran

E-Learning všechny tyto nedostatky odstraňuje. Student prochází výukovým kurzem svým tempem, sám si určuje způsob průchodu, vracení se k tématům, vybírá si z více variant výkladu. Rovněž si kurz spouští ve chvíli, kdy potřebuje, to znamená že chce studovat a bude se výkladu věnovat. Prostřednictvím řady otázek, simulací a testů je vtahován aktivně do výuky, což významně zvyšuje zapamatování výuky.



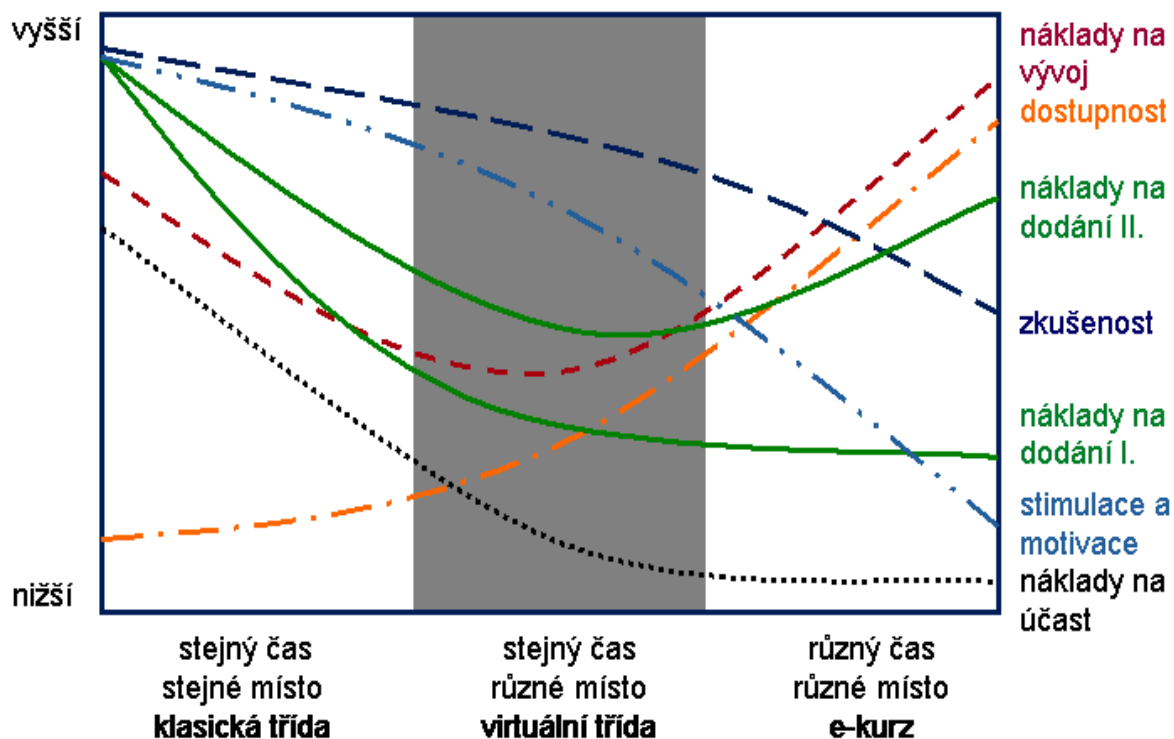
Obr1.8: E-learning – aktivní „vtažení“ do výuky

E-Learning pomocí testovacích objektů a řídicích systémů efektivně měří každý kurz. Umožňuje objektivně nastavit požadované cíle a ty pak jednoduše změřit. e-Learning dodává okamžitě k dispozici informace o jednotlivých studentech, kolik kde dosáhli bodů, jak dlouho trávili čas v kterých částech kurzu, jak odpovídali na dotazy. e-Learning rovněž jednoduše statisticky hodnotí úspěšnost jednotlivých kurzů a tím identifikuje kurzy, které je třeba přepracovat.

E-Learning rovněž přináší nové formy komunikace a spolupráce jak mezi studenty, tak mezi studenty a lektory, které by bez využití IT nebyly myslitelné. e-Learning dělá z učení adresný, individuální, interaktivní a poutavý proces, který je integrován do každodenního života studenta.

1.3 Porovnání výhod a nevýhod forem vzdělávání

Z hlediska účinnosti je nejvýhodnější klasické vzdělávání ve třídách. E-learning přináší zase jiné výhody, zejména spoří čas a náklady. A výhody obou způsobů se setkávají ve virtuální třídě, jak ukazují zkušenosti s využíváním virtuálních tříd.



Graf č.1.1 Grafické porovnání výhod a nevýhod forem vzdělávání

Tento převzatý graf zobrazuje porovnání výhod a nevýhod jednotlivých forem vzdělávání. Nebere v potaz samostudium z knih, ve většině aspektů je podobný e-learning samostudiu, to ovšem není tak interaktivní a multimediální. Graf vychází jednak z porovnání nákladů, jednak z několikaletých zkušeností se vzděláváním ve virtuálních třídách. V našich podmínkách dosud nebyl proveden podobný průzkum, nicméně základní zákonitosti platí i v ČR, lze tedy graf použít pro přibližné porovnání.

Na vodorovné ose jsou zaznamenány tři kombinace času a místa. Klasická třída vyžaduje soulad času a místa, výhody elektronického samostudia tkví mj. v tom, že každý účastník může studovat v různém čase na různém místě. Ve stejném čase studovat na různých místech je výhodou virtuální třídy. Křivky udávají přibližnou a jen relativní výši nákladů nebo výsledku.

1.4 Prověřování znalostí

V současnosti existují programy sloužící ke zkoušení studentů. Tyto programy jsou součástí balíku e-learningu, které jsou ekonomicky náročné. Existuje však i ekonomicky

méně náročné řešení zkoušení vědomostí studentů v reálném čase prostřednictvím síťového operačního systému Linux.

Při měření výkonů práce žáků, studentů, tedy jejich vědomostí, zručnosti, případně návyků, je třeba co nejobjektivnějšího způsobu jejich vyhodnocení. V průběhu studia je jeho nevyhnutelnou součástí proces hodnocení vědomostí studenta, hlavně při nároku na udělení zápočtu anebo zkoušky (v případě vysokoškolského vzdělávání). Měření vědomostí by mělo být jakousi zpětnou vazbou při hodnocení samotného vyučovacího procesu z pohledu učitele a umožnění prověření stupně osvojení studované problematiky a následné korekce nežádoucích stavů.

Výpočetní technika umožňuje rychlé zpracování, vyhodnocení informace a její názornou grafickou prezentaci. Je vhodné využít její sílu a použít nové výrazové prostředky ve vyučovacím procesu prostřednictvím e-learningu. Jeho velký rozmach neobešel ani výrobce softwaru. Většinou však firmy vyvíjející programy podporující elektronické vzdělávání nabízejí řešení, která nejsou pro vzdělávací instituce nejlacinější. To je jeden z atributů, který nastartoval spolupráci se studenty ve vyvíjení aplikačních programů.

Vyvíjené aplikace zabezpečují:

- a. Přihlašování na zkoušky prostřednictvím internetu anebo mobilního telefonu
- b. Propojení multimediálních databází pro vzdělávací kurzy
- c. Testování vědomostí studentů pomocí internetu

1.4.1 Testy

Slovo test je odvozeno od latinského testor, což znamená dosvědčovat, dokazovat. Didaktický test je nástrojem systematického zjišťování (měření) výsledků vyučovacího procesu. Z definice nevyplývá, že musí mít jen písemnou podobu a že nemusí být totožný s běžnými písemkami. Testy jsou přesně stanovené zkoušky, umožňující srozumitelným způsobem posoudit výkonnost jednotlivých studentů anebo celých skupin v rozličných učebních předmětech. Zkoumají vědomosti dosažené učením.

Strana 1 strany: 1-2

Hlavním městem Běloruska je:

Kyjev
 Minsk
 Moskva

* Nechci odpovédět. Chci vymazat, co jsem zaškrtl u této otázky.

Hlavním městem Nového Zélandu je:

Kingstown
 Wellington
 Kuala Lumpur

* Nechci odpovédět. Chci vymazat, co jsem zaškrtl u této otázky.

Strana 1 strany: 1-2

a **vyhodnotit** moje odpovědi

Zbývá: 00:00:28
! < 1 minuta

Obr1.9: Průběžné s závěrečné testy

Testování vědomostí studentů je možné vykonávat různými formami:

- Ústně (individuálně)
- Diskuzí na dané téma
- Písemně prostřednictvím vypracování odpovědí na otázky
- Písemným testem prostřednictvím volby správné odpovědi
- Praktickými zkouškami

Při sestavování testu je třeba splnit požadavky týkající se konstrukce testu, a to:

- Výběr zkušebních položek – jejich obtížnost má být přiměřená věku a duševní úrovni studenta

- Zkušební položky je třeba upravit tak, aby student mohl na otázky odpovídat jednoznačně a rychle
- Délka vědomostního textu
- Počet položek v testu

Každá z forem zkoušení vědomostí má svoje kladné i záporné stránky v následující tabulce jsou uvedené některé atributy zkoušení spolu se subjektivním vyhodnocením nejvhodnější formy zkoušení pro daný atribut. Taková forma je označena křížkem.

Tab.1.2: Subjektivní hodnocení atributů zkoušení pro různé formy

	Ústní zkoušení	Písemné prostřednictvím odpovědí na otázky	Písemný test prostřednictvím volby správné odpovědi
Délka trvání zkoušení			x
Počet vyzkoušených			x
Objektivita klasifikace			x
Soustředěnost studenta při zkoušení		x	
Složitost vyjadřování odpovědí		x	
Možnost dodatečného doplnění vědomostí	x		
Pravdivý obraz o hloubce vědomostí	x		

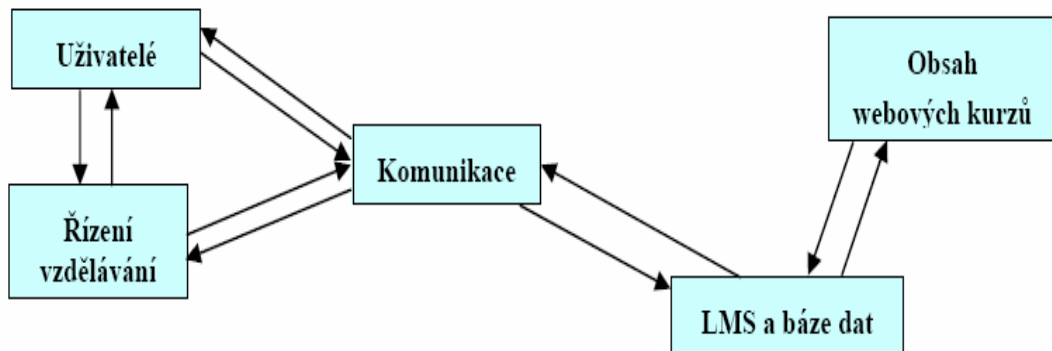
Při porovnání vlastností, které poskytují různé formy zkoušení vyplývá, že je velmi problematické najít nejvhodnější formu zkoušení a je potřebné v rámci každého studijního předmětu výběr formy specificky posoudit.

Jako nejefektivnější způsob zkoušení hlavně při větším počtu studentů se ukazují písemné testy s volbou správné odpovědi. Didaktický test uplatní svoje přednosti jen tehdy, když splňuje dva základní požadavky:

- Je správně sestavený
- Je vhodně použitý a správně vyhodnocený

Nevhodně konstruovaný test je vždy méně vhodný na měření vědomostí žáků, studentů, nežli běžná ústní odpověď.

1.5 Subjekty e-learningu a jejich spolupráce



Obr1.10: Schéma toku informací

- Obsah webových kurzů
- LMS a báze dat
- Komunikace
- Uživatelé webového kurzu
- Řízení vzdělávání

Každý z těchto subjektů má samostatné poslání a disponuje osobitými daty a aktivitami.

Vzájemné vazby mezi subjekty jsou charakteru datového, aktivního a řídicího.

Je patrné, že obsah webových kurzů není přímo přístupný žádnému z uživatelů. Všem je přístup povolen jen přes systém LMS.

1.5.1 Postavení LMS v e-learningovém prostředí

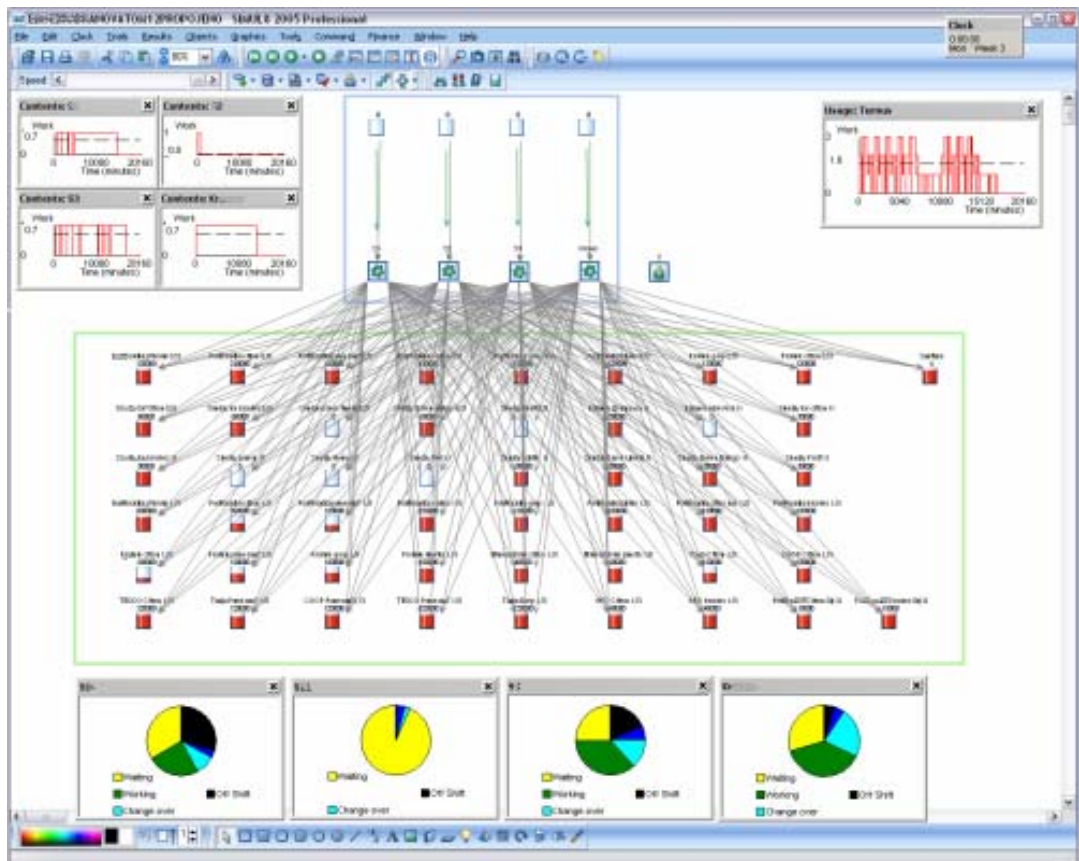
Postavení LMS v e-learningovém prostředí je dáno souhrnem hlavních systémových funkcí. Vzhledem k jeho modulovosti je požadavkem, aby LMS naplňoval alespoň následující *hlavní systémové funkce*:

1. Na základě registrovaného přístupového práva umožnit přístup klienta k obsahu webového kurzu (registrovaný uživatel).
2. Poskytnout veřejná přístupová práva vedoucí k seznámení s obsahem webového kurzu a jeho možnostmi (host).
3. Dát klientům možnost rychlého vyhledávání v obsahu webového kurzu a tím zlepšit jeho využití.
4. Sledovat a vyhodnocovat studijní úsilí studentů s registrovanými přístupovými právy a zanášet je do báze dat webového kurzu. Umožnit sestavení historie studijního úsilí k danému studentovi a období
5. Dát učiteli webového předmětu možnost řízení studijního úsilí studentů s registrovanými přístupovými právy prostřednictvím hodnocení poskytnutých systémem. Zprostředkovat odbornou komunikaci mezi učitelem a studentem.
6. Vybraným učitelům webových předmětů kurzu poskytnout učitelská přístupová práva, což jim umožní nahlédnout i do metodiky výuky předmětu, připravit se na jeho vedení a provádět některé změny ve webovém předmětu.
7. Zprostředkovat pomocí vývěsky systému – informačních tabulí zveřejnění závažných informací týkajících se webového kurzu, zabezpečit komunikaci mezi učitelem a studenty a mezi uživateli navzájem.
8. Poskytnout garantovi předmětu možnost pružné aktualizace jeho obsahu ve webovém předmětu. Učitelům předmětu dát možnost změny nebo vytváření svých testů.
9. Zabezpečit ochranu obsahu webového kurzu proti jeho narušení, chránit proti zveřejnění vzájemnou komunikaci mezi učitelem a studentem a mezi studenty navzájem (komunikace učitele s třídou je pro tuto třídu veřejná, ale pro jinou třídu nepřístupná). Práva změny obsahu webového předmětu svěřit jen garantovi předmětu. Učitelé, kteří tento předmět vyučují nebo kteří se na jeho výuku připravují mají učitelská přístupová práva, která ale neumožňují všechny změny ve webovém kurzu (např. jen změnu prověřovacích a zápočtových testů pro kontrolu zvládnutí poznatků).
10. Vést žurnál o své činnosti, v němž bude zachycena každá klientská a systémová aktivita. Tento žurnál bude přístupný jen administrátorovi webového kurzu.

1.6 Simulace

Simulace je obzvláště vhodná pro situace, ve kterých je velikost nebo komplexnost problému pro použití optimalizačních technik obtížná nebo kde jsou tyto techniky nepoužitelné. Praktické zkušenosti a ucelená demonstrace tvorby a použití simulačních modelů jsou nepostradatelné pro plné pochopení problematiky simulací studenty.

V řízení simulací chápeme použití počítače k provedení experimentu na modelu reálného systému. Tyto experimenty mohou být provedeny předtím, než je reálný systém funkční. Svou podobou napomáhají vidět, jak by systém mohl reagovat na změny ve svých funkčních pravidlech.



Obr1.11: Simulace výroby nealkoholických nápojů

Zejména zahraniční literatura uvádí, že simulace se stala standardním nástrojem užívaným v řízení. V provozu je simulace určena k plánování produkce, podpoře procedur, dále k plánování kapacit, plánování potřeby zdrojů, procesní plánování a mnohem více. Simulace často zachraňuje situaci v okamžiku, kdy jiné matematické techniky selhávají.

Simulace je použitelná ve výcviku manažerů a pracovníků, říká jim, jak se reálný systém chová, demonstruje účinky změn v různých variantách systému, kontroluje skutečný čas a vyvolává nové myšlenky v běhu podniku.

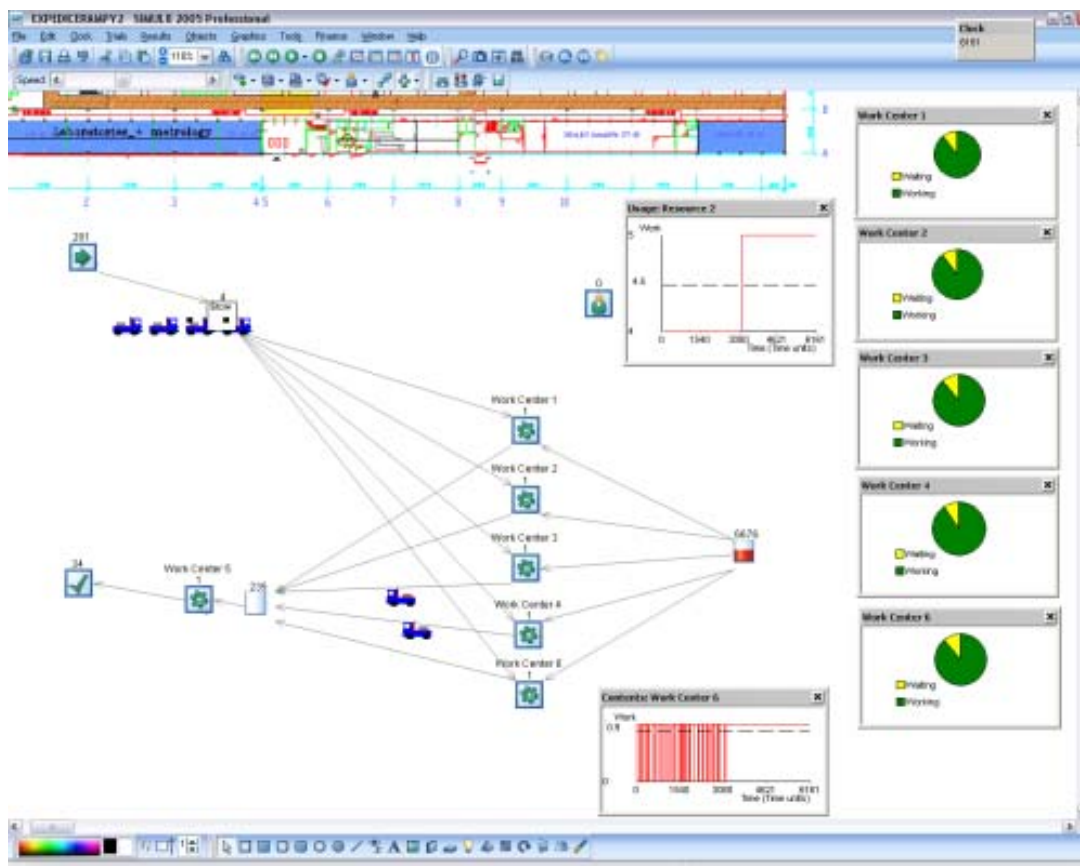
Využívání počítačové simulace umožňuje poměrně rychle vyzkoušet a zvážit různé varianty řešení, a tím minimalizovat rizika chybných rozhodnutí; důležitější roli hraje fakt, že analytické metody jsou pro řešení dnešních komplexních, dynamických úloh příliš statické a často narážejí na hranice svých možností.

Přestože se v zahraničí používání počítačové simulace stalo téměř rutinní záležitostí, u nás je její praktické využívání stále na počátku svého vývoje. I přes velmi dobré teoretické zázemí brání jejímu většímu rozšíření kromě poměrně vysoké ceny simulačního softwaru hlavně nízká úroveň znalostí, které jsou potřebné pro její efektivní využívání. Chybí hlavně povědomost o možnostech jejího využití, o jejích přínosech, o správném přístupu ke zpracování simulační studie a o moderních simulačních systémech, včetně podpůrných prostředků.

Důvody používání počítačové simulace lze shrnout do následujících bodů:

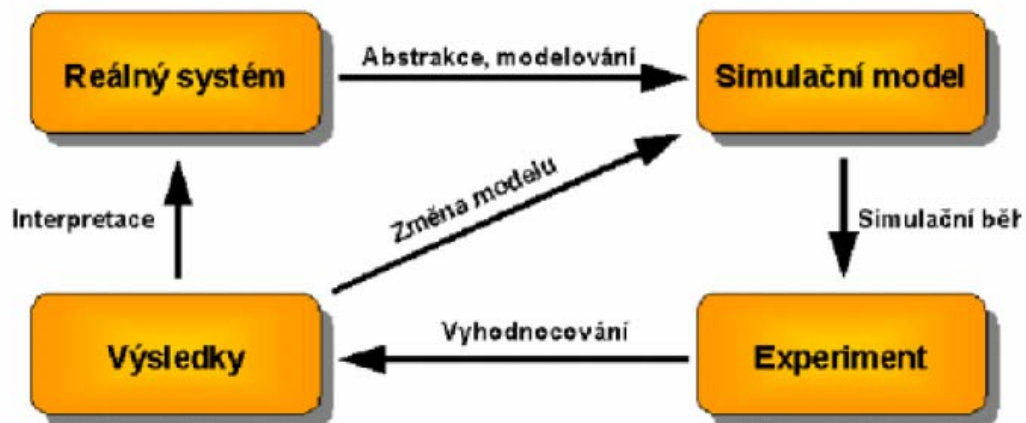
- Simulací lze řešit i velmi složité systémy, které jsou neřešitelné jinými analytickými metodami
- Simulace umožňuje studium chování systému v reálném, zrychleném nebo zpomaleném čase
- Již samotné zkušenosti z tvorby simulačního modelu mohou vést k návrhům na zlepšení řízení či struktury
- Simulace nabízí komplexnější pohled na studovaný problém
- Simulace poskytuje větší přehled o podnikových procesech
- Pozorování činnosti simulačního modelu vede k lepšímu pochopení reálného systému
- Pomocí simulace je možné důkladně prověřit různé varianty řešení
- Možnost využití již jednou vytvořeného simulačního modelu i v dalších činnostech podniku
- Simulace podporuje tvůrčí práci

Počítačovou simulací lze používat pro řešení řady obchodních, logistických, projekčních a personálních úloh. Její hlavní využití je však v předvýrobních etapách pro prověření různých variant řešení s cílem minimalizovat rizika chybných rozhodnutí.



Obr.1.12: Simulace vytížení skladových expedičních ramp

Počítačová simulace se vzhledem ke svým schopnostem sledovat stochastické a dynamické vlastnosti jednotlivých procesů a předpovídat jejich chování, stává nezbytným podpůrným nástrojem pro zodpovědné rozhodování jak manažera, technika, plánovače, tak i ekonomy, mistra a personalisty. Tím jednoznačně přispívá ke zvyšování konkurenceschopnosti podniku.



Obr.1.13: Princip simulace

1.7 Standardy e-learning

Standardy jsou sadou pravidel nebo procedur odsouhlasených a schválených standardizační organizací.

V rámci e-learning aktivit tato pravidla napomáhají především v oblasti tvorby kurzů a v oblasti nastavení komunikace mezi kurzy a řídicím systémem vzdělávání. Jsou důležité jak pro poskytovatele řešení a vzdělávání tak i pro uživatele a zákazníky.

Tvůrci kurzů, vývojáři nástrojů, aplikací a řídicích systémů (LMS) se v současné době díky garanci dodržení těchto pravidel mohou bezstarostně věnovat řešení dalších vylepšení systémů, a to v jiných oblastech než je pouhé poskytování vzdělávacích obsahů.

Stejně tak mají i zákazníci svoji jistotu zaručené kompatibility zakoupených kurzů pro provozované systémy.

1.7.1 Základní standardy a standardizační organizace pro e-learning (13)

Standardy jsou sadou pravidel nebo procedur odsouhlasených a schválených standardizační organizací. V rámci e-learning aktivit tato pravidla napomáhají především v oblasti tvorby kurzů a v oblasti nastavení komunikace mezi kurzy a řídicím systémem vzdělávání. Jsou důležitá jak pro poskytovatele řešení a vzdělávání, tak i pro uživatele a zákazníky.

Tvůrci kurzů, vývojáři nástrojů, aplikací a řídicích systémů (LMS) se v současné době díky garanci dodržení těchto pravidel mohou bezstarostně věnovat řešení dalších vylepšení

systemů, a to v jiných oblastech než je pouhé poskytování vzdělávacích obsahů. Stejně tak mají i zákazníci svoji jistotu zaručené kompatibility zakoupených kurzů pro provozované systémy.

AICC

Aviation Industry Computer-Based Training Committee, mezinárodní asociace profesionálních technologicky-založených školení, vyvíjejících tréninkové směrnice pro letecký průmysl. AICC vyvíjí standardy pro Interoperabilitu školení počítačem a počítačem školené řízení, produktů průmyslových odvětví.

AICC je významný zejména z historického hlediska, v minulosti patřil mezi široce podporovaný standard a dosud existuje velké množství hotového obsahu dle tohoto standardu.

SCORM

The Sharable Courseware Object Reference Model je množina specifikací, které při aplikaci na obsah kurzu vytvoří malé a znovupoužitelné výukové objekty (learning objects). Je to výsledek iniciativy Advanced Distributed Learning (ADL)

Standard SCORM je současným trendem, který přináší oproti AICC významné výhody z hlediska adaptability, sdílení, prohledávání a znovu využívání obsahu.

IMS

The Instructional Management System je technická specifikace výměny dat mezi studentem, jeho kurzem a systémem pro řízení výuky. Iniciováno skupinou společností s cílem definování specifikací a přijetí otevřeného standardu pro výuku realizovanou internetem.

IEEE

Institut of Electrical and Electronics Engineers. Největší profesní a standardizační organizace na světě, založená roku 1884, jejíž aktivity mimo pořádání konferencí a vydávání odborných časopisů zahrnují přípravu a vydávání komunikačních a síťových standardů. Pro počítačové sítě má největší význam standardizační orgán založený v rámci IEEE v únoru roku 1980 (a proto označovaný jako IEEE 802), který je specificky zaměřen na

problematiku standardu lokálních sítí. Pro jednotlivé oblasti jsou pak vytvořeny pracovní skupiny.

ADL

Advanced Distributed Learning. Iniciativa amerického Ministerstva obrany k dosažení interoperability mezi počítačem a internetově založeným výukovým softwarem, a to vývojem společné technické struktury, která by umožňovala jeho opětovné použití.

Z uživatelského hlediska standardy zaručují, aby mohl být vložen libovolný obsah do libovolného LMS (Learning Management System). To znamená, že LMS musí „rozumět“ struktuře obsahu a obsah s LMS musí být schopny vzájemné komunikace. LMS spouští na požadavek uživatele obsah a předává mu standardem definované informace jako např. kdo a kdy obsah spouští, data která si obsah do LMS v předchozím spuštění uložil. Obsah naopak předává LMS informace např. o době studia, studentem dosažených výsledcích, studentem provedených aktivitách nad obsahem (zvolené volby v testových otázkách, navigace po stránkách...).

1.8 Základy výrobních procesů

Základy výrobních procesů se přednášejí na Univerzitě Tomáše Bati fakultě Technologické v prvním semestru studia. Studenti přicházejí na univerzitu z nejrůznějších druhů škol s rozmanitým zaměřením a tedy i různou úrovní znalostí. Proto je vhodné, vytvoření internetové učebnice Základů výrobních procesů, která by poskytovala možnost téměř individuálního přístupu ke studentovi a tedy vyrovnání úrovně jejich znalostí v daném předmětu. Cílem je vytvořit souborný materiál, který umožňuje samostudium, individuální přístup na různé úrovni hloubky studia předmětu. Řízené sebevzdělávání je jedna z možností jak zefektivnit studium.

1.9 Shrnutí

E-learning je moderní podoba distančního vzdělávání, která ve formě elektronického distribuovaného vzdělávání využívá nejmodernější informační technologie. K jeho hlavním přednostem patří všestranná flexibilita a úspornost. Multimediální kurz kombinuje textový výklad s animacemi, videem, audiem, grafikou, schémata a testovacími objekty.

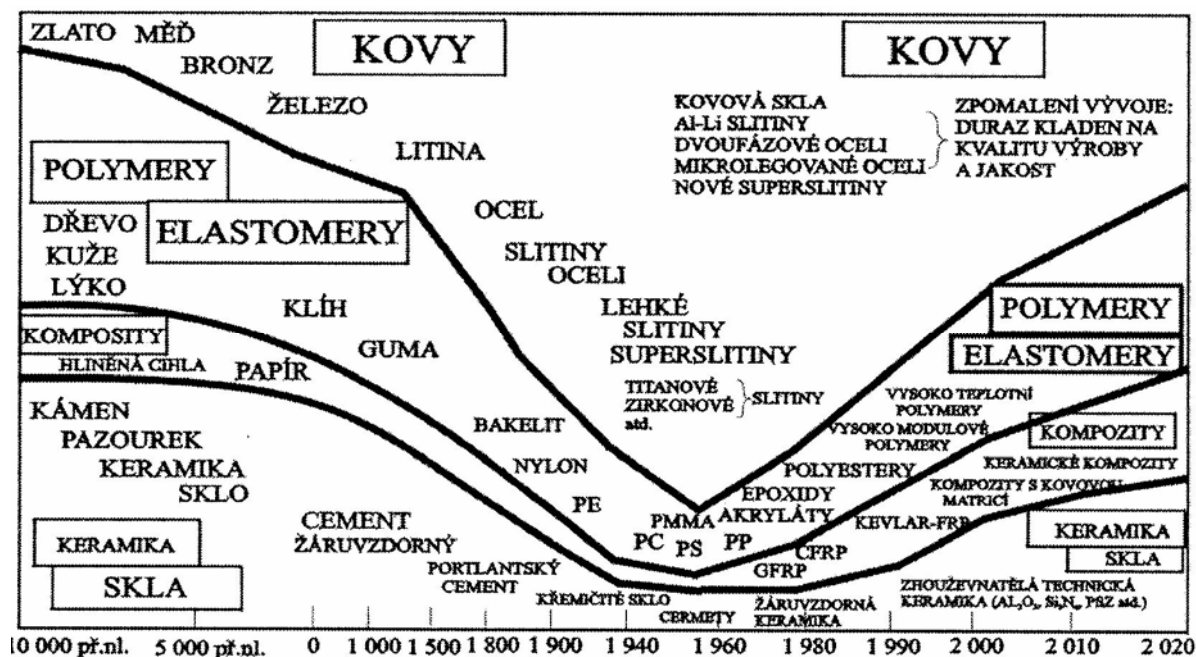
Student prochází výukovým kurzem svým tempem, sám si určuje způsob průchodu, návrat k tématům, spouští si kurz ve chvíli, kdy potřebuje, chce studovat. Prostřednictvím otázek, testů je interaktivně vtahován do výuky, což zvyšuje efektivitu a zapamatování výuky.

Zapojením e-learningu do výuky se očekává zdokonalení vzdělávací činnosti. Multimedia ve srovnání s klasickými knihami či skripty poskytují širší možnost prezentace. Tato výuka dává studentovi řadu nových podnětů a zvyšuje jeho motivaci ke studiu. Využití multimediálního programu jako součásti výuky umožní vzdělávat mnohem větší okruh studentů zejména v distanční a kombinované formě studia.

2 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ KONSTRUKČNÍCH MATERIÁLŮ

(3)

2.1 Vývoj konstrukčních materiálů



Obr.2.1: Vývoj konstrukčních materiálů

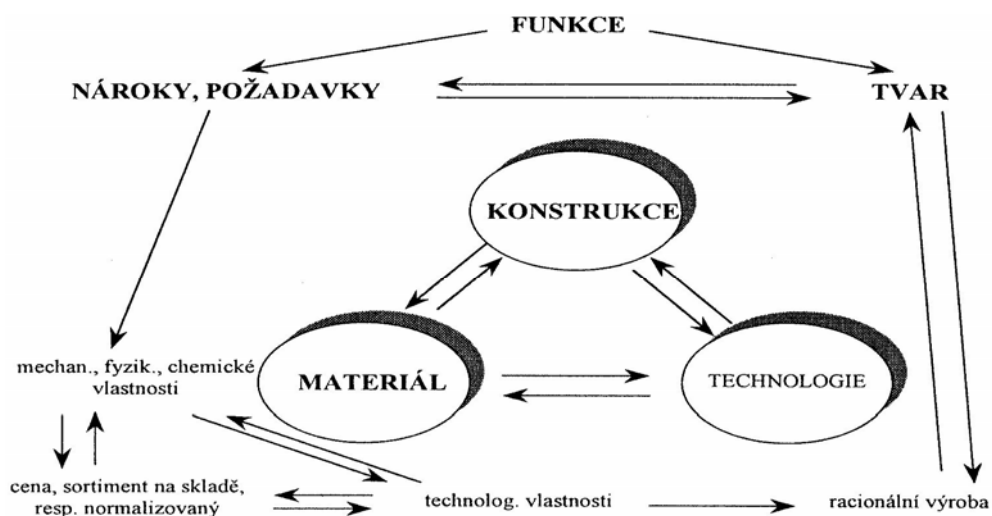
Materiál a zejména jeho praktické využití je s lidskou existencí spojen snad nejvíce ze všech věd. Stravování, bydlení, odívání, doprava, zábava atd., jsou podmíněny využíváním celé množiny materiálů. Celá historická období vývoje lidstva jsou nazývána podle materiálů v té době nejvíce využívaných (doba kamenná, bronzová, železná). Pro lidskou existenci je schopnost využívání vhodných materiálů velmi důležitá.

Od počátku dějin lidé využívali přírodní materiály, jako např. kámen, dřevo, kůže, kosti a hlínu. S postupem času se tato množina rozšiřovala o nové materiály, často vznikající z materiálů původních, s použitím speciálních technologií. Tyto technologie byly rozvíjeny a předávány z otce na syna, případně z mistra na učedníka. Teprve cca. v polovině minulého století dochází k intenzivnímu rozvoji materiálových technologií, tj. k pronikání zejména fyzikálních poznatků a metod do vědy o materiálu. Setkáváme se s nimi na každém kroku, ať se jedná o nové slitiny kovů, plasty, keramiku, kompozity, materiály pro mikroelektroniku a mnoho dalších.

2.2 Vztah materiálu, technologií a výrobku

Funkce výrobku, jeho konstrukce, materiál a technologie se vzájemně ovlivňují. Nelze zvolit materiál bez ohledu na jeho použití a nelze zvolit správnou technologii výroby bez znalostí vlastností materiálu. Technologie ovlivňuje docílení požadovaného tvaru výrobku, přesnost, jakost povrchu a neposlední řadě i cenu.

Konstrukce výrobku zase ovlivňuje výběr materiálu i technologii.



Obr.2.2: Vztah mezi vlastnostmi výrobku (jeho tvarem, funkcí), materiálem a technologií

2.3 Technické materiály

Získávají se zpracováním surovin. Suroviny jsou přírodní minerální látky, živočišného nebo rostlinného původu (rudy, ropa, bavlna, vlna, dřevo, kůže, uhlí, apod.). všeobecně lze dělit materiály na konstrukční (součásti strojů, stavební díly, elektrotechnické součásti, atd.) a materiály pomocné (pohonné hmoty, chladící a mazací prostředky, formovací látky, apod.), které slouží k výrobě, zpracování a dopravě materiálů konstrukčních.

U konstrukčních materiálu je třeba před použitím stanovit jejich vhodnost k použití pomocí hodnocení a měření jejich kvalitativních vlastností, a to především vlastností:

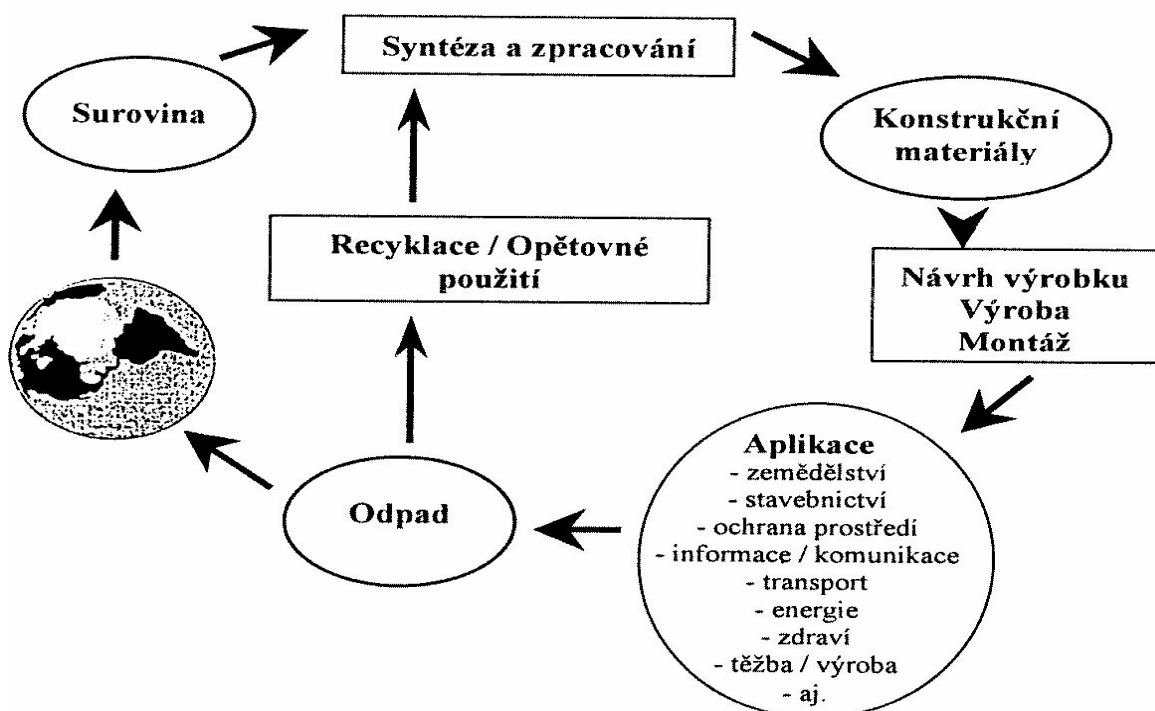
- Mechanické
- Chemické
- Tepelné
- Elektrické
- Magnetické
- Akustické
- Optické
- Atomové

2.4 Materiál a životní prostředí

Na obrázku je znázorněn typický koloběh materiálu přes jeho zpracování, použití, znehodnocení a znovuvyužití.

V dnešní době vzrůstá množství materiálu, který nelze dále zpracovávat a tento odpad se hromadí na zeměkouli. Snahou je minimalizovat toto množství.

Recyklace má přitom řadu praktických podob, například opětovné použití, zpracování na surovinu k výrobě nového produktu nebo pro energetické účely (spalování plastů).



Obr.2.3: Koloběh materiálu

2.5 Základní principy rozdělení materiálů

- Kovové materiály
- Polymery
- Anorganické materiály
- kompozity

2.6 Základní principy rozdělení kovových materiálů

Kovové materiály

- Čisté kovy
 - *Lehké kovy*: hliník, berylium
 - *Těžké kovy*: zlato, měď, nikl, platina, wolfram
- Slitiny kovů
 - *Neželezné slitiny*: slitiny – Al, Cu, Ni, Mg, Pb, Ti
 - *Oceli a litiny*: oceli – stavební, konstrukční, ušlechtilé, nástrojové, ložiskové, kotlové, korozivzdorné a litá ocel
litiny – s lupínkovým grafitem, s kuličkovým grafitem

2.7 Základní principy a rozdělení polymerů

Polymery

- Přírodní
 - *Přírodní vlákna*: konopí, juta, bavlna, len
 - *Přírodní pryskyřice*: jantar, sosnová pryskyřice, olivová pryskyřice
 - *Přírodní kaučuk*: měkká pryž, tvrdá pryž
 - *Dřevo*: měkká dřeva (kůra, smrk, vrba), středně tvrdá dřeva (buk, hrušeň, dub), tvrdá dřeva (habr, javor, eben)
 - *Kůže*
- Syntetické
 - *Termoplasty*: polyetylén, polypropylén, polyvinylchlorid, polyamid
 - *Reaktoplasty*: polyuretan, polyesterové pryskyřice, epoxidové pryskyřice
 - *Elastomery*: silikony, styrol-butadien, polyizopren, butadien-acrilnitril

2.8 Základní principy a rozdělení anorganických nekovových materiálů

Anorganické nekovové materiály

- Polovodiče
 - *Polovodivé prvky*: křemík, germanium
 - *Slitinové polovodiče*: indiumarzenid, galiumarzenid
- Keramika
 - *Hrubá keramika*: stavební keramika, hrnčářská keramika, kamenina
 - *Jemná keramika*: kameninové zboží, sanitární porcelán, porcelán
 - *Technická keramika*: Al_2O_3 , Si_3N_4 , smíšená keramika, SiC
- Skla
 - *Křemičitá skla*: skla na nádoby, ploché sklo, užitkové sklo
 - *Olovnatokřemičitá skla*: užitkové sklo, skla pro přístroje
 - *Borokřemičitá skla*: laboratorní sklo, sklo ve farmacii, technické sklo
 - *Speciální skla*: brýlové sklo, ochrana proti záření, optická skla, ET-skla, elektrické sklo, skleněná vlákna
- Umělý uhlík
 - *Kompaktní uhlík*: kontaktní vedení, těsnění, elektrody, ...
 - *Uhlíková vlákna*: zpevňující materiál

2.9 Základní principy a rozdělení kompozitních materiálů

Kompozitní materiály

- Kov / kov
 - *Povlakování*: pochromování, poniklování
 - *Svařování*: ocel/ocel, ocel/austenitická ocel

- *Plátování*: Al/slityny Al, Cu/slityny Cu, Ni/ocel
- *Impregnace*: W/Ni, W/Cu
- *Sintrování*: ocel/slityny Al, ocel/ocel
- *Nástríky*: Zn/ocel
- *Navařování*: ocel/ slityny Al, ocel/ slityny Sn
- Kov / anorganický nekov
 - *Kontaktování*: Cu/Al₂O₃, Au/Si
 - *Povlakování*: sklo/Ag, Au/sklo
 - *Emailování*: keramika/ocel
 - *Pájení*: keramika/slityny Au, Al₂O₃/Cu
 - *Sintrování*: Al₂O₃/Cr, TiC/CO, Al₂O₃/Mo, C/slityny kovů
 - *Nástríky*: NiCrAlY/slityny Ni
- Kov / polymer
 - *Povlakování*: kov/polymer, polymer/kov
 - *Lepení*: polymer/kov
 - *Zpevňování*: polymer/ocelový drát
 - *Pokrývání pěnou*: polyuretan/kov, polystyrol/kov
- Polymer / polymer
 - *Povlakování*: polymer/dřevo polymer/polymer,
 - *Tkaní*: polymer/polymer
 - *Plnění*: nárazuvzdorný polystyrol
 - *Navařování*: polyetylén/polyamid, polyetylén/polypropylén
- Polymer / anorganický nekov
 - *Vláknitá plniva*: polyamid+skleněná vlákna, epoxidové pryskyřice+
skleněná vlákna držáky

- *KFK*: epoxidové pryskyřice+grafitová vlákna
- *Lepené sklo*: polymer/sklo
- anorganický nekov / anorganický nekov
 - *Spoje*: sklo/keramika
 - *Sintrování*: $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{ZrO}_2$, $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Mo}$

3 ŽELEZO A JEHO SLITINY (1)

3.1 Vlastnosti železa

Je nejdůležitějším kovem pro téměř všechna průmyslová odvětví. Čisté železo je měkké, snadno tvárné, tepelně i elektricky dobře vodivé a snadno svařitelné. Pro svoji malou pevnost má jen velmi omezené použití. Převážně se používá technických slitin železa s různými kovovými i nekovovými prvky, které mají vliv na vlastnosti těchto slitin..

Podle obsahu uhlíku dělíme železa na kujná (oceli, temperované litiny, elektrolytické železo) s obsahem uhlíku menším než 2,14 % a na železa nekujná (surová železa a litiny) s obsahem uhlíku nad 2,14 %.

Surové železo se vyrábí ze železných rud převážně ve vysokých pecích, do nichž se zavážejí ještě struskotvorné přísady a palivo a vhání se horký vzduch. Zpracovává se zde také šrot, okuje a kyzové výpražky (odpad při výrobě kyseliny sírové).



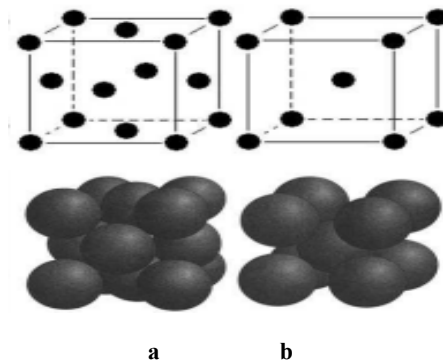
Obr.3.1: Celkový pohled na dvě vysoké pece

Železné rudy se před samotným zpracováním drtí v drtičích, třídí se a odlučuje se z nich hlušina (hlína, kameny).

Surové železa můžeme dělit na šedá, bílá a speciální. Šedá jsou měkká, snadno obrobitelná, nehodí se však k přímému lití, slouží především pro výrobu šedé litiny, výjimečně oceli. Bílá jsou naopak tvrdá, nesnadno se obrábějí, vyrábí se z nich hlavně ocel a také temperovaná litina. Speciální surová železa jsou feroslitiny, např. feromangan, ferosilicium, ferochrom, aj. Používají se jako přísady při výrobě oceli.

Železo se v závislosti na teplotě vyskytuje ve dvou krystalových (alotropických) modifikacích, které se s rostoucí teplotou mění v následujícím pořadí:

1. modifikace α (Fe) s krystalovou strukturou kubickou prostorově centrovanou, která je stabilní při teplotách nižších než 910°C
2. modifikace γ (Fe) s krystalovou strukturou kubickou plošně centrovanou, která je stabilní v teplotním rozmezí 910 - 1400°C
3. modifikace δ (Fe) s krystalovou strukturou kubickou prostorově centrovanou, která je stabilní v teplotním rozmezí 1400 - 1539°C (teplota tání)



Obr.3.2: a) kubicky plošně centrovaná mřížka; b) kubicky prostorově centrovaná mřížka

Z fyzikálních vlastností železa je ještě významné jeho feromagnetické chování, které vymizí při teplotách vyšších než 770°C (Currieho teplota).

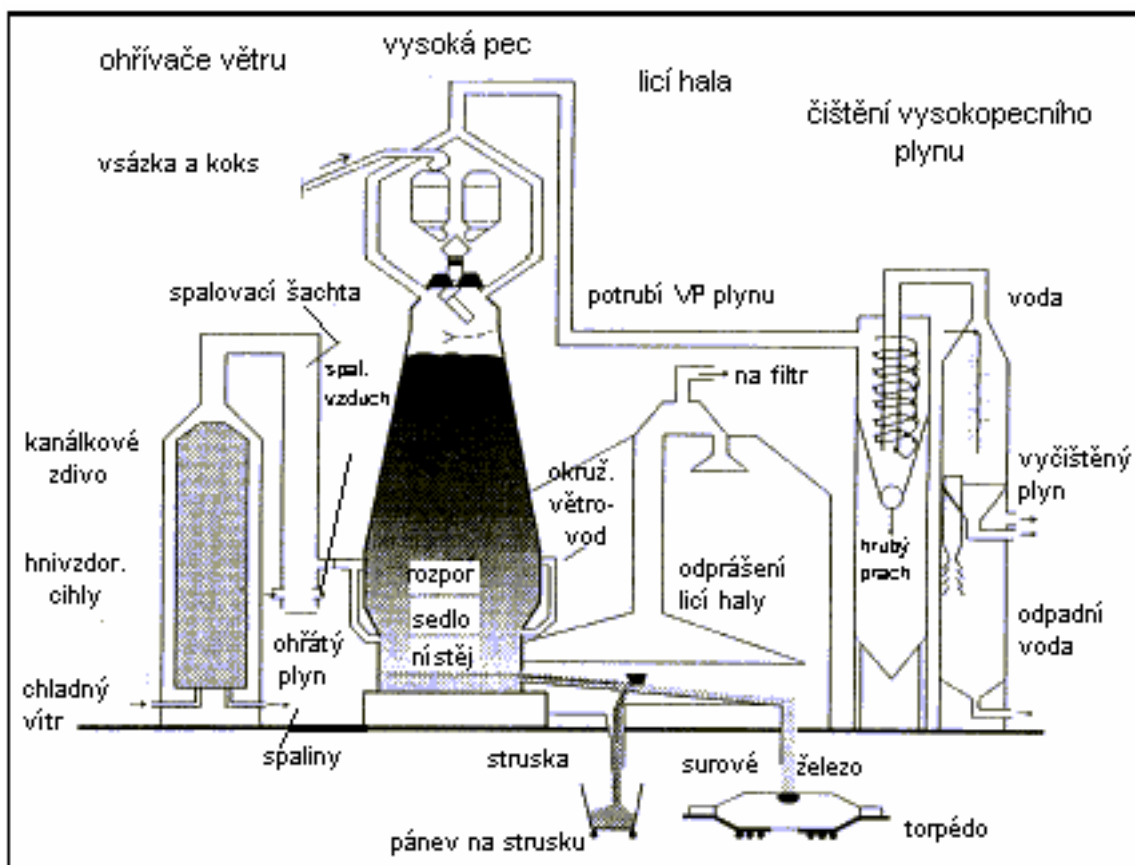
3.2 Výroba železa

3.2.1 Používané postupy

Vysoká pec zůstává zdaleka nejdůležitějším procesem výroby surového železa. A tato technika bude pravděpodobně v popředí nejméně příštích 20 let.

Vysoká pec je uzavřený systém, do kterého se zavážejí materiály obsahující Fe (kusová železná ruda, aglomerát nebo pelety), aditiva (struskotvorné přísady jako je vápenec) a redukční činidla (koks) a to plynule vrcholem pecní šachty pomocí zavážecího systému, který zabraňuje úniku vysokopecního plynu.

Obr. 3.3 ukazuje zjednodušené schéma vysoké pece, které obsahuje vlastní vysokou pec, lící halu, ohříváče větru a dvoustupňovou úpravu vysokopecního plynu.



Obr.3.3: Zjednodušené schéma vysoké pece

Horký dmýchaný proud vzduchu obohacený kyslíkem a pomocná redukční činidla (práškové uhlí, olej, zemní plyn a v několika případech i plasty) se injektují v úrovni výfučny a poskytují protiproud redukčních plynů.

Dmýchaný vzduch reaguje s redukčními činidly především za vzniku CO, který naopak redukuje oxidy Fe na kovové železo. Tekuté železo se shromažďuje v nístěji současně se struskou a obojí se pravidelně odlévá. Tekuté železo se přepravuje v torpédových pánvích do ocelárny a struska se zpracovává na přísady, do granulí nebo pelet pro stavbu silnic

a výrobu cementu. Vysokopecní plyn se shromažďuje ve vrcholu pece, upravuje se a rozesílá do provozů, kde se ho používá jako paliva pro vytápění nebo k výrobě elektřiny.

K dispozici jsou rozličná redukční činidla: uhlík (uhlovodíky) v podobě koksu, uhlí, oleje, zemního plynu nebo v současné době v některých případech také plasty, jsou obvykle dostupná v dostatečném množství při přijatelných nákladech.

Volba mezi několika redukčními činidly však není určena pouze náklady. Nehledě na působení jako redukční činidlo, slouží koks také jako nosná výplň objemu vysoké pece. Bez této nosné kapacity by vysokopecní operace nebyly možné.

Železná ruda dnes zpracovávaná obsahuje velké množství hematitu (Fe_2O_3) a někdy malé množství magnetitu (Fe_3O_4). Ve vysoké peci se tyto složky postupně redukují a přecházejí přes nižší oxidy (FeO) až k částečně redukované nahličené podobě pevného železa. Nakonec se vsázka železa taví, reakce spějí do závěrečného stupně a horká tavenina kovu a struska se shromažďují u dna. Redukující uhlík přechází na CO a CO_2 .

Tavidla a přísady se přidávají proto, aby se snížil bod tavení hlušiny, zlepšil přechod síry do strusky, zajistila se požadovaná jakost tekutého surového železa a umožnilo se další zpracování strusky.

Jak se vsázka vysoké pece pohybuje směrem dolů (klesá), stoupá její teplota, tudíž se usnadňují redukční reakce oxidů a tvorba strusky. Nastává řada změn ve složení vsázky:

- oxid železitý ve vsázce se postupně redukuje za vzniku železné houby až ke konečnému roztavenému surovému železu
- kyslík ze železné rudy reaguje s koksem za vzniku CO , nebo s CO za vzniku CO_2 , který se hromadí ve vrcholu pece
- složky hlušiny se spojují s tavidly a tvoří strusku. Tato struska je souborem směsi silikátů o nižší hustotě než je roztavené železo
- koks slouží především jako redukční činidlo, ale také jako palivo a opouští pec v podobě CO , CO_2 , nebo uhlíku obsaženém v surovém železe
- jakýkoliv přítomný vodík reaguje také jako redukční činidlo a reakcí s kyslíkem dává vodu.

Hlavní pochody jsou následující :

- zavážení surovin
- tvorba proudu horkého větru
- vysokopecní proces
- přímá injektáž redukčních činidel
- odlévání
- zpracování strusky

Zavážení

Směs surovin s obsahem železa (drť železné rudy, aglomerát a nebo pelety) a přísady (tavidla), se společně nazývají „vsázka“. Vsázka a doprovodný koks se zavážejí vrchem pece buď skipy, nebo mechanickými dopravními pásy.

Vsázka se vkládá do pece utěsněným zavážecím systémem, který izoluje pecní plyny od okolní atmosféry. Tento systém je nezbytný protože vysokopecní tlak je vyšší než atmosférický (0,25 až 2,5 barů). Zatímco mnoho nových velkých vysokých pecí má ve vrcholu tlak více než 2,5 baru, existují moderní pece, které pracují při tlacích mnohem nižších. Ty mohou dosáhnout až 0,25 barů v závislosti na stáří pece a ostatních omezujících faktorech, jakými je například dostupný tlak větru a konstrukce provozního zařízení na úpravu plynu.

Zatěsněný zavážecí systém může být zvonovým vsazováním, nebo bezzvonovou sazebnou. Některé hmotné částice a emise vysokopecního plynu se mohou objevovat již během vsazování. Odvádění plynu z vrcholu pece a jeho převedení do systému úpravy vysokopecního plynu lze v tomto stadiu procesu použít k regulaci emisí.

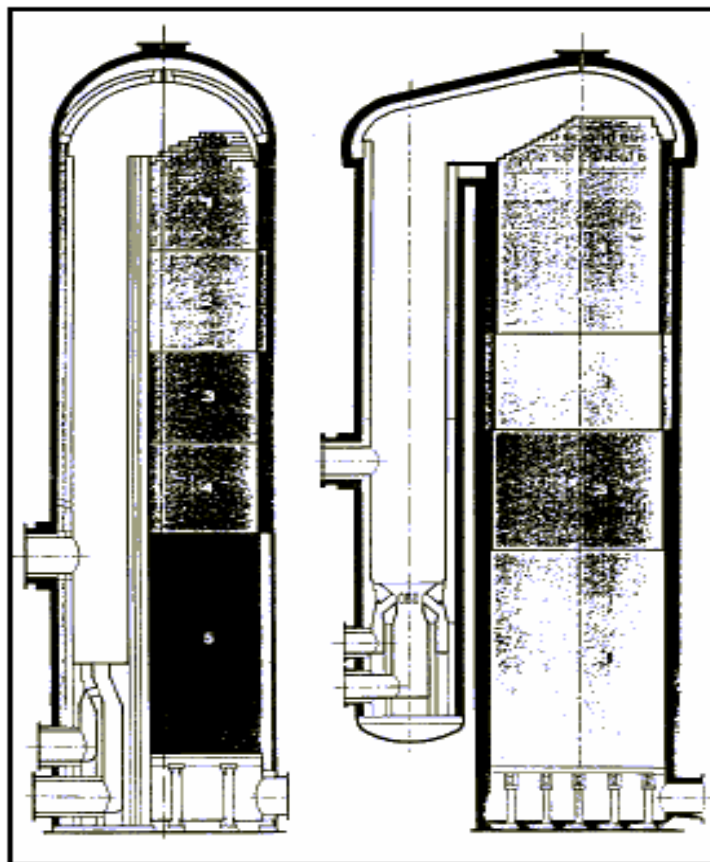
Ohříváče větru

Horký vítr pro vysokopecní operace poskytují ohříváče větru (někdy nazývané „vysokopecní kaupery“). Ohříváče jsou pomocným zařízením, které je schopno ohřát dmýchaný proud vzduchu.

Rostoucí teplota dmýchaného větru vede ke snížení potřeby uhlíku. Horký vzduch je zapotřebí k přenosu tepla do pevné vsázky, aby se zvýšila reakční teplota. Horký vítr také pomáhá při zajištění potřeby kyslíku pro zplynění koksu a při transportu plynu, který při styku se vsázkou redukuje oxidy železa.

Ohříváče se provozují cyklicky. Vyhřejí se hořícími plyny (běžně obohaceným vysokopečným plynem) až je v klenbové báni správná teplota (asi 1100 – 1500° C): spalování plynu se potom přeruší a přes větrovody se v opačném směru protlačí studený okolní vzduch. Studený vzduch se ohřeje o horké cihly a tak se vytvoří proud horkého vzduchu (900-1350 °C), který se zavádí do vysoké pece. Proces pokračuje, až ohříváče nemohou dále dosáhnout charakteristické teploty dmýchaného proudu plynu a původní ohřívací cyklus začíná znova. Trvání každého cyklu závisí na individuálních místních podmínkách, jakými může být např. zdroj energie, charakteristika systému a zavedená opatření.

Principiálně lze ohříváče větru jako takové klasifikovat buď jako interní, nebo externí podle toho, zda mají spalovací komorou zabudovanou uvnitř nebo ne (obr.3.4). Toto rozlišení je důležité pro emise CO



Obr.3.4: Příčný řez ohříváči větru (kaupery) s vnitřní a vnější ohřívací komorou

Pro jednu vysokou pec jsou potřeba 3-4 ohřivače větru. K emisím do ovzduší dochází během fáze vytápění ohřivačů.

3.2.2 Vysoké pece

Obecný popis

Suroviny vstupují do vysoké pece shora, zatímco produkty (tavenina železa a struska) se odpichují u dna pece. Pevná vsázka se pohybuje shora dolů a přitom se setkává se vznikajícím proudem horkého redukčního plynu. Na vrcholu pece, v kychtě, se vysokopecní plyn o zbytkové výhřevnosti shromažďuje a odvádí se k další úpravě.

Vysokou pec lze rozdělit na 6 teplotních zón :

- **Kychta:** V kychtě vysoké pece dochází k zavážení vsázky a odvádění vysokopecního plynu
- **Šachta:** V šachtě předává horký vysokopecní plyn své teplo pevné vsázce. Teplota vsázky vzrůstá proti teplotě okolí na cca 950 °C a oxidy železa se v této zóně částečně redukuje.
- **Rozpor** vysoké pece: Rozpor připojuje šachtu k sedlu vysoké pece. V této části roste teplota dále z 950 °C asi na 1250 °C. Nastává další redukce oxidů železa a začíná reakce s koksem.
- **Sedlo:** Reakce koksu pokračují v zóně sedla. Tvoří se tavenina železa a strusky.
- **Výfučny:** V této zóně se do pece zavádí proud horkého vzduchu pomocí řady výfučen (mezi 16 - 42). Výfučny jsou umístěny okolo horního obvodu nístěje a jsou propojeny velkou rourou (okružní větrovod) obtočenou okolo pece ve výšce sedla. Teplota tady může přestoupit 2000° C a oxidy se zcela zredukuje.
- **Nístěj:** Nístěj shromažďuje tekuté surové železo a strusku. Okolo nístěje jsou umístěny jeden až čtyři odpichové otvory, při čemž je jeden nebo dva v kteroukoliv dobu v provozu.

Šachta, rozpor, sedlo a pás výfučen mají typické chlazení vodou, nistěj se chladí vodou, olejem nebo vzduchem. Pec je vyžděna žáruvzdorným materiálem (nistěj mívá tloušťku přinejmenším až 1,5 m)

Produkce surového železa se u vysokých pecí pohybuje asi od 0,5 Mt/rok u malých a do téměř 4 Mt/rok u velkých pecí.

Plyn z kychty vysoké pece (VP plyn = vysokopecní plyn)

VP plyn obsahuje okolo 20-28 % CO, 1- 5 % vodíku, inertní složky (50-55 % N₂ a 17-25 % CO₂), něco síry a kyanidových sloučenin a velké množství prachu ze vsázky. Množství kyanidů může být zvlášť vysoké během dmýchání do vysoké pece; to však nastává jen čas od času a proto se do systému vkládají přísady, aby minimalizovaly tvorbu kyanidů.

Po vyčištění se vysokopecního plynu často používá jako paliva po obohacení koksárenským plynem nebo zemním plynem, které mají vyšší výhřevnost. Vysokopecní plyn lze také použít bez vylepšení např. do ohříváčů větru, pokud se použijí moderní hořáky nebo pro ohřev spalovacího vzduchu.

Zinek a olovo

Vysokopecní technologie využívá vysoce jakostní rudu. Jakékoliv doprovodné prvky se rozdělí mezi fázi horké taveniny kovu a strusku. Mezi ty, co přecházejí do horké taveniny kovu patří fosfor, síra, mangan a křemík.. Titan, hliník, vápník, hořčík a podstatná část křemíku a síry přecházejí do strusky jako oxidy nebo metaloidy.

Také je možné, že různé prvky těkají a ukládají se na různých částech vysoké pece. To je zejména případ zinku a olova, které se vnášejí do vysoké pece prostřednictvím rud a vedlejších produktů recyklovaných v aglomeračních závodech.

Celkové množství Zn ve vsázce běžně kolísá od 100 do 250 g/t vyrobeného surového železa. Z ryze praktické zkušenosti většina moderních závodů omezuje zinek na 100-150 g/t surového železa. Recyklované materiály s vysokým obsahem Zn nebo Pb se obvykle vyřazují, nebo se přijímají pouze v omezeném množství.

Odstraňování Zn a Pb z pece se provádí takovým způsobem, že se teplota ve středu pece udržuje nad 400°C. Zinek se potom pravděpodobně odstraní s kychtovým plynem jako jemné částičky ZnO, které se téměř úplně zachytí při úpravě vysokopecního plynu.

Přímá injektáž redukčních činidel

Většina vysokopecních zařízení injektuje redukční činidla do pece v úrovni výfučny. To částečně nahrazuje koks ve vsázce. Tento postup umožňuje provozovateli optimalizovat využití redukčních činidel. Dalšími výhodami jsou rostoucí výkony a snížení požadavků na koksovny, a tím následně i pokles měrných emisí z koksoven na tunu vyrobené oceli. Mnohé závody injektují práškové uhlí, olej nebo zemní plyn. Dvě společnosti začaly injektovat odpady plastů, využívajíce pro redukční procesy jejich vysokého obsahu uhlovdíků.

Odlévání

Vysoká pec se periodicky odpichuje, aby se z ní vypustila tavenina surového železa a struska. Za tímto účelem se otevře jeden z odpichových otvorů v postranní stěně níže pomocí průrazného vrtáku, nebo odpichové tyče. V některých případech se pro otevření odpichového otvoru používá kyslíkové trysky.

Vysoká pec má obvykle 1-4 odpichové otvory. Počet odpichových otvorů je dán kapacitou /velikostí vysoké pece.

V moderních vysokých pecích se tavenina železa i struska odpichují současně (charakteristické je, že struska začíná odcházet až po vypuštění horké taveniny). Struska a surové železo se následně oddělují v odlučovači strusky v lici hale, z něhož každý proud pokračuje svou vlastní cestou.

Tavenina surového železa odpíchnutá z vysoké pece proudí podél vyzdívky nebo nízko cementem vyloženými žlaby, obezděnými tepelně odolnou směsí karbidu hliníku nebo křemíku a odlévá se do pánví (přímo, nebo prostřednictvím sklopných žlabů).

Tyto pánve mohou být otevřené, nebo uzavřeného typu, nebo se jedná o torpédové vozy.

V tomto roztaveném stavu má kov teplotu přibližně 1440 – 1500 °C. Struska odpichnutá z pece proudí ve žlabech do závodu granulace, nebo do struskových pánví, či do otevřené jámy.

Na konci cyklu odlévání se odpichový otvor uzavře mechanicky injektováním jílovité směsi odolné ke specifickému teplu odpichového otvoru za použití tzv. „ucpávačky“.

Zpracování strusky

Množství vyrobené strusky je určeno použitou železnou rudou a množstvím tavidel, které se vyžadují, aby se dosáhlo potřebné jakosti surového železa. Strusku lze použít k mnohým účelům včetně materiálu pro stavbu silnic, přísad do cementu, jako tepelnou izolaci (minerální vlna) a náhradu cementu. V nynější době je cílem využít veškerou vysokopecní strusku, čehož bylo v mnohých případech již dosaženo.

V současnosti existují tři procesy, které se při úpravě vysokopecní strusky používají:

- granulace strusky
- zakládání strusky do jam
- peletizace strusky

Všechny procesy chlazení strusky mohou být doprovázeny vznikem sirovodíku, který zapáchá.

3.3 Systém železo – uhlík (18)

Je binární soustava železa a grafitu. V tekutém stavu jsou tyto dvě složky vzájemně dokonale rozpustné. Ochlazujeme-li některé ze slitin systému velmi pomalou rychlostí, nestačí to často k tomu, aby se uhlík v průběhu krystalizace vylučoval v elementární formě jako grafit a místo něho vzniká metastabilní karbid železe Fe_3C , který dostal metalografický název cementit. Jen za zvláštních podmínek lze dosáhnout zcela stabilní rovnováhy a to tehdy, jestliže dojde k rozpadu cementit podle vztahu:



Z těchto důvodů je tedy nutné zabývat se dvěma soustavami, a to:

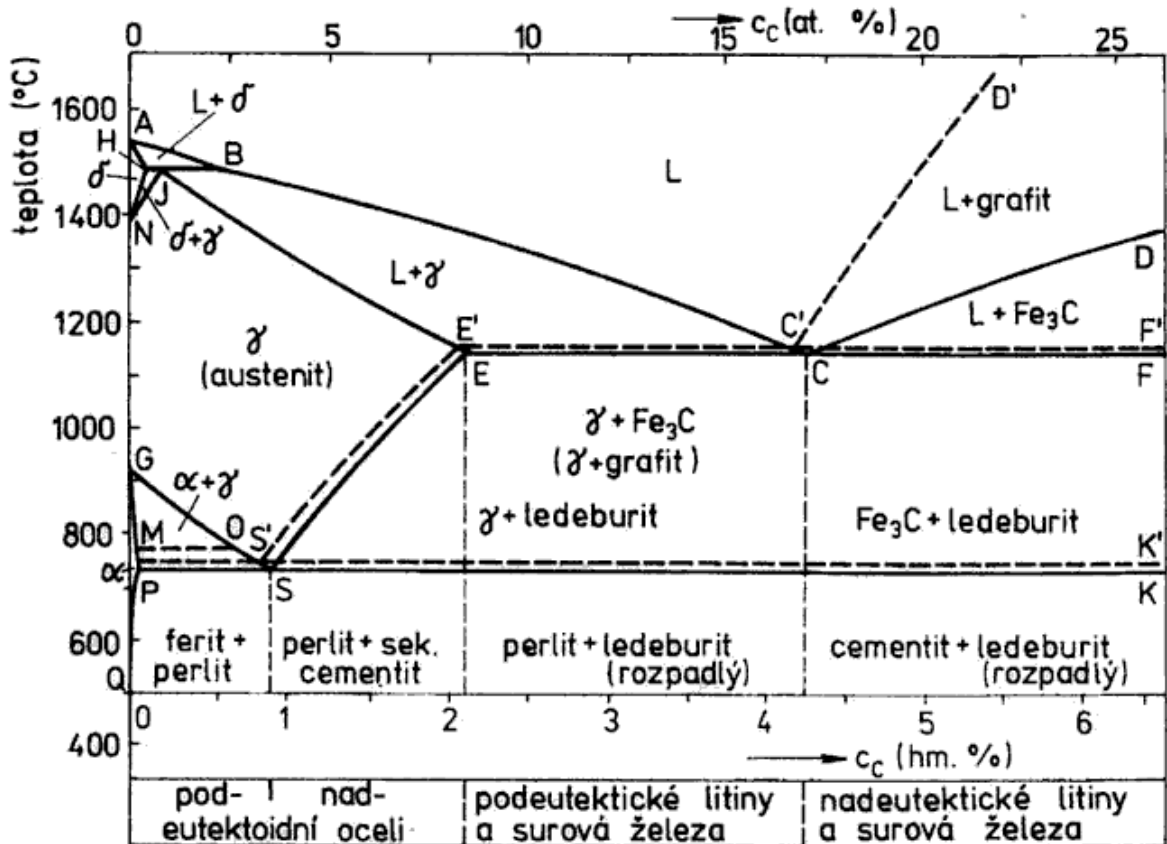
- a) Soustava metastabilní.....Fe - Fe₃C
- b) Soustava stabilní..... Fe – grafit

Obě soustavy tvoří základ pro studium velmi důležitých materiálů jako jsou ocele a litiny.

3.3.1 Metastabilní Fe – Fe₃C

Soustava železo – karbid železa je pro technickou praxi nejdůležitější, jelikož má význam především pro slitiny s menším obsahem uhlíku, tj. pro oceli.

Na diagramu lze sledovat průběh změn při ochlazování slitin železa s různým obsahem uhlíku. Při teplotách nad čarami ACD jsou všechny slitiny železa a uhlíku v tekutém stavu. Čáry ACD, zvané likvidus, udávají teploty začátku tuhnutí taveniny, čáry AEFC, zvané solidus, udávají teploty konce tuhnutí. Při teplotách pod čarami AEFC jsou všechny slitiny železa a uhlíku v tuhém stavu.



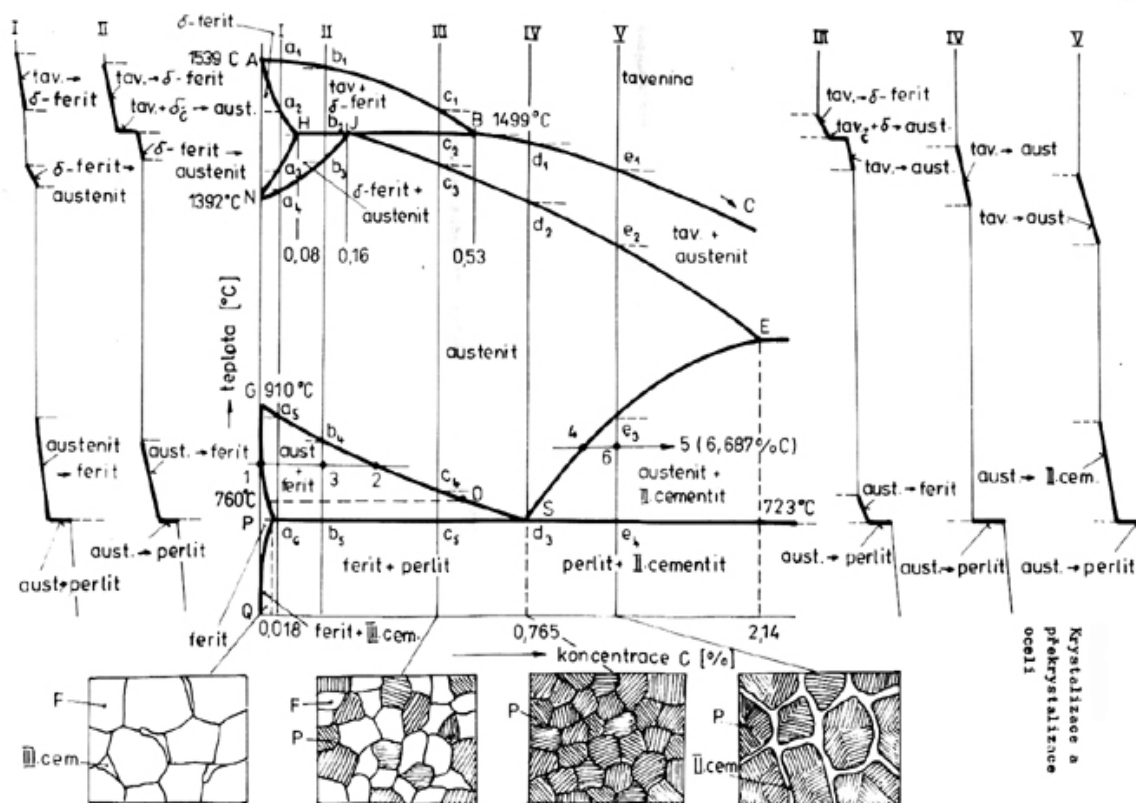
Obr.3.5: Rovnovážný diagram metastabilní soustavy Fe – Fe₃C

Ochlazuje-li se ocel s obsahem uhlíku 0,4% z tekutého stavu, začne tuhnout při dané teplotě, tj. z taveniny se začnou vylučovat krystaly tuhého roztoku uhlíku v železe „g“, kterým se říká austenit, a to až do teploty , kdy je již všechna ocel ztuhlá. Změnila se v austenit, který se nemění až do teploty 727 °C , kdy se z něho vylučuje čisté železo „a“, zvané ferit. Při teplotě 727 °C se zbylý austenit změní v perlit, tj. směs jemných krystalů feritu a cementitu. Čára GS udává teploty, kdy se z austenitu začne vylučovat ferit, a to až do teploty 727 °C. Dalším ochlazením se ferit již nemění.

Při ochlazování oceli s obsahem uhlíku 0,8 % se austenit nemění až do teploty 727 °C, kdy se všechno promění v perlit zvaný eutektoid.

U ocelí s obsahem uhlíku 0,8 % až 2,14 % se z austenitu při teplotách, které udává čára SE, začnou vylučovat krystaly cementitu (karbidu železa – Fe₃C), a to až do teploty 727 °C, kdy se zbylý austenit přemění v perlit, kdežto cementit se již nemění. Protože se cementit vyloučil až v tuhém stavu, říkáme mu sekundární čili segreganční.

Uvedené změny austenitu v perlit však nastanou jen při dostatečně pomalém ochlazení. U technických ocelí slitin železa s obsahem uhlíku 2,14 % až 4,3 % se do konce tuhnutí všechna tavenina v austenit nezmění a při teplotě 1 147 °C, dané čarou EC, její zbytek ztuhne v ledeburit a sekundární cementit. Při teplotě 727 °C se zase austenit změní v perlit, kdežto ledeburit a sekundární cementit se nezmění. Tavenina se 4,3 % uhlíku ztuhne najednou při teplotě 1 147 °C na ledeburit zvaný eutektikum. Z chladnoucí taveniny obsahující 4,3 % až 6,67 % uhlíku se při teplotách daných čarou CD začnou vylučovat krystaly primárního cementitu, a to až do teploty 1 147 °C, kdy zbylá tavenina ztuhne v ledeburit. Tento stav primární cementit – ledeburit zůstane beze změny i pod teplotou 727 °C. Čára ECF, zvaná eutektikála, udává teplotu 1 147 °C, při níž chladnoucí tavenina ztuhne v ledeburit.



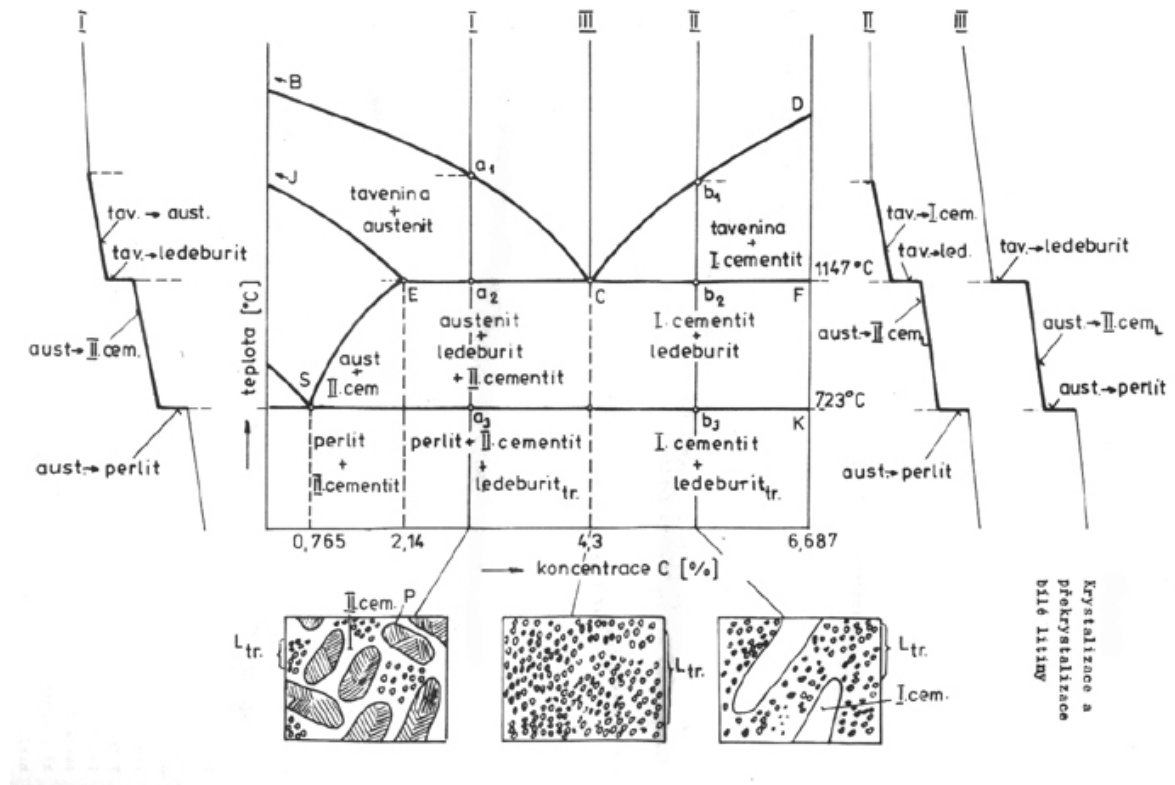
Obr.3.6: Krystalizace a překrystalizace ocelí

Čára MOSK udává teploty, při nichž ohřívaná slitina ztrácí magnetičnost.

Čára PSK, zvaná eutektoidála, udává teplotu 727 °C, při níž se z chladnoucí slitiny železa s obsahem uhlíku až do 4,3 % mění zbylý austenit v perlit. V oblasti teplot nižších než 727 °C se vyskytují různé strukturální složky. U ocelí s malým obsahem uhlíku, až do 0,8 %, jsou to krystaly feritu a perlitu. Těmto ocelím se říká podperlitické čili podeutektoidní. Protože jsou krystaly feritu a perlitu měkké, mají přirozenou měkkost i tyto oceli. Jsou to oceli konstrukční. Jejich významnou vlastností je houževnatost. Oceli s 0,8 % uhlíku jsou složeny jen z jemných krystalů perlitu (eutektoidu). Jsou to oceli perlitické neboli eutektoidní.

Oceli obsahující více než 0,8 %, ale nejvýš 2,14 % uhlíku, jsou oceli nadperlitické čili nadeutektoidní. Jsou složeny z jemných krystalů perlitu a z tvrdých krystalů sekundárního cementitu, mají přirozenou tvrdost a jsou dobře kalitelné. Jsou to oceli nástrojové.

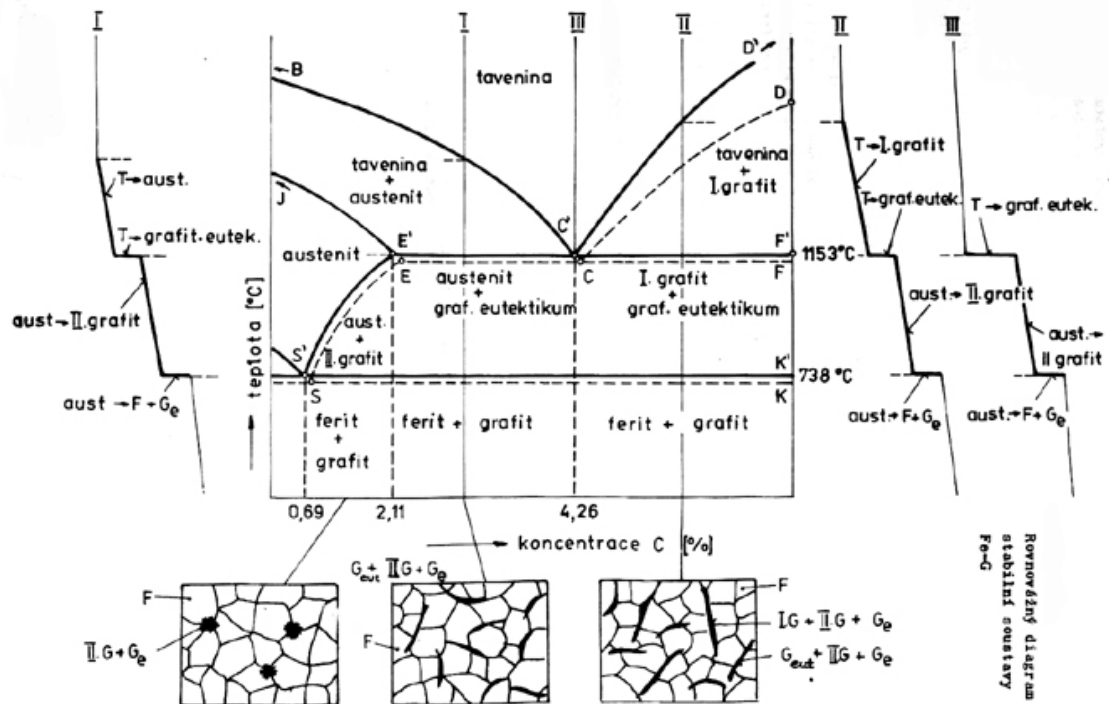
Slitina obsahující 4,3 % uhlíku je v pevném stavu složena pouze z krystalů ledeburitu (eutektikum).



Obr.3.7: Krystalizace a překrystalizace bílé litiny

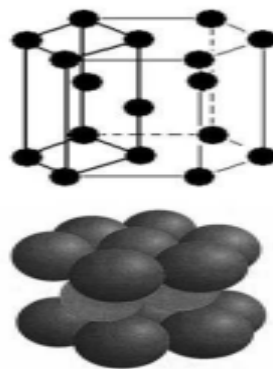
Slitiny s větším obsahem uhlíku než 4,3 % jsou složeny z krystalů ledeburitu a primárního cementitu. Litiny jsou poměrně velmi křehké a málo pevné, protože mají velký obsah uhlíku, buď v podobě grafitu (šedá litina), nebo cementitu (bílá litina). Základní strukturální složky ocelí jsou austenit, ferit a sekundární cementit. U surových želez a litin je to primární cementit a grafit. Ostatní strukturální složky jsou z těchto základních složek (např. perlit je složen z jemných krystalů feritu a cementitu) nebo z nich vznikají (např. martenzit) rychlým ochlazením austenitu při kalení oceli, temperový uhlík je rozpadem cementitu při temperování odlitků z bílého surového železa apod.). Ferit je nejměkčí a cementit nejtvrďší součástí technických slitin železa. Krystaly austenitu jsou měkké, houževnaté a tvárné. Proto se těchto vlastností využívá při tváření ocelí za tepla.

3.3.2 Stabilní Fe – C



Obr.3.8: Rovnovážný diagram stabilní soustavy Fe – C

Vidíme, že tento diagram se podobá diagramu metastabilnímu, pouze se poněkud liší teploty přeměn a obsahy uhlíku ve významných bodech. Dále se zde vyskytuje nová fáze, kterou je uhlík v modifikaci grafitu. Krystalová struktura grafitu je tvořena vrstvami s hexagonálním uspořádáním atomů uhlíku. Mezi jednotlivými vrstvami uhlíkových atomů působí poměrně slabé chemické vazby, a proto je grafit fáze měkká.



Obr.3.9: Hexagonální struktura uhlíku

Při práci se stabilním diagramem Fe – C je třeba rovněž vzít v úvahu, že na rozdíl od metastabilního diagramu, který je ukončen intermediální fází Fe_3C , končí stabilní diagram až čistým uhlíkem, i když se obvykle kreslí jen do 6,7%C. Tento fakt je třeba brát v úvahu zejména při aplikaci pákového pravidla.

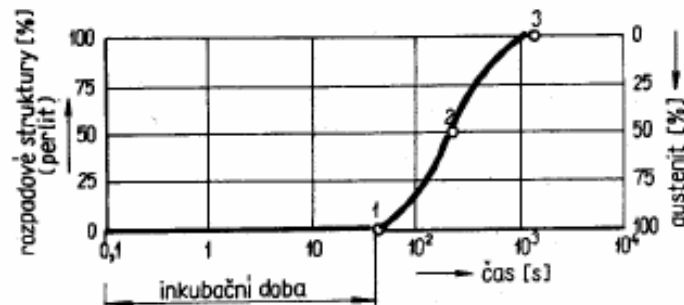
Jak bylo uvedeno, stabilní diagram využíváme zejména k popisu krystalizace litin, konkrétně grafitických litin. Chování slitin podle tohoto diagramu podporuje:

1. vyšší obsah uhlíku (litiny)
2. nižší ochlazovací rychlost
3. nízké obsahy karbidotvorných prvků
4. zvýšený obsah tzv. grafitizačních přísad (zejména Si)

3.3.3 Diagram IRA (izotermický rozpad austenitu) (26)

Slitina se ohřeje do oblasti austenitu, ponechá se na této teplotě dokud neproběhne úplná austenitizace a pak se prudce ochladí na určitou teplotu. Tu pak udržujeme konstantní a sledujeme rozpad austenitu v závislosti na čase.

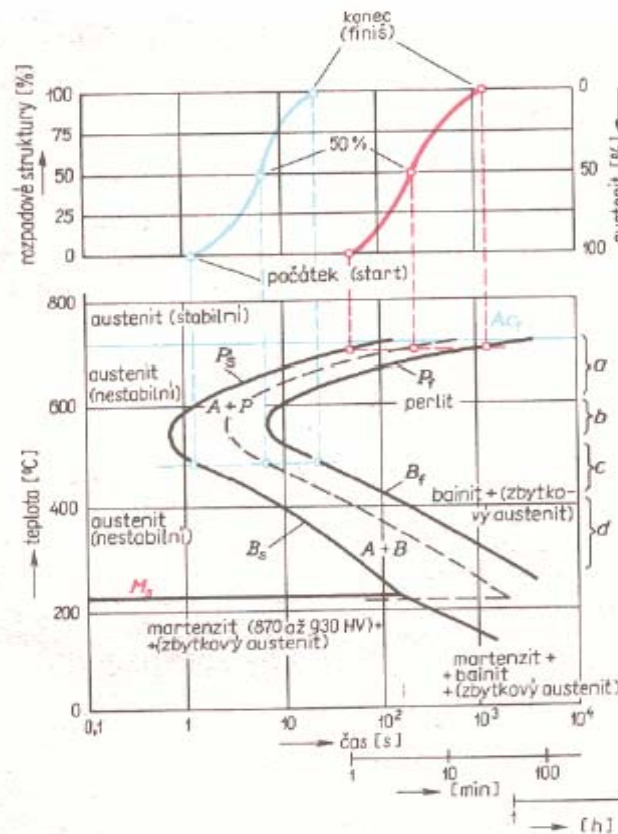
Celý děj je objasněn u eutektoidní oceli. Klesne-li u eutektoidní oceli teplota těsně pod Ar_1 , rozpadá se austenit na perlit, což je směs feritu a cementitu. Přeměna se řídí stejnými zákony jako krystalizace z tekutého stavu (tj. vznikem zárodků nové fáze a rychlostí růstu na těchto zárodcích). Proto přeměna austenitu na perlit trvá určitou dobu a průběh rozpadu můžeme pro danou teplotu vyjádřit křivkou závislosti procenta vzniklých rozpadových struktur na čase.



Obr.3.10: Křivka závislosti procenta vzniklých rozpadových struktur na čase.

Rozpad austenitu začne v bodě 1 až po tzv. inkubační době, která je nutná pro vznik zárodků nové fáze. Vlastní rozpad trvá určitou dobu a končí v bodě 3. Získáme-li tyto křiv-

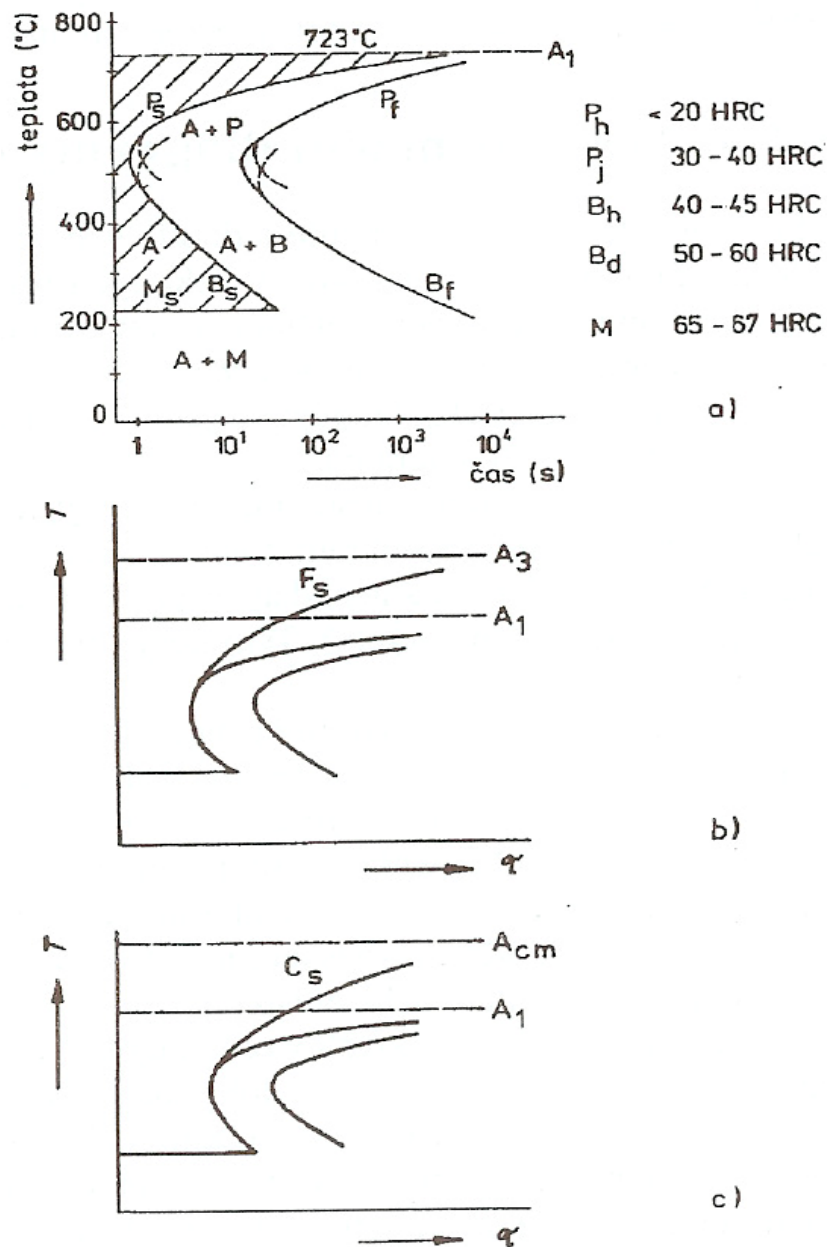
ky rozpadu při různých teplotách nižších než teplota A_{r1} a vyneseme-li počátky (start) a konce (finish) rozpadů z jednotlivých křivek do společného diagramu v závislosti na teplotě a čase, dostaneme diagram IRA neboli diagram izotermického rozpadu austenitu, eutektoidní oceli.



Obr.3.11: Diagram IRA

Z tohoto diagramu plyne, že rychlost rozpadu i inkubační doby jsou různé při různých teplotách. Nejkratší inkubační doba a doba rozpadu je při teplotě 550°C , kde křivky rozpadu tvoří tzv. nos.

- oblast hrubšího perlitu (HV=230)
- oblast jemného a velmi jemného perlitu (HV=290 až 340)
- oblast horního bainitu (HV=360 až 420)
- oblast spodního bainitu (HV=470 až 650)



Obr.3.10: Schéma izotermického rozpadu austenitu: a) eutektoidní, b) podeutektoidní a c) nadeutektoidní oceli. (P_h , P_j – hrubý a jemný perlit, B_h , B_d - hrubý a dolní bainit)

Perlitická přeměna

Za teplot nad nosem křivky rozpadu probíhá rozpad austenitu podle zákonů vzniku perlitu. Čím více se bude teplota rozpadu blížit k teplotě nosu křivky, tím *jemnější* bude vzniklý *lamelární perlit*. Čím více se bude teplota izotermického rozpadu blížit teplotě A_{r1} , tím bude perlit *hrubozrnější*.

Bainitická přeměna

Pod nosem křivky v důsledku snížené difúze probíhá rozpad austenitu odlišně od perlitické přeměny. Čím bude teplota izotermického rozpadu nižší, tím výrazněji vzniká z austenitu ferit (překrystalizace mřížky gama v alfa), a teprve potom vzniká z přesyceného feritu cementit.

Protože ferit vznikající v tomto teplotním rozsahu obsahuje navíc uhlík, tvoří takto přeměněný ferit *jehlicovité* útvary. Struktura, která takto vzniká pod nosem křivky, nazýváme *bainitem*. V důsledku této jehlicovité struktury se bainit vyznačuje značnou pevností a poměrně vysokou houževnatostí. Protože je výrazný rozdíl v mechanických vlastnostech bainitu vznikajícího těsně pod nosem a bainitu vznikajícího nad teplotou M_s , dělíme jej na ***horní s malou tvrdostí a pevností*** a na ***spodní s velkou tvrdostí a pevností*** (až nad 1500MPa). Bainitická přeměna se ukončí po určité době, i když zůstane určitý podíl austenitu nepřeměněn. Tomuto austenitu říkáme ***zbytkový austenit***, který snižuje pevnost bainitu. Množství zbytkového austenitu je závislé na složení oceli.

Martenzitická přeměna

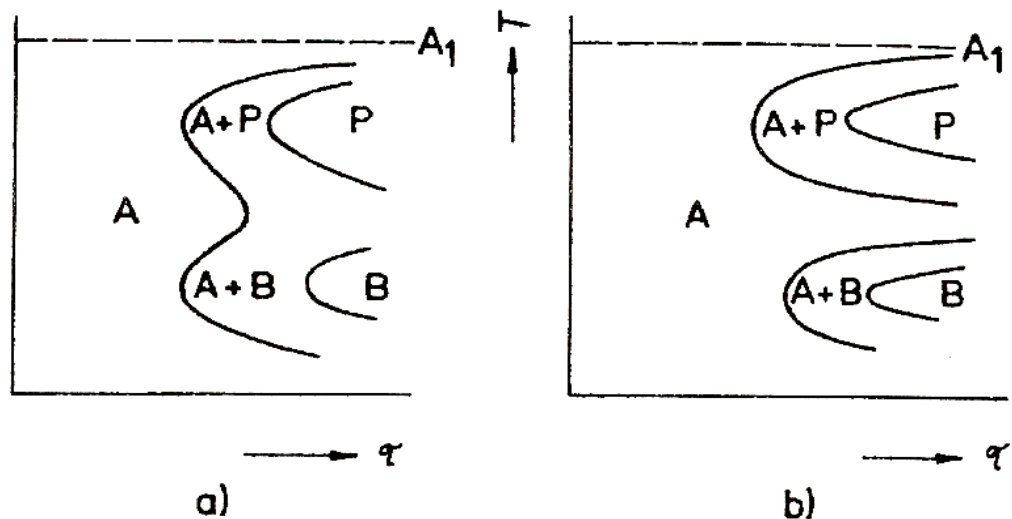
Ochladíme-li prudce austenit na teplotu pod M_s , jsou zcela potlačeny difúzní jevy a proběhne pouze přeměna mřížky gama na alfa. V důsledku toho zde zůstane uhlík uzavřen v mřížce α železa a vyvolává v mřížce vysoké pnutí, popř. její deformaci, což se navenek projeví ***velkou tvrdostí a křehkostí***. Takto vzniklá struktura se nazývá *martenzit*. Martenzitická přeměna není závislá na čase a podobně jako u bainitu i u martenzitu se vyskytuje ***zbytkový austenit***, který se ani při dalším snížení teploty nerozpadne. U eutektoidní oceli leží teplota M_f pod bodem mrazu.

Vliv slitinových prvků na diagram IRA

Tvar a poloha křivek diagramu IRA jsou ovlivněny chemickým složením a stavem austenitu. Přísadové prvky rozpuštěné v austenitu, s výjimkou hliníku a kobaltu, zvyšují jeho stabilitu → posouvají křivky počátků a konců difúzních přeměn austenitu doprava.

Prvky rozpustné ve feritu (Ni, Si, Cu,...) nemění tvar diagramu. Karbidotvorné přísady (Mo, Cr, W, V,...) mění tvar diagramu, oddalují od sebe totiž perlitickou a bainitickou

oblast. Diagramy IRA, legované těmito prvky mají proto dva „nosy“, které odpovídají perlitické a bainitické přeměně.

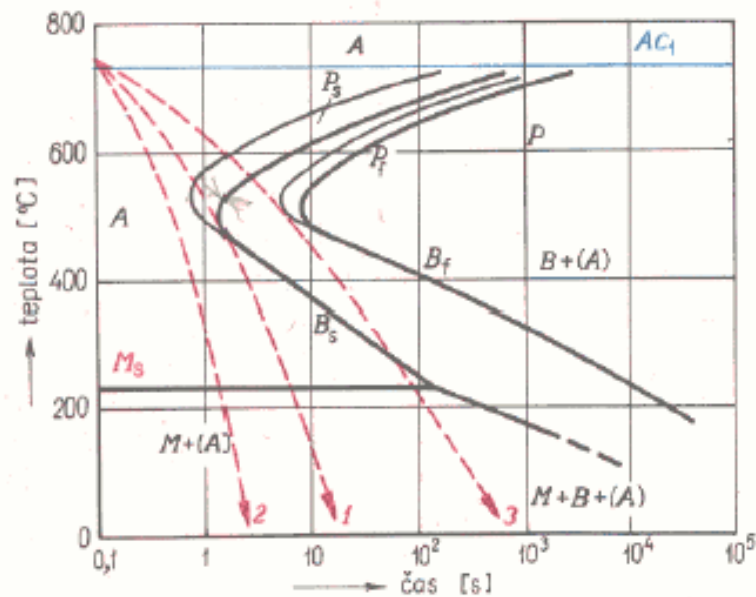


Obr.3.11: Schématické znázornění vlivu karbidotvorných prvků na tvar diagramu IRA pro jejich: a) nízký obsah; b) vysoký obsah

3.3.4 Diagram ARA (anizotermický rozpad austenitu) (26)

Slitina se z austenitizační teploty plynule ochlazuje (v praxi nejčastější případ) a sleduje se průběh rozpadu.

Anizotermický rozpad austenitu nastává při plynulém ochlazování. Přeměny probíhají podobně jako při IRA. Výsledná struktura je však tvořena směsí rozpadových struktur, vznikajících při různých teplotách podle rychlosti ochlazování. Stejně jako u IRA lze i pro anizotermický rozpad zjistit pro každou rychlost ochlazování průběh rozpadu, tj. počátek a konec jednotlivých přeměn. Z nich pak sestojíme diagram ARA. Při plynulém ochlazování se perlitická přeměna posouvá k delším časům, jinak jsou si diagramy IRA a ARA podobné. Do diagramu ARA jsou vyneseny ochlazovací rychlosti, které mají zvláštní význam. Čím je rychlost ochlazování vyšší, tím je křivka, která ji znázorňuje, strmější.



Obr.3.12: Schéma diagramu anizotermického rozpadu austenitu eutektoidní oceli se zakresleným diagramem IRA

Dle křivky 1:

Austenit zůstane zcela zachován až do teploty M_s , pod níž dojde k martenzitické přeměně. Proto tuto rychlost nazýváme **horní kritickou rychlostí ochlazování**, neboť **je to nejnižší rychlost podmiňující vznik prakticky jen martenzitické struktury**. Bude-li rychlost ochlazování menší než dle křivky 1, pak příslušná křivka protne čáru P_s a část austenitu se rozpadne na perlit a bainit a teprve zbytek na martenzit.

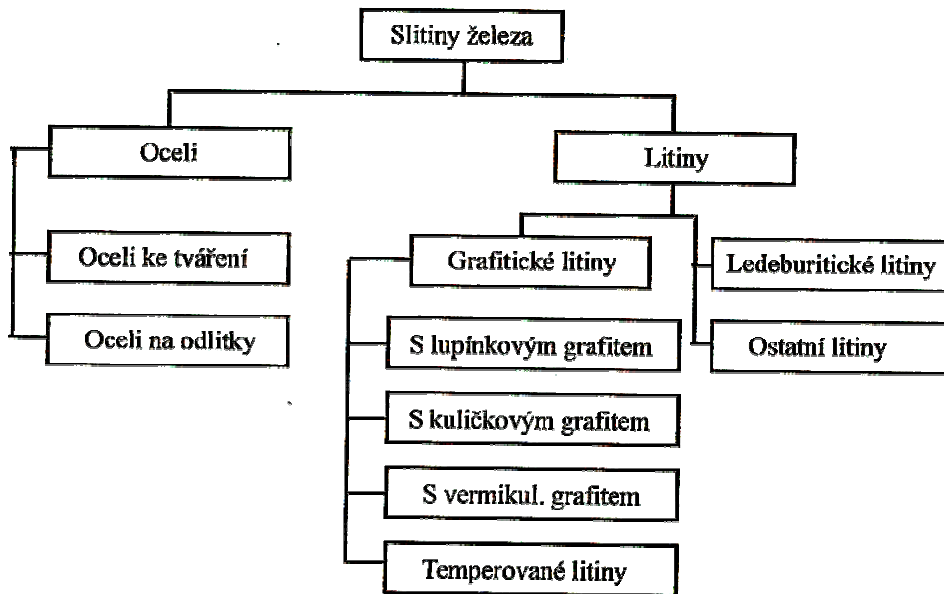
Rychlost křivky 3:

je **spodní kritickou rychlostí ochlazování**, protože **při větší rychlosti se ve struktuře objeví martenzit**.

Křivka 2:

Odpovídá přibližně rychlosti ochlazování na povrchu předmětu po ponoření do vody (350°C/s).

3.4 Slitiny železa

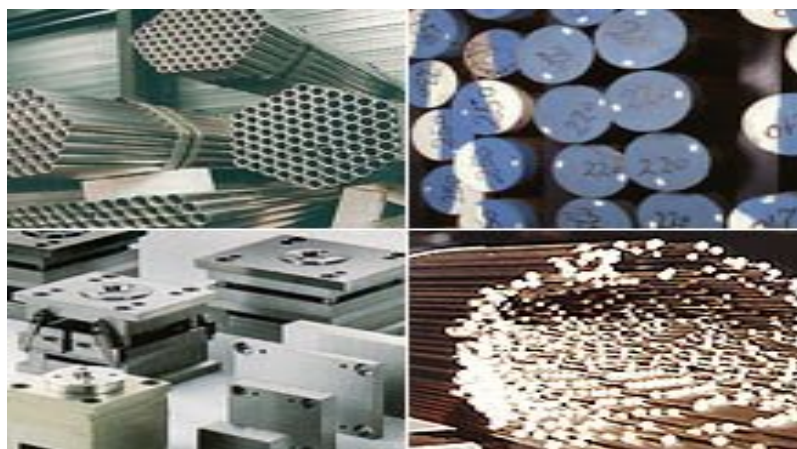


Obr.3.10: Schéma rozdělení slitin železa

3.4.1 OCELI

3.4.2 Úvod (16)

Ocel je slitina železa s uhlíkem, která obsahuje méně než 2,11% uhlíku. V praxi jsou jako ocele označovány slitiny které obsahují převážně železo a které je možno tvářet. Při obsazích uhlíku vyšších než 2,11% se hovoří o litinách. Zde je uhlík vyloučen jako grafit nebo cementit. Může se vyskytovat ve více fázích, které popisuje fázový binární diagram železo-uhlík.



Obr.3.11: Ocele

3.4.3 Vlastnosti ocele

Ocele jsou nejčastěji používanými kovovými materiály. Legováním uhlíkem a dalšími prvky a kombinací tepelného a tepelně-mechanického zpracování je možno ovlivnit vlastnosti ocele v širokém rozmezí a tak jejich vlastnosti přizpůsobit zamýšlenému použití. Strukturní složky jsou popsány v binárním diagramu železo-uhlík. Hustota ocele je $7,85 \text{ g/cm}^3$.

Výchozím materiálem pro výrobu ocele je zpravidla surové železo vyrobené ve vysoké peci redukcí oxidů železa obsažených v železné rudě. Ruda, koks a vápenec jsou vsazovány do vysoké pece a zde za vysokých teplot redukovány a taveny. Železo a struska jsou periodicky odebírány z vysoké pece a buďto odlévány do tzv. *housek* nebo jako tekutý kov transportovány přímo do oceláren

Obsah uhlíku v surovém železe je příliš vysoký a proto je nutné jej oxidačním procesem v ocelářských zařízeních snížit. Toho se docíluje oxidací uhlíku buďto kyslíkem ze vzduchu (Thomasův nebo Bessemerův konvertor), profoukáváním kyslíkem (LD konvertor) nebo přísazováním železné rudy a ocelového odpadu do taveniny v nístějových pecích (Siemens-Martinův proces, elektrická oblouková pec). Po oduhličení a přísazení legujících prvků je tavenina odlévána do ingotů v kokilách nebo kontinuálně odlévána. Takto vyrobený polotovár je potom výchozím materiálem pro další zpracování válcováním nebo kováním.

Rozlišujeme tzv. uklidněné a neuklidněné ocele. U uklidněných ocelí je rozpuštěný kyslík vázán přísadou hliníku (Al) nebo křemíku (Si). V současné době je ocel vyráběna převážně v tzv. integrovaných hutních provozech, kde je koncentrována celá výroba od surového železa přes ocelárnu a válcovnu až k hotovému polotovar. Rozšířeny jsou i tzv. miniocelárny, kde je ocel vyráběna z ocelového odpadu v elektrických pecích a odlévána v kontinuálním licím zařízení na *bramy*, *sochory* apod. Ocelové polotovary jsou dále zpracovány ve válcovnách na drát, plech, nosníky, kolejnice, profily, které jsou široce používány v průmyslu, stavebnictví atd. Část těchto polotovarů slouží jako výchozí materiál pro výrobu výkovek v kovárnách.



Obr.3.12: Vysoká pec pro výrobu železa Ostrava

3.4.4 Druhy ocelí

V současné době je vyráběno asi 2 500 druhů ocelí. V normách (ČSN, DIN, atd.) jsou ocele rozděleny do skupin jednak podle chemického složení, jednak podle struktury a mechanických a fyzikálních vlastností.

Rozdělení ocelí podle chemického složení

- **Nelegované oceli** - Zvané také uhlíkové oceli. Obsah legujících prvků je nižší než 2%. Zpravidla nejsou tepelně zpracovány.
- **Nízkolegované oceli** - Obsah legujících prvků po odečtení obsahu uhlíku je nižší než 5%. Mají podobné vlastnosti jako oceli nelegované, ale jsou vhodné pro tepelné zpracování. Tepelným zpracováním je u nich možno ovlivnit mechanické vlastnosti.
- **Vysoce legované oceli** - Obsah legujících prvků je vyšší než 5%. Kombinací legujících prvků se dosahuje potřebných mechanických, fyzikálních a chemických vlastností.

Rozdělení podle oblastí použití

- **Stavební ocel** – jsou zpravidla nelegované oceli používané ve strojírenství, stavbě budov apod.
- **Automatové ocel** – jsou oceli s přísadou síry nebo olova a snadným lomem třísky při obrábění.
- **Betonářská ocel** – na armovací drát nebo tyče ve stavebním průmyslu. Většinou nelegované nebo nízko legované ocele.
- **Oceli na pružiny** – musí vykazovat dobré statické a dynamické vlastnosti. Vhodné jsou zde nelegované oceli s vyšším obsahem uhlíku a oceli slitinové se zvýšeným obsahem manganu a chromu.
- **Ocel k cementování** – do této skupiny patří oceli s nízkým obsahem uhlíku, které mají i po kalení dobré plastické vlastnosti. Vysoké tvrdosti povrchu se dosahuje obohacením povrchových vrstev uhlíkem před kalením.
- **Ocel pro elektrotechnické plechy** – pro výrobu jader transformátorů a točivých strojů musí mít charakteristické magnetické vlastnosti, ale současně také schopnost k technologickému zpracování. Těmto účelům nejlépe vyhovují oceli s obsahem 1 až 4,5% křemíku (Si) a s minimálním obsahem uhlíku a dalších doprovodných prvků.
- **Hlubokotažné ocele** – jsou používány na výrobu hlubokotažných plechů. Plechy musí vykazovat především dobré plastické vlastnosti. Tyto oceli jsou nízkouhlíkové s minimálním obsahem doprovodných prvků. Zlepšení mechanických vlastností a jejich stability se dosahuje mikrolegováním hliníkem, titanem, vanadem, borem, zirkoniem a niobem. Jsou to zejména materiály pro karosářské plechy.
- **Ocel k zušlechťování** – oceli se středním obsahem uhlíku, které se po kalení popouštějí na vyšší teploty, aby se dosáhlo vysoké houževnatosti při zachování dobré pevnosti.
- **Antikorozní a žáruvzdorné ocele** – vyrábějí se jako austenitické, nebo feritické oceli. Feritické obsahují minimálně 10% chromu, austenitické jsou

ještě legovány niklem. Austenitické oceli jsou za pokojové teploty nemagnetické.

- **Nástrojové ocele** – jsou většinou slitinové středně a vysocelegované ocele s vyšším až vysokým obsahem uhlíku a používají se na výrobu nástrojů a forem.

Poznámka: *Damascenská ocel* - tak je označován materiál na výrobu šavlí, mečů ap. Je znám svou vysokou pružností a pevností. Tento materiál však není jedním druhem oceli, ale sestává z různých druhů oceli, které jsou svařeny v ohni a kováním.

3.4.5 LITINY (27)

3.4.6 Úvod

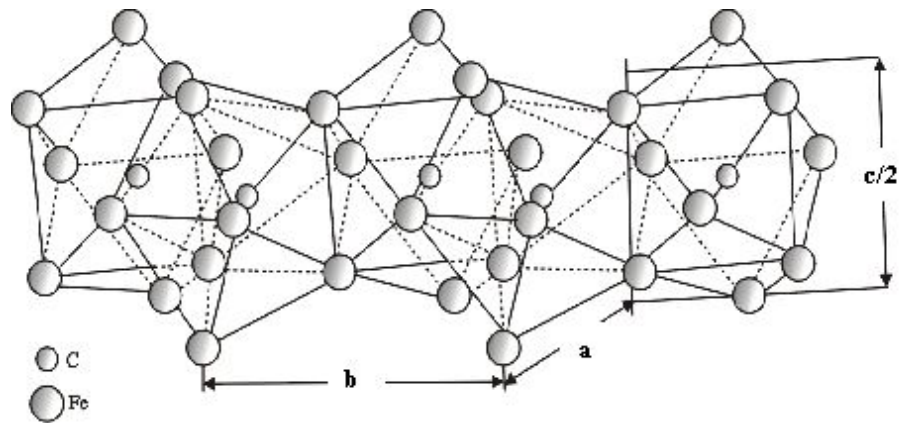
Litiny jsou slitiny železa, uhlíku a doprovodných prvků (žádoucích i nežádoucích), kde obsah uhlíku je nad 2 hm%, když součet všech doprovodných prvků nepřesáhne 2%.

Uhlík patří mezi nekovy a podle toho v jaké formě se vylučuje, přímo ovlivňuje vlastnosti slitin na bázi železa. V soustavách železo – uhlík tvoří tento prvek samostatnou fází. Vylučuje se ve formě cementitu (karbid železa Fe_3C) v metastabilní soustavě (Fe- Fe_3C) nebo ve formě grafitu (čistý uhlík) v soustavě stabilní (Fe-C).

Jsou to materiály určené výhradně na výrobu odlitků. Různé předměty z litiny se odlévaly již v Číně zhruba ve 4.stol. př.n.l. Do Evropy se jejich výroba dostala až ve 14.stol. n.l. V poslední době výroba slitin železa upadá, ale i tak jsou jednou z nejdůležitějších skupin kovových materiálů.

3.4.7 Cementit

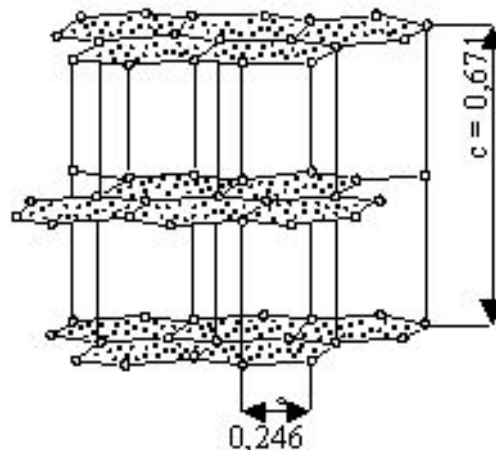
Je typická intermediární fáze s obsahem 6,68 hm.%C. Krystalizuje v orthorombické soustavě (Obr.3.13). Je velmi tvrdý (800 HV) a křehký a do teploty 217 °C je feromagnetický. Z termodynamického hlediska je fází metastabilní a za vhodných podmínek se rozpadá na železo a grafit podle rovnice (3.1). Tento proces je znám pod pojmem přímá grafítizace.



Obr.3.13: Krystalická mřížka cementitu

3.4.8 Grafit

Je čistý uhlík a krystalizuje v hexagonální soustavě (Obr.3.14). Je měkký a jeho tvárnost a pevnost jsou v porovnání s čistým železem nepatrné. Z hlediska termodynamického jde o fázi stabilní.



Obr.3.14: Krystalická mřížka grafitu

3.4.9 Bílá litina

U bílé litiny je veškerý uhlík přítomen ve formě cementitu (Fe_3C). název „bílá“ vznikl z charakteristického bílého zbarvení lomové plochy litiny. Tuhnutí i přeměny v tuhém stavu u bílé litiny probíhají podle metastabilního diagramu $\text{Fe}-\text{Fe}_3\text{C}$. produktem eutektické přeměny je eutektikum $\gamma+\text{Fe}_3\text{C}$, které se nazývá **ledeburit**.

Bílé litiny obsahují cca 2,4-4,5%C. Vznik cementitu v litinách podporuje vyšší ochlazovací rychlost při tuhnutí, přítomnost karbidotvorných prvků, zejména manganu (0,4–1%)

a nižší obsah křemíku (0,3–1,6%). Vzhledem k vysokému obsahu tvrdého karbidu železa Fe_3C jsou bílé litiny velmi tvrdé, křehké a prakticky neobrobitelné. Používají se na součástky extrémně namáhané třením, jako jsou čelisti drtičů nebo koule v kulových mlýnech. Jejich hlavní využití je však jako výchozí materiál pro výrobu temperované litiny.

3.4.10 Grafitické litiny

Grafitické litiny jsou mnohem významnější než bílé litiny. V těchto litinách probíhá tuhnutí podle stabilního diagramu Fe-C. Znamená to, že při eutektické reakci vzniká austenit a grafit, tzv. grafitické eutektikum $\gamma+\text{C}$. Jejich vlastnosti závisí na množství, tvaru a velikosti grafitických útvarů a na typu kovové matrice, ve které je grafit rozložený.



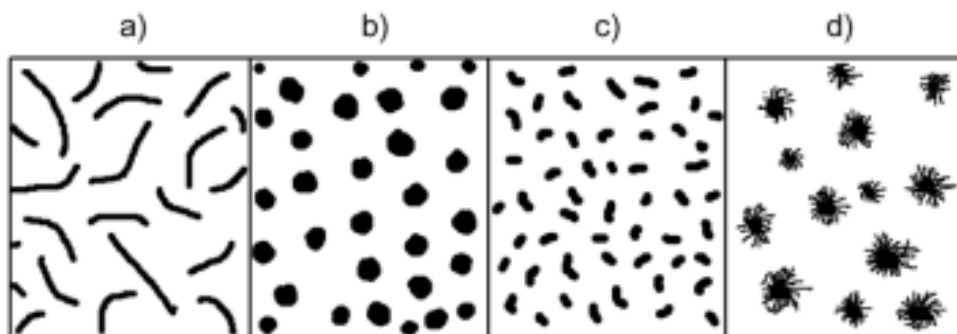
Obr.3.15: Grafit v=1000x

Vznik grafitu při tuhnutí litiny podporuje vyšší obsah křemíku, nižší obsahy karbidotvorných prvků a nižší ochlazovací rychlost. Další přeměny austenitu v tuhém stavu mohou probíhat různě, tzn. jak podle stabilního, tak i podle metastabilního diagramu.

V prvním případě se austenit rozpadá eutektoidní reakcí na směs feritu a grafitu (tzv. grafitický eutektoid). Grafit vzniklý touto reakcí se naváže na již existující částice eutektického grafitu a výsledkem je litina s čistě feritickou matricí. Ve druhém případě vznikne při eutektoidní reakci perlit a grafitická litina bude mít perlitickou matrici. Velmi často se u grafitických litin vyskytují obě složky a tyto litiny tedy mají feriticko-perlitickou matrici.

V grafitických litinách mohou mít částice eutektického grafitu různý tvar v závislosti na chemickém složení a podmínkách výroby. Podle tvaru grafitu pak rozlišujeme litinu s lupínkovým grafitem, litinu s kuličkovým grafitem a litinu s vermikulárním (červíkovitým) grafitem. Posledním typem je litina s vločkovým grafitem (temperovaná), u níž však grafit nevzniká při tuhnutí, ale tepelným rozkladem cementitu v bílé litině.

Jednotlivé druhy litin lze srovnat dle mechanických a jiných vlastností. V pořadí litina s lupínkovým grafitem (šedá litina), litina s červíkovitým grafitem (vermikulární litina) a litina s kuličkovým grafitem (tvárná litina); se pevnost v tahu a modul pružnosti zvyšuje, stejně tak houževnatost a tažnost, naopak slévatelnost či obrobitelnost se zhoršují.



Obr.3.16: Morfologické typy grafitických částic v grafitických litinách

a) litina s lupínkovým grafitem; b) litina s kuličkovým grafitem; c) litina s vermikulárním grafitem; d) litina s vločkovým grafitem

Mechanické vlastnosti závisí nejen na tvaru a velikosti grafitu, ale i na matrici. Se zvyšujícím se podílem perlitu ve struktuře narůstají pevnostní charakteristiky a naopak tažnost či houževnatost klesají. Konkrétní údaje poskytuje tabulka uvedená níže.

Tab.3.1 Mechanické vlastnosti litin

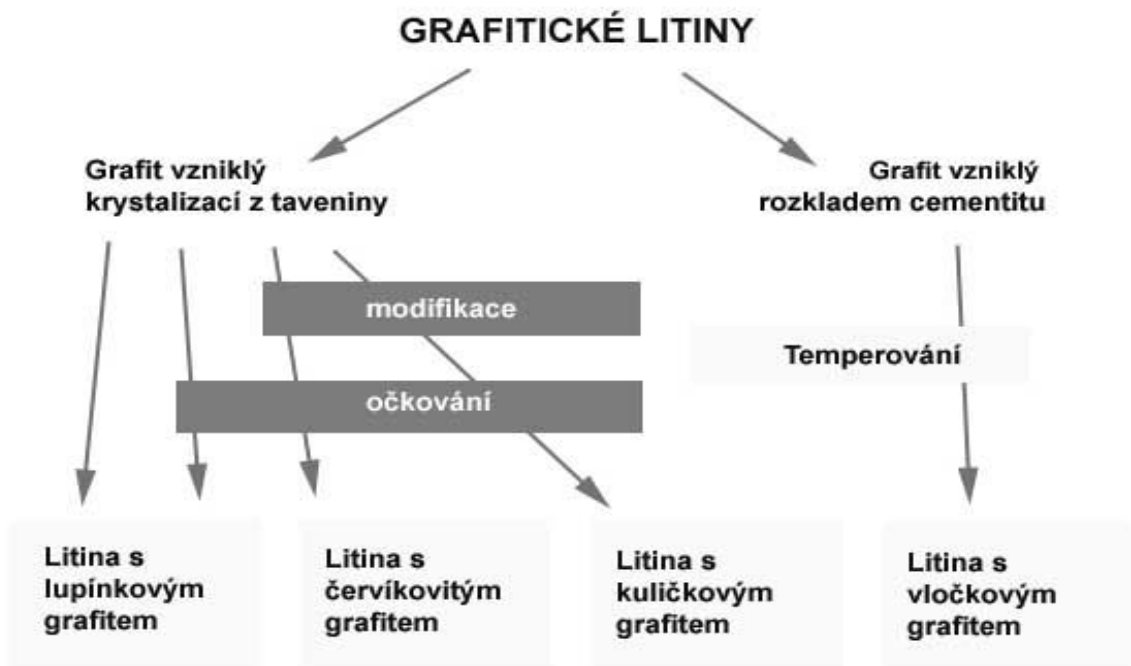
Litiny	Feritická matrice	Feriticko-perlitická matrice	Perlitická matrice
Litina s lupínkovým grafitem	100-155HB R _m =100-200MPa	120-195 HB R _m =150-300MPa	145-215 HB R _m =250-350MPa
Litina s kuličkovým grafitem	R _m =350-400MPa A=15-22%	R _m =400-600MPa A=3-10%	R _m =600-900MPa A=2%
Litina s vermikulárním grafitem	Mechanické vlastnosti leží mezi litinou s lupínkovým a kuličkovým grafitem.		
Temperovaná litina s bílým lomem	R _m =350- 550MPa A=4-12% 200-250HB		
Temperovaná litina s černým lomem	R _m =350-800MPa A=1-10% 140-320HB		

Uhlík v grafitických litinách se vyskytuje ve dvou formách; tzv. uhlík volný a uhlík vázaný. Uhlík volný je grafit a uhlík vázaný je rozpuštěn v základní kovové hmotě (v matrici). Z toho plyne: $C_{\text{celk}} = C_{\text{grafit}} + C_{\text{matrice}}$.

To, jestli bude daná slitina krystalizovat dle stabilní či metastabilní soustavy, závisí na několika faktorech:

- **Obsah uhlíku:** zvyšování obsahu uhlíku podporuje vylučování grafitu, to se ale projeví při obsazích nad 2 hm%C.
- **Rychlost ochlazování:** při pomalém ochlazování vznikne stabilní rovnováha a naopak při rychlém ochlazení vznikne cementit.
- **Obsah dalších prvků:** zvyšující se obsah tzv. grafitotvorných prvků (Si, P, Al) podporuje vylučování grafitu a zase některé prvky (Mn, S) podporují vznik cementitu.

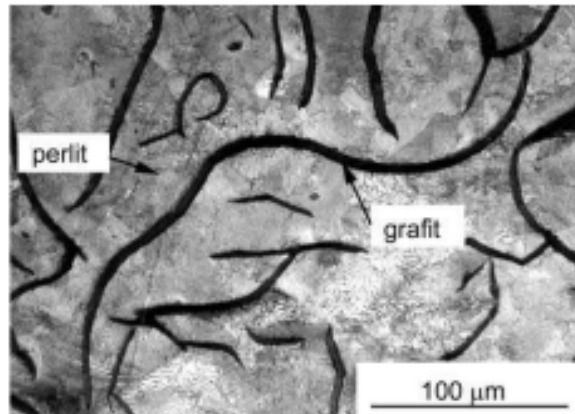
Grafit může vznikat krystalizací z taveniny nebo grafitizací cementitu v tuhém stavu. Krystalizace grafitu se může ovlivnit úpravou taveniny přidáním látek, které ovlivňují počet krystalizačních zárodků (očkování) nebo tvar zárodků (modifikace), viz Obr. 3.16 .



Obr.3.17 Základní druhy grafitických litin

Litina s lupínkovým grafitem (šedá litina)

Lupínkový grafit je základním morfologickým typem grafitu. Litina s lupínkovým grafitem, neboli šedá litina je nejstarším a nejběžnějším typem grafitické litiny. Obvyklé složení šedých litin bývá 2,8-3,6%C; 1,4-2,8%Si; 0,5-1%Mn; 0,2-0,5%P; max. 0,15%S.



Obr.3.18: Mikrostruktura litiny s lupínkovým grafitem (šedé litiny) s perlitickou maticí

Litina s lupínkovým grafitem je velmi levný materiál, nenáročný na chemické složení s výbornou slévatelností a kluznými vlastnostmi. Jistou nevýhodou je poměrně nízká pevnost (max. 400 MPa) a tažnost (méně než 1%).

Pokud je matrice litiny feritická, litina má nejnižší tvrdost a pevnost. Feritická matrice vzniká při nízké ochlazovací rychlosti a při zvýšeném množství křemíku. Ve většině případů je však vyžadována vyšší pevnost a tvrdost a toho lze dosáhnout, pokud je matrice perlitická. Perlitická matrice vzniká při vyšší ochlazovací rychlosti a podporují ji rovněž malá množství prvků, jako jsou Cu, Cr, Mo, Ni, Sn . Vedle grafitu a perlitu (případně feritu) bývá v mikrostruktuře šedých litin přítomna ještě jedna složka – tzv. steadit, což je eutektikum bohaté na fosfor.

Polohu eutektického bodu v litinách neovlivňuje jen uhlík, ale i další prvky, zejména křemík a fosfor. Pro posouzení společného vlivu uhlíku, křemíku a fosforu na strukturu šedých litin a na jejich mechanické vlastnosti se proto zavádí tzv. stupeň eutektičnosti S_c :

$$S_c = C / (4,26 - 0,3Si - 0,3P) \quad (3.2)$$

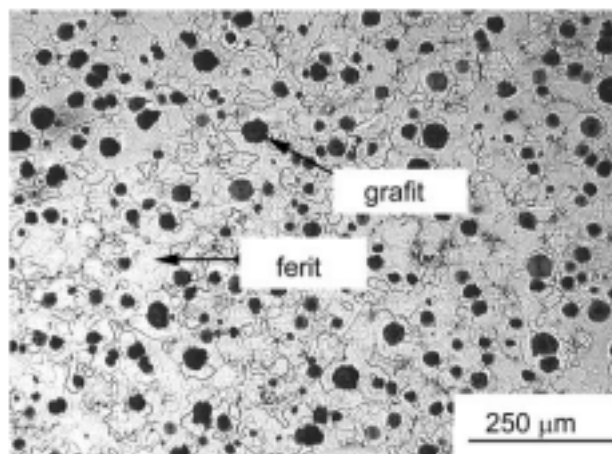
Ve vztahu pro S_c označují symboly prvků jejich množství v litině v hm.%. Stupeň eutektičnosti ukazuje, zda daná slitina je podeutektická ($S_c < 1$), eutektická ($S_c = 1$) nebo nadeutektická ($S_c > 1$). Jestliže má slitina nadeutektická složení, obsahuje velké částice primární-

ho grafitu, které nejsou příliš žádoucí. Obvykle je dávana přednost litinám s $S_c = 0,85-0,95$. s rostoucím stupněm eutektičnosti klesá tvrdost i pevnost litin.

Grafitické částice v litinách lze zjemňovat očkovaním. Jako očkovaadlo se využívá např. slitina Fe-Si (ferosilicum).

Litina s kuličkovým grafitem (tvárná litina)

U této litiny grafit vzniká ve formě kuliček. Tvorba kuličkového grafitu nastává tehdy, jestliže taveninu modifikujeme vhodnými přísadami. Nejběžnější je hořčík (0,03–0,08%) a podobný účinek mají rovněž prvky vzácných zemin. Pokud je modifikátoru nedostatečné množství, změna morfologie proběhne jen částečně a vznikne tzv. červíkovitý (vermikulární) grafit. Chemické složení litin s kuličkovým grafitem bývá následující: 3,2-4%C; 1,8-3%Si; 0,1-0,8%Mn; max. 0,1%P, max. 0,05%S a 0,03-0,08%Mg.



Obr.3.19: Mikrostruktura litiny s kuličkovým grafitem (tvárné litiny) s feritickou maticí

Tvárná litiny je celkově náročnější na čistotu taveniny než šedá litina. Z tohoto důvodu je i dražším materiálem. Její vyšší cena je však vyvážena mnohem lepšími mechanickými vlastnostmi, zejména pevností (až 900 MPa) a tažností (až 20%). Je to způsobeno příhodnější morfologií grafitu s nižším vrubovým účinkem.

Matrice tvárných litin může být feritická (nižší pevnost, vyšší tažnost) i perlitická (vyšší pevnost, nižší tažnost). Tvárné litiny se mechanickými vlastnostmi blíží některým ocelím a vzhledem k příhodnější ceně je v řadě případů nahrazují.

Litina s vermikulárním (červíkovitým) grafitem

Pokud taveninu modifikujeme hořčíkem nebo prvky vzácných zemin nedostatečně, vzniká přechodové stadium – litina s vermikulárním (červíkovitým) grafitem.

Tato litina v sobě kombinuje výhody od obou předchozích typů – od litiny s lupínkovým grafitem dobré slévárenské vlastnosti a od litiny s kuličkovým grafitem uspokojivé mechanické vlastnosti (pevnost až 550 Mpa a tažnost až 8%)

Litina s vločkovým grafitem (temperovaná litina)

Temperovaná litina vzniká z bílé litiny jejím temperováním (žiháním) při teplotách až kolem 1000°C, při kterém dojde ke grafitizaci cementitu.

Grafit vzniká ve formě charakteristických vločkových útvarů. Podle podmínek žihání, výsledné struktury a vzhledu lomu se temperovaná litina dělí na:

- temperovanou litinu s černým lomem
- temperovanou litinu s bílým lomem

Temperovaná litina s černým lomem vzniká žiháním v neutrální atmosféře a její matrice může být feritická nebo perlitická. **Temperovaná litina s bílým lomem** pak vzniká žiháním v oxidační atmosféře, kdy dojde k oduhličení povrchu. Matrice litiny je pak na povrchu feritická a v jádře perlitická.

Temperovaná litina svými vlastnostmi tvoří přechod mezi ocelí a šedou litinou. Její pevnost dosahuje až 800 MPa a tažnost až 12%.

Legované litiny

Pro náročnější použití se využívají litiny legované vhodnými prvky. Tyto prvky zlepšují především:

- tvrdost, pevnost, houževnatost (Cr, Ni, Mo, Cu)
- korozní odolnost (Cr, Ni, Si)
- žáruvzdornost, tzn. odolnost proti vysokoteplotní korozi v plynech (Cr, Si, Al, Ni)
- odolnost proti opotřebení (Cr, Mo, V)

Podle hlavního legujícího prvku se litiny dělí na litiny:

- hliníkové (až 30%Al)
- křemíkové (až 20%Si)
- chromové (až 35%Cr)
- niklové (až 35%Ni)

4 SLITINY NEŽELEZNÝCH KOVŮ (1)

Nejběžnější dělení slitin neželezných kovů je uváděné podle jejich teploty tání, která je důležitá nejen z technologického hlediska, ale může nám sloužit i jako přibližné měřítko jejich pevnostních vlastností – čím vyšší teplota tání, tím vyšší pevnost výchozího stavu. Čistota neželezných kovů se obvykle pohybuje v rozmezí 99,5 až 99,8 %. U některých lze připravit kovy i o vyšší čistotě, avšak za vysoké ceny.

4.1 Hliník a slitiny hliníku (15)

4.1.1 Vlastnosti hliníku

Hliník je třetím nejrozšířenějším prvkem v zemské kůře, stříbřitě šedé barvy. Jde o neušlechtilý měkký, kujný a tažný kov vynikající velmi dobrou elektrickou vodivostí, měrnou hmotností a odolností proti korozi. Nereaguje s vodou. Na vzduchu se pokrývá vrstvičkou oxidu hlinitého, která zabraňuje jeho dalším reakcím. Hliník je velmi dobře rozpustný ve zředěných kyselinách, také hydroxidy alkalických kovů snadno rozpouštějí kovový hliník za vzniku hlinitanů (AlO_2^-). Ve všech svých sloučeninách se vyskytuje pouze v mocenství Al^{+3} .

4.1.2 Výskyt v přírodě

Díky velké reaktivitě hliníku se v přírodě setkáváme prakticky pouze s jeho sloučeninami. Nejběžnější horninou na bázi hliníku je bauxit, obvykle bývá doprovázen dalšími příměsemi na bázi oxidů křemíku, titanu, železa a dalších. Jiným významným minerálem je kryolit, používaný především jako tavidlo pro snížení teploty tání bauxitu.

Minerály na bázi oxidu hlinitého Al_2O_3 patří mezi velmi významné i ceněné. Korund je na 9. místě Mohsovy stupnice tvrdosti. Technický oxid hlinitý se nazývá také elektrit a je hojně využíván k výrobě brusného papíru.

Drahé kameny, jejichž základním materiálem je oxid hlinitý se liší příměsí, která způsobuje jejich charakteristické zbarvení. Červený rubín je zbarven příměsí oxidu chrómu, modrý safír obsahuje především stopová množství oxidů titanu a železa.

Obě zmíněné formy korundu patří k nejvíce ceněným drahým kamenům na světě, ale mají i významné využití v technice. Safírové hroty vynikají svou tvrdostí a odolností a vybavují

se jimi špičkové vědecké měřicí přístroje. Rubín je znám jako materiál pro konstrukci prvního laseru na světě. Titan-safírový laser vyniká extrémně krátkými pulsy (< 50 fs)



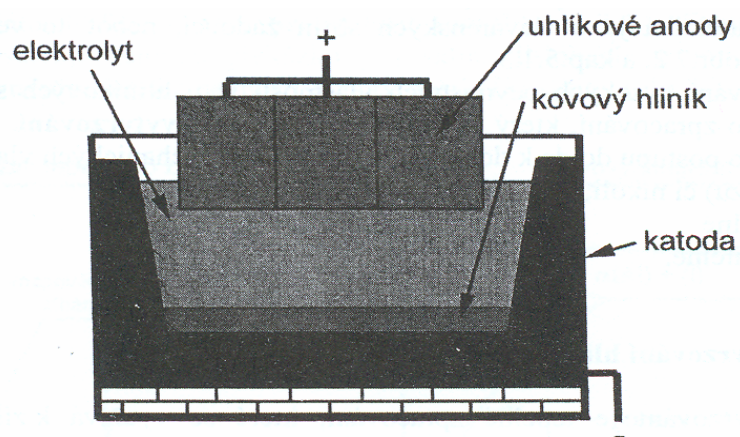
Obr.4.1: Safír



Obr.4.2: Rubín

4.1.3 Výroba

Vyrábí se elektrolýzou z taveniny směsi předem přečištěného bauxitu a kryolitu o teplotě asi $950\text{ }^{\circ}\text{C}$. Na katodě se vylučuje elementární hliník, na grafitové anodě vzniká kyslík, který ihned reaguje s materiálem elektrody za vzniku toxického plynného oxidu uhelnatého, CO. Při výrobě se do hliníku dostávají škodlivé příměšeniny (Fe, Si, O, H), které zvyšují křehkost a snižují chemickou odolnost hliníku.



Obr.4.3: Schéma elektrolýtické výroby Al

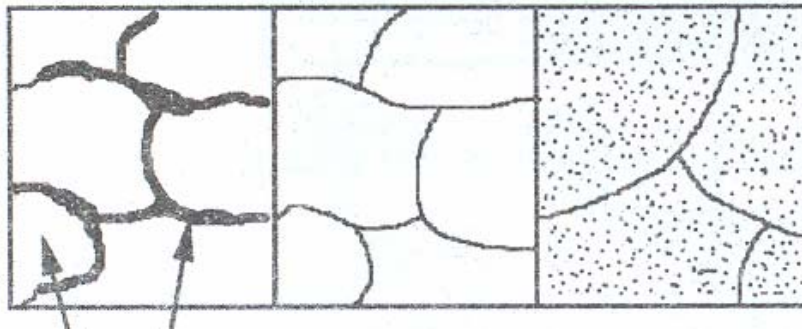
4.1.4 Tepelné zpracování hliníkových slitin

Tepelné zpracování se při výrobě slitin nazývá precipitační vytvrzování. Postup tohoto tepelného zpracování je podobný kalení a popouštění ocelí, ale mechanismus vytvrzení je

odlišný. V první řadě musí slitina obsahovat vhodné množství legujících prvků, které mají dostatečnou rozpustnost v tuhém roztoku. Precipitační vytvrzování má následující tři kroky:

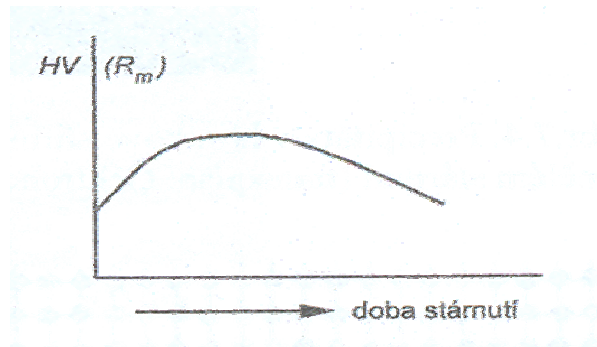
1. rozpouštěcí žihání – při tomto žihání dojde k rozpouštění intermediální fáze v tuhém roztoku. U hliníkových slitin leží teploty rozpouštěcího žihání v rozmezí 470-530°C.

2. rychlé ochlazení – např. do vody.



Obr.4.4: Změna mikrostruktury během tepelného zpracování

3. umělé stárnutí – ohřev a potřebná výdrž při zvýšené teplotě. Někdy se i využívá stárnutí přirozeného, což znamená, že po rychlém ochlazení je slitina ponechána při pokojové teplotě.



Obr.4.5: Změny mechanických vlastností
během umělého stárnutí

4.1.5 Použití

Kovový hliník nalézá uplatnění především díky své poměrně značné chemické odolnosti a nízké hmotnosti. Proto se z něj vyrábějí např. některé drobné mince, ale i běžné kuchyňské nádobí a příbory. Po vyválnování do tenké folie se s ním setkáme pod názvem alobal při tepelné úpravě pokrmů nebo jako ochranného obalového materiálu pro nejrůznější aplikace.



Obr.4.6: Předměty z hliníku pro každodenní použití

Společně se stříbrem slouží hliník ve formě velmi tenké folie jako záznamové médium v kompaktních discích (CD) ať již pro záznam zvuku nebo jako paměťové médium ve výpočetní technice. Tato vrstva se na plastový podklad obvykle naprašuje tichým elektrickým výbojem ve vakuu.



Obr.4.7: Kompaktní disk vyrobený slitinou hliníku a stříbra

Vzhledem k dobré elektrické vodivosti se kovového hliníku používá v elektrotechnice k výrobě vodičů.

Dále se využívá ve stavebnictví, letectví i strojírenství pro konstrukci staveb, letadel, pláště kosmických lodí. V podobě hliníkového prášku jako přísada do pevných paliv pro zvýšení tahu rakety při startu.

4.1.6 Slitiny hliníku

Čistý hliník je sice plastický, avšak málo pevný, proto je pro konstrukční účely nevhodný. Zpevněním hliníku dosahujeme jeho legováním (zejména Cu, Mg, Si, Zn, Li atd.).

Podle technologie zpracování dělíme hliníkové slitiny na:

- slitiny pro tváření
- slitiny slévárenské

Podle toho zda dojde při precipitačního vytvrzování k dostatečnému zvýšení mechanických vlastností či nikoli, můžeme hliníkové slitiny dále dělit na:

- slitiny vytvrditelné
- slitiny nevytvrditelné

Tvářené vytvrditelné hliníkové slitiny

Nejvýznamnějšími tvářenými slitinami hliníku, které vytvrzením výrazně zvýší své mechanické vlastnosti jsou slitiny Al-Cu, Al-Cu-Mg, Al-Mg-Si, Al-Zn-Mg, Al-Zn-Mg-Cu, Al-Li.

Slitiny Al-Cu, případně Al-Cu-Mg, které se nazývají duraly, obsahují cca 1-6% Cu a do 2% Mg. Tyto materiály dosahují ve vytvrzeném stavu velmi dobrých mechanických

vlastností. Určitou nevýhodou těchto slitin je poměrně špatná korozní odolnost, proto se duralové součástky vystavené vnějším vlivům pokrývají tenkou vrstvou hliníku (tzv. plátování). Oproti samotnému hliníku má mnohem větší pevnost a tvrdost při zachování velmi malé měrné hmotnosti. Všechny uvedené vlastnosti předurčují dural jako ideální materiál pro letecký a automobilový průmysl, ale setkáme se s ním při výrobě výtahů, jízdních kol, lehkých žebříků a podobných aplikacích.



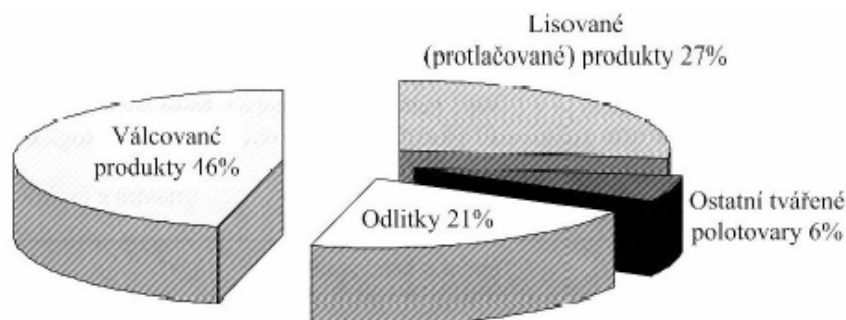
Obr.4.8: Použití slitin hliníku v automobilovém průmyslu

Tvářené nevytvrditelné hliníkové slitiny

U těchto slitin nelze mechanické vlastnosti vytvrzováním příliš zlepšovat. Dalšího zpevnění lze dosáhnout pouze tvářením za studena. Do této skupin slitin patří dva nejvýznamnější zástupci, a to slitiny Al-Mn a Al-Mg. Jedná se o materiály dobře svařitelné s dobrou korozní odolností.

Slévárenské hliníkové slitiny

Nejvýznamnější slévárenské slitiny hliníku jsou slitiny Al-Si (siluminy). Tyto slitiny patří vedle litin mezi nejlepší slévárenské slitiny. Slitiny Al-Si nelze precipitačně vytvrzovat. Pro zvýšení pevnosti bývají slitiny Al-Si legovány dalšími prvky (Cu, Mg). Tyto prvky způsobují, že slitiny se stávají precipitačně vytvrditelné.



Obr. 4.9: Podíl jednotlivých technologií na spotřebě hliníku v Evropě

4.2 Hořčík a jeho slitiny

4.2.1 Vlastnosti hořčíku

Hořčík je lehký, tvrdý stříbrolesklý kov, druhý nejlehčí z kovů alkalických zemin. Jeho hustota $1,74 \text{ g/cm}^3$ ve spojení s poměrně dobrými mechanickými vlastnostmi (hlavně slitin) je příčinou jeho rozšíření. Nevýhodou hořčíku je jeho malá tvárnost za studena a menší odolnost proti korozi. Hořčík krystalizuje v soustavě šesterečné, která je příčinou jeho malé tvárnosti. Rovněž jeho mechanické vlastnosti jsou poměrně nízké. Taví za teploty 650°C , vře za teploty 1100°C . Využívá se při výrobě lehkých a pevných slitin, jako redukční činidlo v organické syntéze a při pyrotechnických aplikacích. Rychle reaguje s kyslíkem i vodou; na vzduchu se postupně pokryje vrstvou oxidu, která jej chrání před další oxidací, a lze jej takto uchovávat i poměrně dlouhou dobu.

Díky své poměrně velké reaktivitě se v přírodě hořčík vyskytuje pouze ve sloučeninách. Ve všech má mocenství Mg^{+2} .

4.2.2 Výskyt v přírodě

Obsah hořčíku (obvykle uváděný jako chlorid hořečnatý MgCl_2) v mořské vodě tvoří významný podíl jeho zastoupení na Zemi. Z minerálů je velmi hojný dolomit, směsný uhličitán hořečnato-vápenatý $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$, jehož ložiska se nacházejí v jižní Evropě, Brazílii, jižní Austrálii i Severní Americe.



Obr.4.10: Dolomit

Poněkud vzácněji se vyskytuje čistý uhličitan hořečnatý, $MgCO_3$ – magnezit, který se těží především v rakouských Alpách, na Slovensku v Koreji a Číně.



Obr.4.11: Magnezit

4.2.3 Výroba a využití hořčíku

Kovový hořčík se průmyslově vyrábí obvykle elektrolýzou roztaveného chloridu hořečnatého, získaného z mořské vody nebo zkoncentrovaných roztoků mořské soli (solanka).



Obr.4.12: Kovový hořčík

Velká reaktivita kovového hořčíku se uplatňuje v metalurgii, kde jeho přídavky odstraňují malá množství síry z roztavené oceli.

Reakce hořčíku s kyslíkem probíhá za vývoje značného množství tepla (lze tak dosáhnout teplot kolem 2 200 °C) a velmi intenzivního světelného záření. Zapálit hořčík ve formě tenké folie je velmi snadné a může být startérem hoření v různých *pyrotechnických aplikacích*. V minulosti se směsi práškového hořčíku s okysličovadlem (KClO_3 , $\text{Ba}(\text{NO}_3)_2$, KClO_4) po zapálení používaly namísto dnešních fotografických blesků. Díky tomu, že je v závislosti na množství možné dosáhnout téměř neomezeného světelného výkonu, se tyto tzv. osvětlovací slože používají ještě dnes při fotografování obrovských podzemních prostor.



Obr.4.13: Pochodeň z $\text{Mg}+\text{KClO}_4$ pod zemí

U směsí velmi jemně práškového hořčíku (puďr) s okysličovadly je hoření tak rychlé, že může přejít ve výbuch. Rizikem je i nízká teplota vzplanutí (250 °C). To má samozřejmě význam v pyrotechnických aplikacích, ale pro osvětlovací účely je nutné použít hořčíkovou krupici či šupinky.



Obr.4.14: Hořící hořčík

4.2.4 Tepelné zpracování slitin hořčíku

Slitiny hořčíku s přísadou Al, Zn, Mg a Zr mají výraznou změnu rozpustnosti v tuhém stavu a proto je lze jako slitiny hliníku tepelně zpracovávat. Tyto slitiny jsou vytvrditelné a velmi často se také zpracovávají pouze dlouhodobým žháním s následným ochlazením na vzduchu bez umělého stárnutí.

4.2.5 Slitiny hořčíku

Slitiny Mg-Al-Zn

Tyto slitiny jsou ze všech slitin hořčíku nejrozšířenější a jsou známe pod názvem elektrony.



Obr.4.15: Elektrony

Obsah hliníku se pohybuje v rozmezí 2-9% a zinku 0,5-3%. Hliník má ve slitinách na bázi Mg výrazný zpevňující účinek. Také zlepšuje slévárenské vlastnosti a vytváří ochrannou vrstvu oxidu hlinitého na povrchu výrobku. Zinek působí podobně jako hliník, jeho obsah však bývá nižší, neboť vyšší obsahy Zn by byly na úkor houževnatosti slitiny. Nevýhodou těchto slitin je jejich poměrně malá tepelná stabilita, což je činí při teplotách nad cca 150°C nepoužitelnými.

Slitiny pro zvýšené teploty

Pro použití při zvýšených teplotách a větších mechanických zatížení jsou vyvíjeny slitiny se zvýšenou odolností proti tečení. Tyto slitiny bývají legovány prvky Zn, Zr, lanthanoidy (Ce, Nd...), Y, Th, Ca, Si atd. Špičkové materiály z této skupiny jsou využitelné až do teplot kolem 400°C a dosahují vyšších pevností.

Slitiny Mg-Li

Mezi nejnovější materiály patří slitiny na bázi Mg-Li. (+Si, Al, Zr, Th, Mn...). Přísada lithia přináší výrazné zvýšení tvárnosti litin.



Obr.4.16: Odolné víko notebooku firmy Asus z magneziové slitiny

4.3 Titan a jeho slitiny

4.3.1 Vlastnosti titanu

Titan je polymorfní, velmi tvrdý kov ocelového vzhledu s dobrými mechanickými vlastnostmi. Jedná se o lehký kov s teplotou tání 1668°C . K nesporným přednostem titanu a jeho slitin patří zejména nízká hustota $4,505\text{ g/cm}^3$, výborné pevnostní vlastnosti a vynikající korozní odolnost. Určitým nedostatkem titanu jsou poměrně značné náklady na výrobu a zpracování, což souvisí s jeho vysokou reaktivitou při teplotách nad 600°C . Reaguje s plyny, čímž se znehodnocuje. Jeho reaktivita závisí na úpravě povrchu.



Obr.4.17: Titan

4.3.2 Průmyslová výroba titanu

Nejčastěji se titan vyrábí redukcí par chloridu titaničitého hořčíkem v inertní argonové atmosféře. Touto reakcí vzniklý titan je tuhá pórovitá látka, která se po odstranění chloridu hořečnatého a nezreagovaného hořčíku dále čistí. Slitiny titanu se přetavují ve vakuových indukčních pecích a stejně tak se ve vakuu odlévají. Tento proces je finančně nákladný.

4.3.3 Slitiny titanu a jejich použití

Slitiny titanu dosahují ještě výrazně vyšších pevnostních vlastností v porovnání s čistým kovem. Hlavními legujícími prvky jsou Al, V, Sn, Nb, Cr, Mo, Zr atd.

Nejpoužívanější je slitina Ti-6Al-4V s velmi vysokou pevností ale nižší tažností, avšak svařitelná. Slitinu je možno tepelně zpracovat a lze ji použít do teploty 400° C. Využití nalezneme v leteckém a automobilovém průmyslu, medicíně, průmyslu volného času a všude tam, kde je požadována vysoká pevnost, malá specifická hmotnost a vysoká korozní odolnost.



Obr.4.18: Airbus A380 - 9% váhy letadla je titan a jeho slitiny

Další rozšíření titanových slitin je v oblasti běžného používání každodenního života na hodinky, šperky, protetika, rámy a ochranné kryty přístrojů (fotoaparáty, mobilní zařízení, notebooky), sportovní potřeby vyžadující vysokou pevnost a nízkou hmotnost



Obr.4.19: hodinky z titanové slitiny



Obr.4.20: Sportovní potřeby z titanové slitin

4.3.4 Tepelné zpracování slitin titanu

Titanové slitiny se tepelně upravují žháním k odstranění pnutí, rekrystalizačním, stabilizačním nebo homogenizačním. Dále pak zušlechťování – polymorfní přeměna je využitelná při tepelném zpracování jen zčásti.

4.4 Měď a její slitiny

4.4.1 Vlastnosti mědi

Měď je hned po hliníku nejvýznamnější neželezný kov načervenalé barvy s hustotou $8,94 \text{ g/cm}^3$ a teplotou tání 1083°C . Krystalická struktura mědi je kubická plošně centrovaná, díky čemuž je měď tvárná a poměrně měkká. Měď je rovněž výborný elektrický a tepelný vodič. Také se vyznačuje dobrou korozní odolností (charakteristické zelené zbarvení) a mechanickou zpracovatelností.



Obr.4.21: Měď

Ve sloučeninách se vyskytuje především v mocenství Cu^{+1} a Cu^{+2} , vzácně i Cu^{+3} . Na vzduchu je měď stálá, protože se za působení atmosférické vlhkosti a oxidu uhličitého rychle pokryje tenkou vrstvičkou nazelenalého zásaditého uhličitanu měďnatého ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$), (měděnka), která ji účinně chrání proti další korozi vzdušným kyslíkem i vlhkostí (vodou). Sloučeniny mědi barví plamen zeleně. Čistá kovová měď je poměrně měkká a proto se pro praktické aplikace často používají její slitiny.

4.4.2 Výskyt

Ryzí měď se v přírodě nachází vzácně a vyskytuje se tedy převážně ve sloučeninách. Nejčastěji ji nacházíme ve formě sulfidů mezi něž patří například chalkosin (Cu_2S - sulfid měďný) nebo chalkopyrit (CuFeS_2 - sulfid měďnato-železnatý). Dalšími významnými minerály jsou kuprit (Cu_2O - oxid měďný), zelený malachit ($\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$) a jemu chemicky podobný modrý azurit ($2 \text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu(OH)}_2$).

Mezi největší světové producenty mědi patří především Chile, Peru a USA v Novém Mexiku a Utahu. Významná ložiska měděných rud se dále nalézají v Zairu, Zambii, Kanadě, Kazachstánu a Polsku.



Obr. 4.22: Povrchový důl na měděnou rudu - Chino, Nové Mexiko



Obr. 4.23: Modrý azurit



Obr. 4.24: Zelený malachit

4.4.3 Tepelné zpracování slitin mědi

Měď, jakož i většina slitin mědi se nemůže tepelně zpracovávat vytvrzováním, protože se u těchto materiálů neobjevuje změna rozpustnosti v tuhém stavu. Pro slitiny mědi je nejdůležitějším tepelným zpracováním žihání k odstranění vnitřního pnutí a rekrystalizační žihání po tváření za studena.

4.4.4 Slitiny mědi

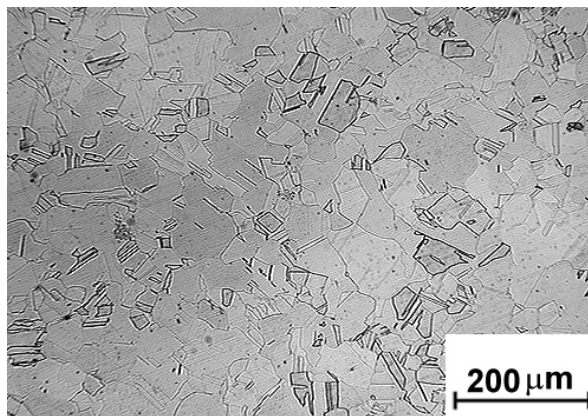
Jsou-li na výrobky kladeny vyšší mechanické požadavky, je třeba použít slitiny mědi s vhodnými prvky: Zn, Sn, Pb, Al, Fe, Ni, Mn, Be atd. Měděné slitiny se rozdělují do dvou základních skupin:

1. Mosazi
2. Bronzy

Mosazi jsou slitiny u nichž je hlavním legujícím prvkem zinek. U bronzů je to obecně prvek jiný než zinek. Známé jsou např. bronzы cínové (Cu-Sn), hliníkové (Cu-Al), olověné (Cu-Pb), berylliové (Cu-Be) a další.

Mosazi

Mosazi obsahují do cca 45% Zn a kromě toho často další legující prvky (Al, Mn, Sn, Si, Ni...). Pevnost mosazí s rostoucím obsahem Zn vzrůstá. U mosazí s obsahem Zn nad 45% pevnost klesá. Tvrdost mosazí roste s rostoucím obsahem Zn. Mosazi se dají zpracovávat tvářením i odléváním, tvářením u nich však převažuje. Odlévají se obvykle mosazi s vyšším obsahem Zn.



Obr. 4.25: Mikrostruktura mosazi CuZn10

Podle obsahu Zn, legujících prvků nebo vlastností mají mosazi své charakteristické názvy (cínové, niklové, hloubkotažné, automatové mosazi, tombaky...).

Běžná mosaz je poměrně měkký kov s jasně zlatavou barvou a s poměrně nízkou chemickou odolností vůči kyselinám a luhům. Proti působení atmosférických vlivů je však mosaz značně odolná.

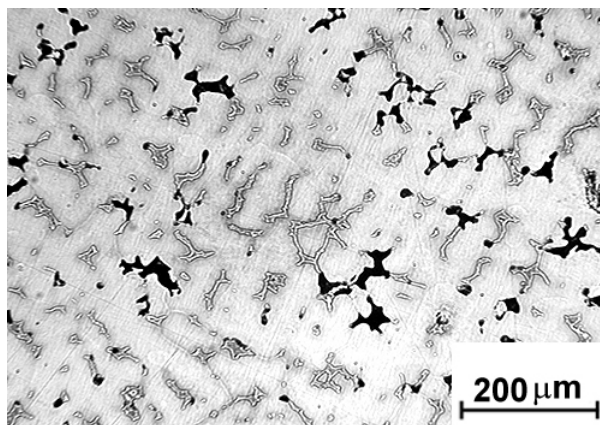
Používá se často k výrobě různých hudebních nástrojů a dekorativních předmětů, zhotovují se z ní součásti pro vybavení koupelen a drobné bytové doplňky, slouží pro výrobu bižuterie jako tzv. kočičí zlato.



Obr.4.26: Hudební nástroj vyrobený z mosazi

Bronzy

a) Cínové – obsahují až do cca 22% Sn. Přídavek cínu do kovové mědi odstraňuje její hlavní nedostatek pro výrobu prakticky použitelných nástrojů – malou tvrdost. Přitom zůstává zachována vysoká odolnost proti korozi a relativně snadná opracovatelnost. V porovnání s mosazí mají i lepší třecí vlastnosti (ložiska), jsou však výrazně dražší. Od 8% Sn klesá tažnost a pevnost se zvyšuje až do cca 20% Sn, při vyšších obsazích klesá. Bronzy se zpracovávají tvářením (do 8% Sn) i odléváním (nad 8% Sn). V technické praxi převažují bronzy s obsahem cínu do max. 12%. Bronzy s obsahem cínu kolem 20-22% se používají na odlévání zvonů – tzv. zvonovina.



Obr. 4.27: Mikrostruktura slitiny Cu Sn12

b) Hliníkové – slitiny mědi s hliníkem, popř. dalšími kovy (Fe, Mn a Ni). Lze je zpracovávat kalením či popouštěním a tak dosáhnou veliké pevnosti. Mají výbornou korozní odolnost a dobré třecí vlastnosti.

c) Červené – vznikají částečnou náhradou drahého cínu u cínových bronzů zinkem. Jedná se tedy o slitiny Cu-Sn-Zn-(Pb). Mají dobré slévárenské vlastnosti a přísada olova zlepšuje obrobiteľnost.

d) Olověné a cínoolověné – slitiny Cu-Pb nebo Cu-Sn-Pb. Mohou obsahovat až 30% Pb. Jedná se o materiály s vynikajícími kluznými vlastnostmi, tzn. vhodné pro výrobu ložisek. Obvykle se nanášejí v tenké vrstvě na nosnou ocelovou část ložiska.

e) Beryliové – obsahují až 2% Be. Jsou precipitačně vytvrditelné. Jedná se o vynikající pružinové materiály.

4.5 Nikl a jeho slitiny (20)

4.5.1 Vlastnosti niklu

Nikl je bílý, kujný a tažný kov s hustotou 8,9 g/cm³ a teplotou tání 1455°C. Krystalová struktura je kubická plošně centrovaná, proto má nikl dobré plastické vlastnosti a tvářením za studena se zpevňuje. Vyznačuje se vysokou elektrickou vodivostí. Slouží jako součást různých slitin a k povrchové ochraně jiných kovů před korozí. Patří do skupiny feromagnetických kovů (využití v elektrotechnice). Vzhledem k jeho toxicitě je jeho praktické využití postupně omezováno.



Obr. 4.28: Čistý kovový nikl

Ve sloučeninách se vyskytuje především v mocenství Ni^{+2} , existují i sloučeniny Ni^{+1} , zatímco látky obsahující Ni^{+3} jsou nestálé a působí silně oxidačně.

4.5.2 Výskyt a výroba

S ryzím niklem se v přírodě setkáme pouze vzácně. Obvykle se vyskytuje jako oxid ve směsi s železem nebo jako sulfid nikelnato-železitý. Geologové předpokládají, že velká část niklu přítomného na Zemi je soustředěna v oblasti jejího středu – v zemském jádře a kůře. Nikl je také poměrně hojně zastoupeným prvkem v meteoritech, dopadajících na Zemi z kosmického prostoru.

Způsob výroby niklu z rudy je závislý na chemické podstatě této suroviny. Poslední fází je však prakticky vždy redukce oxidu niklu koksem (elementárním uhlíkem). Takto získaný nikl je však značně nečistý a pro jeho další purifikaci se používá buď elektrolyza nebo destilace jeho těkavé sloučeniny – tetrakarbonylu niklu $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$.

4.5.3 Využití niklu

Díky poměrně velmi dobré stálosti kovového niklu vůči atmosférickým vlivům i vodě se často nanáší velmi tenká niklová vrstva na povrchy méně odolných kovů, nejčastěji železa. Nanášení se provádí elektrolyticky obvykle z alkalického prostředí, kde je nikl přítomen jako kyanidový komplex a na pokovovaný předmět je vložen záporný elektrický potenciál, působí tedy jako katoda. Běžně se takto upravují jednoduché pracovní nástroje jako šroubováky nebo klíče, ale také některé chirurgické nástroje a pomůcky se niklují.

Značné odolnosti kovového niklu se využívá při výrobě chemického nádobí, které je možno vystavit účinkům alkalických tavenin jako je hydroxid sodný nebo uhličitan draselný bez výraznějšího poškození. V kyselém prostředí je však nutno použít mnohem dražších kelímků z platiny nebo slitin platiny s rhodiem nebo iridiem.



Obr. 4.29: Chemické nádobí z čistého niklu

Další využití je pro výrobu lodních šroubů ale i kuchyňského vybavení, slitiny skládají se z železa, kobaltu, niklu, hliníku a mědi slouží pro výrobu velmi silných permanentních magnetů. Používaný je i k ražení mincí, obvykle ve slitinách s mědí. Významné místo patří slitinám niklu ve výrobě šperků. V současné době poměrně populární bílé zlato je obvykle právě slitinou zlata, niklu, mědi a zinku. Zvláštní slitina niklu a stříbra slouží často jako materiál pro elektrické kontakty v silně namáhaných silnoproudých spínačích, které musí vykazovat vysokou úroveň spolehlivosti. Jde o směs o složení přibližně 90% Ag + 10% Ni. Slitina se vyrábí poměrně komplikovaným spékáním práškového materiálu za vysokých teplot a tlaků. Výslednému materiálu potom stříbro dodává vynikající elektrickou vodivost a nikl zase výhodné mechanické vlastnosti - tvrdost a odolnost proti otěru.



Obr.4.30: Galvanické niklové články s možností opětovného dobíjení

4.5.4 Slitiny niklu

Hlavní využití (více než 70%) niklu je pro legování jiných slitin, zejména korozi-vzdorných ocelí. Slitiny niklu jsou špičkové materiály s vysokou korozní a tepelnou odolností.

Ve slitinách niklu jsou hlavními legujícími prvky Cu, Cr, Mo, Ti, Al, W atd. Tyto slitiny je možno rozdělit na tři skupiny:

1. *korozivzdorné* – patří sem především slitiny Ni-Cu (tzv. monely) a slitiny Ni-Mo-(Cr) (tzv. hasteloye). Slitiny Ni-Cu obsahují cca 30% Cu, popř. další prvky (Fe, Mn, Al, Si, atd.). S přidavkem hliníku se mohou i precipitačně vytvrzovat. Největších pevností lze dosáhnout kombinací tváření a vytvrzování.

2. *žáropevné* – musejí odolávat vysokoteplotnímu tečení.



Obr.4.31: Použití žárovevné niklové slitiny pro extrémně namáhané spalovací motory

Legují se prvky Cr, Mo, Fe, Al, Ti, W, Zr, Nb atd. Základním legujícím prvkem je chrom (až 30%), který výrazně zlepšuje korozní odolnost a žáruvzdornost. Železo je přidáváno do slitin z důvodů snížení jejich ceny a rovněž se podílí na výztuži roztoku. Titan a hliník umožňují precipitační vytvrzení slitiny.

3. *se zvláštními fyzikálními vlastnostmi* – mezi tyto slitiny patří zejména slitiny s nízkou tepelnou roztažností, magnetické slitiny, odporové slitiny a slitiny na výrobu termočlánků. Hlavními legujícími prvky těchto slitin jsou Fe a Cr.

4.6 Olovo a jeho slitiny

4.6.1 Vlastnosti olova

Olovo je nízkotavitelný, měkký, velmi těžký, toxický kov s hustotou $11,3 \text{ g/cm}^3$ a teplotou tání 327°C . Ve sloučeninách se vyskytuje v mocenství: Pb^{2+} a Pb^{4+} . Krystalová struktura je plošně centrovaná a proto je olovo kov tvárný. Výhodou olova je vynikající odolnost proti korozi v atmosféře i v poměrně agresivních chemikáliích. Nevýhodou olova je vysoká toxicita jeho iontů.

4.6.2 Výskyt a výroba

Elementární olovo se v přírodě vyskytuje pouze vzácně. Nejběžnějším minerálem a zároveň olověnou rudou je sulfid olovnatý, galenit PbS .



Obr. 4.32: Galenit

Dalšími méně běžnými minerály olova jsou cerusit, uhličitán olovnatý PbCO_3 a anglesit, síran olovnatý PbSO_4 . Dále se olovo často vyskytuje jako doprovodný prvek v rudách zinku a stříbra.

Při získávání olova z rudy je obvykle hornina jemně namleta a flotací oddělena složka s vysokým zastoupením kovu. Následuje pražení rudy, které převede přítomné sulfidy olova na oxidy. Kovové olovo se pak z praženého koncentráту rud získává běžnou žárovou redukcí elementárním uhlíkem (obvykle koks).

4.6.3 Využití olova

Jedním z největších zpracovatelů olova je do současné doby průmysl, vyrábějící elektrické akumulátory. Přes svoji vysokou hmotnost a obsah vysoce žíravé kyseliny sírové jsou technické parametry olověných akumulátorů natolik dobré, že ve vybavení automobi-

lů mají stále většinové zastoupení. Pro tyto účely je využívána přibližně polovina světové produkce olova, jejich recyklace je také jedním z nejvýznamnějších zdrojů tohoto kovu.

Konstrukce velkoobjemových nádob na uchovávání koncentrované kyseliny sírové využívá faktu, že olovo je vůči působení této mimořádně silné minerální kyseliny vysoce rezistentní. Olovo přitom slouží pouze pro pokrytí vnitřních stěn ocelových nádrží, samotné olovo by nemělo dostatečnou mechanickou pevnost a odolnost.

Olovo velmi účinně pohlcuje rentgenové záření a gama paprsky. Slouží proto jako ochrana na pracovištích, kde se s tímto vysoce energetickým elektromagnetickým zářením pracuje.

Přidávky olova do skla zvyšují značně jeho index lomu a olovnaté sklo je prakticky výhradní surovinou pro výrobu skleněných lustrů i řady dekorativních skleněných předmětů (vázy, popelníky, těžítka, ...)



Obr. 4.33: Pláštěvané olověné střelivo

Olovo je stále převažujícím materiálem pro výrobu střeliva a to především pro svoji vysokou specifickou hmotnost, která poskytuje olověné střele vysokou průraznost. Většina nábojů do lehkých palných zbraní (pistole, revolvery, pušky, samopaly) se skládá z olověného jádra, která je kryto ocelovým nebo měděným pláštěm. Střelivo pro brokové zbraně tvoří obvykle drobné kuličky z čistého olova, případně slitin olova s arzenem.

Ze slitin olova jsou rozhodně nejvýznamnější pájky. Nejobvyklejší pájky jsou slitiny olova s cínem, používané pro pájení jednoduchých elektrických obvodů nebo instalatérské práce. Bod tání těchto pájek je dán poměrem obou kovů, pohybuje se v rozmezí 250 – 400 °C.

4.6.4 Slitiny olova

Čisté olovo se vzhledem k velmi nízké tvrdosti využívá zřídka. Proto se leguje vhodnými vytvrzujícími prvky: Sb, Sn a Ca.

Slitiny Pb-Sb – nazývají se tvrdá olova a mohou obsahovat až 25% Sb. Tyto materiály jsou základem při výrobě ložisek olovených akumulátorů (taktéž slitiny Pb-Ca a Pb-Sn-Ca).

Slitiny Pb-Sn – nejznámější jsou měkké pájky. V elektronice je současným trendem snižovat obsah olova až na téměř 0% vzhledem k jeho toxicitě.

4.7 Cín a jeho slitiny

4.7.1 Vlastnosti cínu

Cín je podobně jako olovo kov měkký, kujný a nelze ho tvářením zpevnit. Jeho hustota je $7,3\text{g/cm}^3$ a teplota tání 232°C . Výhodou cínu je dobrá korozní odolnost. Ve sloučeninách se vyskytuje v mocenství: Sn^{+2} a Sn^{+4} . Vůči působení silných minerálních kyselin není cín příliš odolný. Velmi ochotně se rozpouští především v kyselině chlorovodíkové za přítomnosti i malých množství oxidačních činidel.



Obr. 4.34: Cínová nádoba

Jsou-li cínové předměty (nádoby, sošky) dlouhodobě vystaveny nízkým teplotám, může dojít k přechodu původně bílého cínu na šedou modifikaci a předmět se rozpadne na prach. Tento jev je označován jako cínový mor a byl znám již od středověku, kdy přes zimu teploty v hradních místnostech mohly klesnout pod uvedenou hodnotu a došlo ke zničení cínových nádob.

4.7.2 Výskyt a výroba

Hlavní cínovou rudou je kasiterit neboli cínovec, chemicky oxid cínčitý SnO_2 . Vyskytuje se v *cínovcových žilách a pegmatitech*, hromadí se v náplavech. V České republice jsou poměrně bohatá naleziště cínových rud, např. Cínovec, Horní Krupka, Horní Slavkov. Světová ložiska jsou především v Barmě, Indonésii, Malajsii, Bolívii, Brazílii, Rusku (Jakutsko a Čukotka), Nigérii a Austrálii.



Obr. 4.35: Kasiterit

Výroba kovového cínu z rudy je jednoduchá, jde o žárovou redukci uhlím. Z pocínovaných kovových povrchů se cín zpětně získává působením plynného chloru.

4.7.3 Využití cínu

Díky nízkým mechanickým vlastnostem má cín jako konstrukční materiál velmi omezené využití. Největší využití cínu představuje povrchová úprava ocelí proti korozi (výroba plechovek). Dále pak při výrobě tabulového skla, při výrobě uměleckých předmětů, pájek Pb-Sn, cínových bronzů, slitin s velmi nízkými teplotami tání, zubních amalgámů atd.

V současné době je těžiště využití kovového cínu v potravinářství. Vysoká odolnost cínu proti korozi a jeho zdravotní nezávadnost ho určují jako ideální materiál pro styk s dlouhodobě uchovávanými potravinami. Protože cena samotného cínu je poměrně vysoká, je plech pro výrobu konzerv obvykle ze slitin železa a cínem v tenké vrstvě je pokrýván vnitřní povrch, který je v kontaktu s potravinami. Podobně se upravují i kovové povrchy zařízení pro potravinářský průmysl – trubky, kotle, reaktory... Z cínu lze také vyválcovat tenké fólie (*staniol*), které se opět uplatňují při ochraně potravin nebo jiných předmětů před korozi.

Ve sklářském průmyslu je lití skleněných tabulí na roztavený cín ideální metodou pro výrobu dokonale rovných skleněných ploch o značně velkých rozměrech (výkladní skříně, okna moderních výškových budov a dalších).

Elementární cín získává supravodivé vlastnosti při teplotách pod 3,72 K. Dosažení této teploty není technicky příliš obtížné a proto cínové krystaly sloužily jako první materiál pro studium jevů supravodivosti (např. Meissnerův jev).

4.7.4 Slitiny cínu

Základní nevýhodou čistého cínu je skutečnost, že je velmi měkký a nehodí se proto k výrobě nástrojů nebo zbraní. Teprve objev slitin cínu s mědí a dalšími kovy umožnil rozkvět starověké metalurgie a přispěl k rychlejšímu vývoji civilizace.



Obr. 4.36: Bronzová křtitelnice

Bronz vykazuje velkou odolnost při styku s mořskou vodou a vyrábějí se z něj důležité součásti průmyslových aparatur, které jsou trvale vystaveny jejímu působení (potrubí a ventily pro její rozvod).

Bronz je dodnes pokládán za nejlepší slitinu pro výrobu zvonů, jsou z něj odlévány různé sochy a kovové plastiky, protože prakticky neomezeně vzdoruje vlivům počasí. Velmi významné a ceněné jsou také čínské bronzové umělecké předměty.

Tzv. fosforové bronzy obsahují navíc přibližně 1 % fosforu a vyznačují ještě zvýšenou tvrdostí, mechanickou a chemickou odolností.

Dalším typem cín obsahujících slitin je ložiskový kov. Jde o slitinu s přibližným složením 80 - 90 % Sn, která obsahuje navíc měď, olovo a antimon. Vyznačuje se především vysokou odolností proti otěru i když jsou poměrně měkké – slouží pro výrobu kluzných ložisek pro automobilový průmysl a další aplikace.

Velkou skupinu slitin cínu představují pájky. Nejjednoduššími cínovými pájkami jsou slitiny s olovem, používané pro pájení jednoduchých elektrických obvodů nebo instalátér-

ské práce. Bod tání těchto pájek je dán poměrem obou kovů, pohybuje se v rozmezí 250 – 400 °C.

4.8 Zinek a jeho slitiny

4.8.1 Vlastnosti zinku

Zinek je v pořadí třetím nejvýznamnějším neželezným kovem. Jeho hustota je 7,13 g/cm³ a teplota tání 420°C. Krystalická mřížka je hexagonální. Stejně jako olovo, nelze ani zinek tvářením zpevňovat díky nízké rekrystalizační teplotě.

Jeho výhodou je dobrá odolnost proti atmosférické korozi. Zinek je měkký lehce tavitelný kov. Za normálních teplot je křehký. Kujný je v teplotním rozmezí od 100 do 150°C. Při teplotách nad 210°C se opět stává křehkým a za vysokých teplot je znovu měkký a kujný. Vede elektrický proud a má vysoký redukční potenciál. Ve sloučeninách se vyskytuje ve stavu Zn²⁺.

4.8.2 Výskyt a výroba

Hlavním minerálem a rudou pro průmyslovou výrobu zinku je sfalerit, chemicky sulfid zinečnatý ZnS. Dalším minerálem zinku uhličitan zinečnatý ZnCO₃. Vzácně se v přírodě můžeme setkat i elementárním, kovovým zinkem.

Průmyslově se zinek získává žárovou redukcí svých oxidů uhlím (koksem) nebo elektrolyticky. Sulfidické rudy je před touto operací nutno převést na oxidy pražením za zvýšené teploty a přístupu vzdušného kyslíku. Vznikající oxid siřičitý se přitom obvykle zachycuje a používá následně pro výrobu kyseliny sírové.

Vzhledem k poměrně nízkému bodu varu zinku je pro přípravu velmi čistého kovu nejběžnější metodou jeho destilace.



Obr. 4.37: Sfalerit, siriník zinečnatý – významná ruda zinku

4.8.3 Použití zinku a jeho sloučenin

Zinek je po železe, mědi a hliníku čtvrtým průmyslově nejvíce vyráběným kovem. Elementární zinek nachází významné uplatnění (až 40% produkce) jako antikorozi ochranný materiál především pro železo a jeho slitiny (pozinkovaný plech). Zinek má také velmi dobré vlastnosti pro výrobu odlitků. Vyrábějí se tak kovové součástky, které jsou dobře odolné vůči atmosférickým vlivům, ale nesnášejí výrazné mechanické namáhání, protože zinek je mechanicky velmi málo odolný. Příkladem mohou být některé části motorových karburátorů, kovové ozdoby, okenní kliky apod.

Z hlediska praktického využití je nejdůležitější sloučeninou zinku jeho oxid (ZnO). Užívá se jako netoxický bílý pigment při výrobě barviv, slouží také jako plnicí prostředek při výrobě vulkanizovaného kaučuku a nachází uplatnění i v keramickém a sklářském průmyslu při výrobě speciálních chemicky odolných skel a glazur nebo emailů. Z oxidu zinečnatého se vyrábějí zinečnatá mýdla, která se používají jako sušidla nátěrových hmot, stabilizátory plastů a fungicidy.

Sulfid zinečnatý je výrazně luminiscenční a slouží jako základní látka pro světélkující nátěry hodinových ručiček a v podobných aplikacích, používá se také při výrobě různých druhů obrazovek. Je vhodným pigmentem pro dětské hračky.

Další sloučeniny zinku slouží jako součást metalurgických tavidel, barviv pro potisk tkanin i impregnačních prostředků pro ochranu dřeva před plísněmi a hnilobou. Používají se také při výrobě deodorantů, léčiv (masti na vyrážky, vitaminové preparáty), při úpravě

textilií a k přípravě hořčnatého cementu pro zubní výplně. Zředěné vodné roztoky některých zinečnatých solí mají dezinfekční účinky.

4.8.4 Slitiny zinku

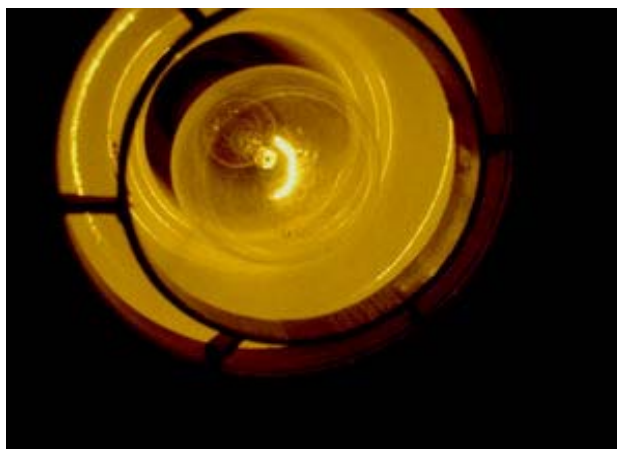
Zinek je součástí mnoha slitin. Nejvýznamnější je bezesporu slitina s mědí – mosaz. Prakticky se využívá řady různých mosazí s odlišným poměrem obou kovů, které se liší jak barvou, tak mechanickými vlastnostmi – tvrdostí, kujností, tažností i odolností proti vlivům okolního prostředí. Obecně se mosaz oproti čistému zinku vyznačuje výrazně lepší mechanickou odolností i vzhledem.

Nejpoužívanějšími jsou slitiny zinku Zn-Al-Cu (cca 4% Al a do 3% Cu) k výrobě drobných odlitků (karburátory, části zámků...).

4.9 Wolfram a jeho slitiny

4.9.1 Vlastnosti wolframu a jeho použití

Wolfram má z technických kovů největší hustotu $19,3 \text{ g/cm}^3$. Jeho charakteristickou vlastností je vysoký bod tání 3410°C a současně dobrá vodivost. Wolfram je za normální teploty stálý a odolný vůči atmosférické korozi i různým chemikáliím. Je šedý až stříbřitě bílý, velmi těžký a mimořádně obtížně tavitelný. Ve sloučeninách se vyskytuje v řadě různých mocenství od $\text{W}^{\text{II}+}$ a po $\text{W}^{\text{VI}+}$, z nichž sloučeniny $\text{W}^{\text{VI}+}$ jsou nejstálější a nejvíce prakticky využívané.



Obr. 4.38: Rozžhavené wolframové žárovkové vlákno

Hlavní uplatnění nalézá jako složka různých slitin, v čisté formě se s ním běžně setkáváme jako s materiálem pro výrobu žárovkových vláken.

Při svařování kovů elektrickým obloukem za použití wolframových elektrod způsobuje elektrický proud procházející mezi elektrodami v inertní atmosféře (obvykle argon) roztavení zpracovávaných kovů bez úbytku materiálu elektrod.

4.9.2 Výskyt a výroba

Hlavními minerály wolframu v přírodě jsou wolframit – wolframan železato-manganatý $(\text{Fe},\text{Mn})\text{WO}_4$, wolframan vápenatý, scheelit CaWO_4 a stolzit, wolframan olovnatý, PbWO_4 .

Při metalurgické výrobě wolframu se obvykle nejprve mechanicky separují těžké frakce rudy a výsledný koncentrát se taví s hydroxidem sodným, NaOH . Tavenina se louží vodou, do níž přechází vzniklý wolframan sodný, Na_2WO_4 . Okyselením tohoto roztoku vypadává sraženina hydratovaného oxidu wolframového WO_3 .

Čistý wolfram (podobně jako molybden) získáváme redukcí oxidů vodíkem při vyšších teplotách:



Obr. 4.39: Wolframit

4.9.3 Slitiny wolframu

Vysoká tavící teplota velmi znesnadňuje výrobu slitin wolframu. Wolfram tvoří s uhlíkem velmi tvrdé sloučeniny W_2C a WC , které mají velký význam v práškové metalurgii. Značného množství wolframu se používá k výrobě speciálních wolframem legovaných ocelí (10-20% W). Jsou to nástrojové a především rychlořezné oceli. Vyrábí se z nich kovoobráběcí nástroje, vrtné hlavice geologických nástrojů, turbíny a další vysoce teplotně a mechanicky namáhané součástky.

Pseudoslitiny wolframu (s niklem, železem a kobaltem, obsah wolframu 91 – 96 hm.%) vyrobené práškovou metalurgií se využívají kvůli své dobré schopnosti odstínit rentgenové záření a záření gama jako materiál pro radiační stínění např. v kobaltových ozařovačích, používaných k ozařování zhoubných nádorů.

4.9.4 Prášková metalurgie

Kovy jako wolfram, kobalt, molybden, tantal, niob, apod. lze s výhodou připravit v kompaktním stavu slinováním tělísek vylišovaných z práškovitého kovu. Děje se tak za vysoké teploty a tlaku. Výsledkem je polotovar, který je dalším tvářením za tepla převeden do konečného tvaru výrobku. Výrobky získané touto cestou se označují jako „tvrdé kovy“. Jsou vyráběny buď jen z karbidu wolframu a kobaltu (75-85%WC a 15-25%Co), nebo ze směsi karbidů wolframu titanu, tantalu nebo niobu s kobaltem.

4.10 Molybden a jeho slitiny

4.10.1 Vlastnosti molybdenu

Molybden je stříbrný až šedobílý, tvrdý a křehký kov se značně vysokým bodem tání. Teplota tání molybdenu je 2610°C a hustota 10,2 g/cm³. Vysoká teplota tání vede k tomu, že kov se vyrábí technologií práškové metalurgie. Ve sloučeninách se molybden vyskytuje v řadě různých mocností od Mo⁺² a po Mo⁺⁶ a v rozsáhlé škále různých barev.

4.10.2 Výskyt a výroba

V rudách se vyskytuje jen v nízkých koncentracích. Nejvýznamnější rudou je molybdenit (sulfid molybdeničitý, MoS₂), jehož ložiska se nacházejí především v Coloradu v USA. Molybdenit jako MoS₂ se těží buď samostatný nebo se získává při výrobě mědi. Po přečištění flotací se pražením převede na oxid molybdenový. Ten se buď využívá přímo, nebo se aluminotermicky převede na ferromolybden, který nachází použití při výrobě korozivzdorných ocelí.

Čistý molybden se vyrábí redukcí oxidu molybdenu vodíkem.



Obr.4.40: Minerál molybdenit

4.10.3 Využití molybdenu

Molybden je využíván jako legující prvek pro oceli a slitiny Ni (Co). Těmto materiálům přísada molybdenu dodává korozní odolnost a tvorbu tepelně stabilních karbidů tvrdost a žárupevnost. Další využití nachází molybden ve vysokoteplotních a korozně náročných aplikacích (odporové materiály, kontakty, vlákna do žárovek...).

Základní praktické využití nalézá v metalurgii při výrobě speciálních ocelí. Již poměrně malé množství molybdenu ve slitině výrazně zvyšuje její tvrdost, mechanickou a korozní odolnost. Proto se z molybdenových ocelí vyrábějí silně mechanicky namáhané součásti strojů jako například hlavně děl, geologické vrtné hlavice a nástroje pro kovoobrábění. Také se z molybdenu dělá povrchová vrstva pístních kroužků. V chemickém průmyslu je materiálem pro reaktory, pracující v silně korozivním prostředí za vysokých tlaků a teplot. Používá se pro výrobu petrochemických katalyzátorů, sloužících k odstranění sirných sloučenin z ropy a ropných produktů.

4.11 Chrom a jeho slitiny

4.11.1 Vlastnosti chrómu

Chrom je světle bílý, lesklý, velmi tvrdý a zároveň křehký kov. Používá se v metalurgii při výrobě legovaných ocelí a dalších slitin, tenká vrstva chrómu chrání povrch kovových předmětů před korozí a zvyšuje jejich tvrdost.

Má teplotu tání 1875°C a hustotu $7,2\text{g/cm}^3$. Odolnost proti korozí je spojena vysokou schopností pasivace. Ve sloučeninách se vyskytuje především v mocenství Cr^{+3} a Cr^{+6} ,

sloučeniny Cr^{+2} jsou silnými redukčními činidly a za normálních podmínek jsou oxidovány vzdušným kyslíkem na trojmocné.

4.11.2 Výskyt a výroba

V přírodě se chrom vyskytuje velmi často současně s rudami železa například jako ruda chromit, chemicky podvojný oxid železnato-chromitý $\text{FeO} \cdot \text{Cr}_2\text{O}_3$. Malá množství chromu přispívají k zabarvení drahokamů smaragdu a rubínu.

Hlavním postupem metalurgického získávání chromu je redukce chromitu uhlíkem (koksem) ve vysoké peci. Výsledkem je přitom slitina chromu s železem – ferrochrom, který lze dále přímo používat při legování speciálních ocelí a slitin s obsahem Fe a Cr.

Výroba čistého chromu je poněkud komplikovanější. Nejprve je z chromové rudy působením roztaveného louhu sodného (NaOH) připraven dvojchroman sodný $\text{Na}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, který je uhlíkem redukován za vzniku oxidu chromitého Cr_2O_3 . Posledním krokem je redukce oxidu hliníkem nebo křemíkem za vzniku elementárního chromu.

4.11.3 Využití chromu

Hlavní využití chromu je legování řady typů ocelí (korozi-vzdorné, žáruvzdorné, žárovevné, nástrojové atd.) i slitin neželezných kovů (Ni, Co). Velký význam mají galvanické povlaky, které zajišťují požadovaný vzhled i tvrdost a ořevzdornost.

Nejkvalitnější oceli, používané pro výrobu nástrojů pro opracování jiných kovů (rychlořezná ocel) obsahují až 18 % Cr. Podobné druhy ocelí s nižším zastoupením chromu slouží k výrobě geologických vrtných nástrojů, frézovacích nástrojů pro opracování dřeva a v řadě podobných aplikací.



Obr.4.41: Neurologické kladívko s chromovaným držadlem

V každodenním životě se s chromem setkáme spíše jako s materiálem, chránícím kovové povrchy před korozí za současné zvýšení jejich estetického vzhledu. Klasickým příkladem je chromování chirurgických nástrojů i jiných zařízení používaných v medicíně (sterilizátory, zubařské nástroje a podobné předměty sloužící k vyšetření pacienta). V civilním životě nalezneme chromované předměty často ve vybavení koupelen, jako součást luxusních automobilových doplňků a v řadě dalších aplikací.

4.12 Stříbro a jeho slitiny

4.12.1 Vlastnosti stříbra

Stříbro je bílý kov o hustotě 10,5 g/cm³ a teplotě tání 960°C, velmi tvárný, je možno jej vytepat na fólie o tloušťce zlomků milimetru. Mechanické vlastnosti stříbra jsou velmi nízké, proto se zlepšují přísadami různých kovů. Důležitou vlastností stříbra je také jeho elektrická vodivost, která je nejvyšší ze všech kovů. Na vzduchu stříbro neoxiduje, časem však jeho povrch ztrácí lesk a tmavne.

Po mechanické a metalurgické stránce je velmi dobře zpracovatelné – má dobrou kujnost a dobře se odlévá (dobrá zatékavost). Ve sloučeninách se vyskytuje především v mocenství Ag⁺¹, sloučeniny dvojmocného stříbra Ag⁺² jsou nestálé a mají silné oxidační schopnosti. Na suchém čistém vzduchu je stříbro neomezeně stálé. Stačí však i velmi nízké množství sulfanu (sirovodíku) H₂S, aby stříbro začalo černat, protože na jeho povrchu vzniká vrstva sulfidu stříbrného Ag₂S.

4.12.2 Výskyt a výroba

V přírodě se stříbro obvykle vyskytuje ve sloučeninách, vzácně však i jako ryzí kov. Téměř vždy je stříbro příměsí v ryzím přírodním zlatě. Z minerálů stříbra je nejvýznamnější akantit a jeho vysokoteplotní modifikace (nad 179 °C) argentit Ag₂S.

Jako zdroj pro průmyslové získávání stříbra jsou však rudy olova, mědi, niklu nebo zinku. Nejvíce používanou metodou pro získávání i čištění ryzího stříbra je elektrolýza, z halogenidů. Je však možno jej jako ryzí získat i pyrometalurgicky přímým tavením.



Obr.4.42: Akantit

Největšími světovými producenty stříbra jsou Mexiko, Kanada, Peru, Austrálie a USA. V Čechách se ve středověku dobývalo značné množství stříbrných rud. Nejznámější lokalitou je patrně Kutná Hora – kromě dobývání a rafinace stříbra zde vznikla i královská mincovna, kde byly raženy známé stříbrné groše. Další lokality s výskytem stříbrných rud nalezneme i v Krušných horách a na Českomoravské vysočině.



Obr. 4.43: Ryzí stříbro jako přírodní minerál

4.12.3 Využití stříbra

Elementární stříbro je v praxi využíváno především pro své unikátní fyzikální vlastnosti – vynikající elektrickou a teplotní vodivost, relativně dobrou chemickou stabilitu a odolnost vůči vlivům okolního prostředí a vysokou odrazivost pro viditelné světlo. Uplatní se zde jak kovové elementární stříbro, tak především jeho slitiny s dalšími kovy.



Obr. 4.44: Klenotnické využití stříbra - prsteny

Velmi tenká vrstva kovového stříbra se využívá jako záznamové médium na CD a DVD kompaktní discích. Vysoké optické odrazivosti stříbra se již po dlouhou dobu využívá při výrobě kvalitních zrcadel. Stříbro jako drahý kov je materiálem pro výrobu pamětních mincí a medailí.

Kovové stříbro i jeho sloučeniny jsou základním prvkem vysoce účinných miniaturních elektrických článků (baterií), používaných v moderních náramkových hodinkách a mnoha dalších malých elektrických spotřebičích.

Jeho sloučeniny jsou nezbytné pro fotografický průmysl.

4.12.4 Slitiny stříbra

Samotné stříbro je poměrně měkké a je náchylné k černání při styku se sloučeninami síry v atmosféře. Proto se pro praktické aplikace obvykle slévá s jinými kovy, které zlepšují jeho mechanické, tak vzhledové vlastnosti.

Klenotnické zlaté slitiny obsahují téměř vždy určité procento stříbra. Naopak klenotnické stříbro je obvykle slitinou s obsahem kolem 90% stříbra, doplněné mědí. Pro zvýšení povrchové kvality stříbrných šperků (lesk, odolnost) se někdy tyto předměty pokrývají velmi tenkými vrstvičkami kovového rhodia.

V medicíně nacházejí uplatnění slitiny stříbra především v dentálních aplikacích. Relativní zdravotní neškodnost a chemická odolnost stříbra se uplatňuje především ve slitinách s převládajícím obsahem palladia, ale existuje celá řada dentálních slitin na bázi zlata, které obsahují menší množství stříbra.

Speciálním případem dentálního využití stříbra jsou amalgámy. Tyto slitiny se používají jako výplně otvorů vzniklých po odvrtání zubního kazu. Jejich hlavními složkami je rtuť a slitiny stříbra s mědí a cínem.

Velmi významné místo patří slitinám stříbra jako základu pájek pro využití především v elektrotechnice. Stříbrné pájky se vyznačují vysokou elektrickou vodivostí, tvrdostí a relativně vysokým bodem tání. Slitiny stříbra s cínem, kadmiem a zinkem slouží v elektrotechnice jako spojovací materiál pro konstrukci plošných spojů a další aplikace.

4.13 Zlato a jeho slitiny

4.13.1 Vlastnosti zlata

Zlato je chemicky odolný, velmi dobře tepelně i elektricky vodivý, ale poměrně měkký drahý kov žluté barvy s teplotou tání 1063°C. Jeho krystalická mřížka je plošně centrovaná, což stejně jako v případě stříbra, předurčuje vynikající tvárnost. Specifickou vlastností zlata je jeho vysoká hustota 19,3g/cm³.



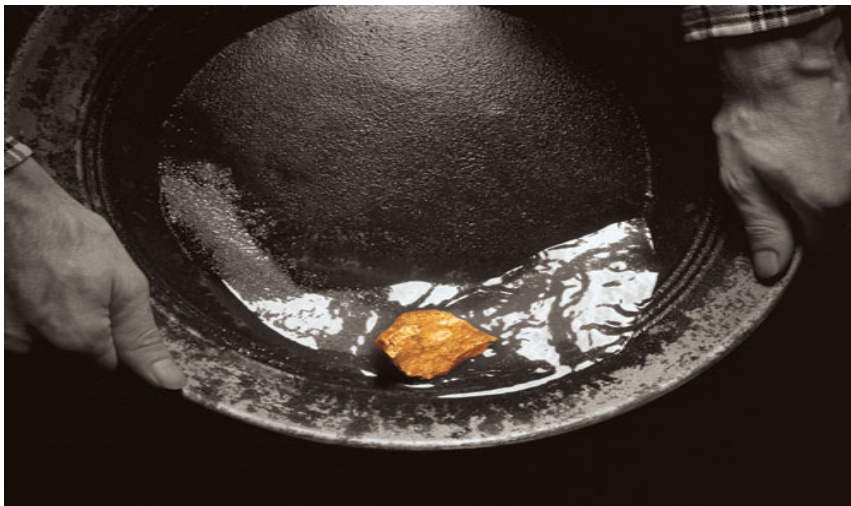
Obr. 4.45: Přírodní kovové zlato

4.13.2 Výskyt zlata a jeho získávání

V horninách se vyskytuje prakticky pouze jako ryzí kov. Krychlový nerost, tvoří plíšky a zrna uzavřená nejčastěji v křemenné výplni žil. Krystaly nejsou hojné, často mikroskopicky rozptýleny v šedém žilném křemenu.

Vyskytuje se ryzí nebo ve slitině se stříbrem. Po rozrušení žil se dostává do náplavů a odtud se rýžuje. Nejbohatší světová naleziště jsou v jižní Africe, na Uralu, v Austrálii; v

Kanadě a na Sibíři. V Česku jsou zlatonosné žíly mj. ve středních Čechách (např. Jílové u Prahy, Roudný), v Jeseníkách (Zlaté Hory) a v okolí Kašperských hor, na Slovensku u Kremnice.



Obr. 4.46: Rýžování zlata

V současné době jsou rýžovatelná ložiska zlata již prakticky vyčerpána. Těží se proto ložiska, kde je zlato velmi jemně rozptýleno v hornině a kov je z horniny získáván hydrometalurgicky. Proces spočívá v jemném namletí horniny, aby se do kontaktu s loužicím roztokem mohla dostat většina přítomných mikroskopických zlatých zrněk. Namletá hornina se potom louží buď kyselým roztokem s vysokým obsahem chloridových iontů a oxidačním prostředím (např. sycení plynným chlorem nebo přísady kyseliny dusičné) nebo naopak roztokem alkalických kyanidů za probublávání vzdušným kyslíkem. Z loužicího roztoku se poté zlato získává redukcí, např. průchodem elektrického proudu roztokem – elektrochemicky, kdy se kovové zlato vyloučí na záporné elektrodě – katodě. Redukci je možno provést i chemicky přísadkou vhodného redukčního činidla (hydrazin, kovový hliník apod.).

4.13.3 Využití zlata

Používá se zejména k výrobě šperků a to ve formě slitin se stříbrem, mědí, zinkem, palladiem či niklem. Samotné ryzí zlato je příliš měkké a šperky z něj zhotovené by se nehodily pro praktické použití. Příměsí palladia a niklu navíc zbarvují vzniklou slitinu – vzniká tak bílé zlato.

I velmi tenký zlatý film na povrchu neušlechtilého kovu jej dokáže účinně ochránit před korozí. Kromě toho zlacení zvyšuje hodnotu pokoveného předmětu, jako příklad mohou sloužit různé sportovní a příležitostné medaile, pamětní mince, bižuterie apod.



Obr. 4.47: Pozlacená socha

Na nekovové povrchy (dřevo, kámen) se zlato nanáší mechanicky, přičemž se využívá faktu, že kovové zlato lze rozválcovat nebo vyklepat do mimořádně tenkých folií o tloušťce pouze několika mikrometrů. Zajímavé je, že tyto velmi tenké fólie mají při pohledu proti světlu zelenou barvu. V tomto případě má zlatá folie na povrchu pozlaceného předmětu funkci nejen ochrannou, ale i estetickou (pozlacené sochy, části staveb).

Vzhledem ke své vynikající elektrické vodivosti a inertnosti vůči vlivům prostředí je velmi často používáno v mikroelektronice a počítačovém průmyslu. Hlavním oborem využití je zde především zajištění dlouhodobé a bezproblémové vodivosti důležitých spojů v počítači (např. kontakty mikroprocesoru). Pro tyto účely se příslušné kontaktní povrchy elektrolyticky pokrývají tenkou zlatou vrstvou.

Zlato se využívá i ve sklářském průmyslu k barvení nebo zlacení skla. Na povrch skleněného předmětu se přitom nejprve štětečkem nanáší roztok komplexních sloučenin zlata v organické matrici. Po vyžhání se organické rozpouštědlo odpaří a na povrchu skla zůstane trvalá zlatá kresba. Přidavky malých množství zlata do hmoty skloviny se dosahuje zbarvení skla různými odstíny červené barvy.



Obr. 4.48: Využití zlata ve sklářském průmyslu

Zlato je již dlouhou dobu součástí většiny dentálních slitin, tedy materiálů sloužících v zubním lékařství jako výplně zubů napadených zubním kazem nebo pro konstrukci můstků a jiných aplikací. Důvodem je především zdravotní nezávadnost zlata, které je natolik chemicky inertní, že ani po mnohaletém působení poměrně agresivního prostředí v ústní dutině nepodléhá korozi. Čisté zlato je však příliš měkké a proto se aplikují jeho slitiny především s mědí, stříbrem, palladiem, zinkem, cínem, antimonem, někdy je součástí dentální slitiny také indium, iridium, rhodium nebo platina.



Obr.4.49: Zlaté cihly



Obr.4.50: Zlaté investiční mince

Zlato je možné používat jako investiční nástroj, lze nakoupit tzv. investiční zlato, které je dle evropské legislativy osvobozeno od DPH. Pro tyto účely vydávají světové mincovny novorážby a zlaté slitky (cihly). Vynikají tím, že v malém objemu koncentrují velkou finanční hodnotu a mají často i značnou estetickou hodnotu.

4.14 Platina a její slitiny

4.14.1 Vlastnosti platiny

Platina je velmi těžký, tažný a chemicky mimořádně odolný drahý kov stříbřitě bílé barvy s teplotou 1773°C. Jedná se o kov velmi tvárný, který je specifický, podobně jako zlato, vysokou hustotou 21,5 g/cm³, je elektricky i tepelně středně dobře vodivý. Vedle zlata patří platina k chemicky nejodolnějším kovům. Odolává celé řadě agresivních chemikálií.



Obr. 4.51: Kovová platina

4.14.2 Výskyt

Platina se v přírodě vyskytuje prakticky pouze ve formě ryzího kovu, i když téměř vždy jsou v menší míře přítomny i další platinové kovy jako rhodium, palladium nebo iridium.

Nejbohatší světová naleziště jsou v jižní Africe, kde se v některých hlubinných dolech v Jihoafrické republice těží až ve čtyřkilometrové hloubce. Existují zde však i naleziště, kde se hornina s jemně rozptýlenými částicemi kovu těží povrchově.

4.14.3 Využití platiny

Platina a její slitiny (s Ir, Rh, Ru, Au, Pd, Cu...) se uplatňují v chemickém, automobilovém, sklářském průmyslu, elektrotechnice a v klenotnictví.

Vzhledem ke svým mechanickým vlastnostem a chemické odolnosti jsou platina a především její slitiny s rhodiem a iridiem používány na výrobu odolného chemického ná-

dobí pro rozklady vzorků tavením nebo spalováním za vysokých teplot. Ve sklářském průmyslu je základním materiálem speciálních pecí na výrobu optických vláken.



Obr. 4.52: Platinové nádobí

Ve farmaceutickém průmyslu jsou komplexní sloučeniny cis-platiny základem velmi účinných cytostatik, tedy látek potlačujících rakovinné bujení.

Značně velkých objemů dosahuje výroba termočlánků pro přesné měření vysokých teplot na bázi slitin platiny s rhodiem. Hlavní využití těchto typů termočlánků je ve sklářském a hutnickém průmyslu.



Obr. 4.53: Využití platiny ve šperkařství

V omezené míře se platina používá se zejména k výrobě šperků a k pokovování méně ušlechtilých kovů. Je také součástí některých dentálních slitin především ve spojení s moderními keramickými materiály.

5 POLYMERY (12)

5.1 Úvod (21)

Radiopřijímače, telefony, nejrůznější elektrospotřebiče, svítidla, nábytek, hračky, obaly, izolace, stavební prvky, součástí aut, ale také umělecká díla - to je jen zlomek z bezpočtu technických, designových i výtvarných aplikací, v nichž dnes můžeme kolem sebe najít materiály označované jako polymery nebo pro jejich tvárnost také plasty.



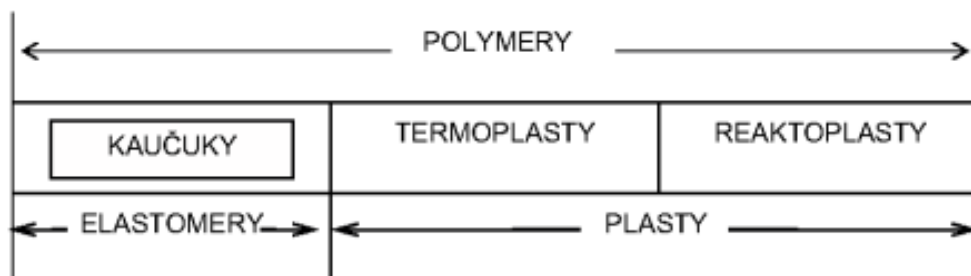
Obr.5.1: Výstava výrobků z polymerních materiálů (23)

Polymer - tento název je odvozen od řeckého slova poly čili mnoho a slova mer, což znamená část. Mer je tvořen skupinou atomů, která se v makromolekule neboli velké molekule pravidelně opakuje. Makromolekuly obsahují několik set až tisíc atomů uhlíku, vodíku, kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků.

Jsou pevné, za tepla dobře tvarovatelné, mají malou hustotu, dobré izolační vlastnosti, vedou elektrický proud i teplo, na vzduchu jsou stálé a některé se vyznačují odolností proti účinkům žíravín a jiných chemikálií.

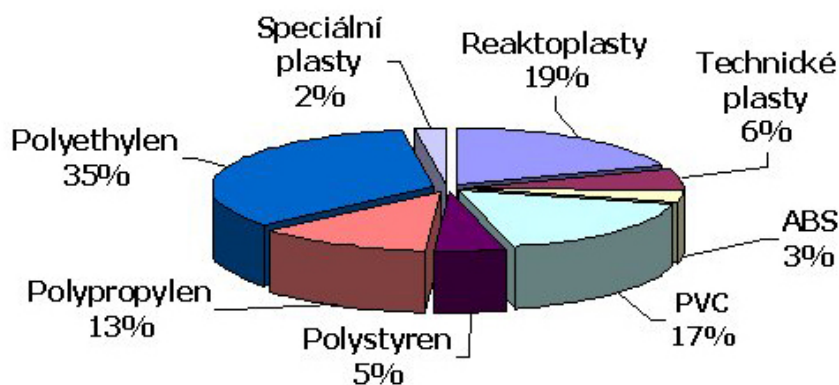
Ve formě výrobku jsou prakticky v tuhém stavu, ale v určitém stadiu zpracování v podstatě ve stavu kapalném, dovolující, většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku požadovaný tvar.

Polymery rozdělujeme na elastomery a plasty (viz obr.5.2).



Obr.5.2: Základná klasifikace polymerů z hlediska jejich chování za běžné a zvýšené teploty

První plast (dříve „umělá hmota“) byl vyroben roku 1862. Do té doby se ke zhotovování nejrůznějších předmětů používaly přírodní materiály jako dřevo, sklo, keramika, slonovina nebo jantar. Plasty tyto drahé materiály v mnoha případech plně nahradily.



Obr.5.3: Světová produkce plastů v roce 1999

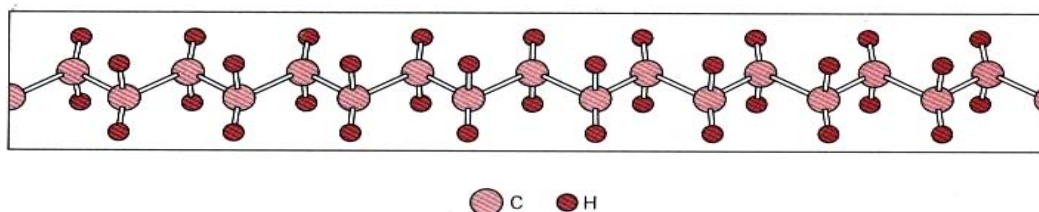
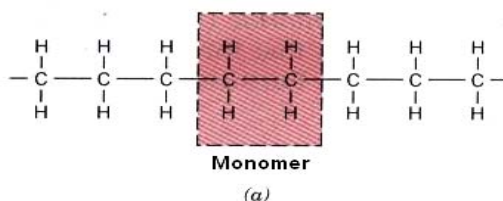
5.2 Základní pojmy

Základní stavební jednotkou plastů je **monomer** (nízkomolekulární látka). Nejjednodušší uspořádání stavebních jednotek v molekule se nazývá **strukturní jednotka**. Některé makromolekuly mají totožnou stavební a strukturní jednotku jako například polypropylen .

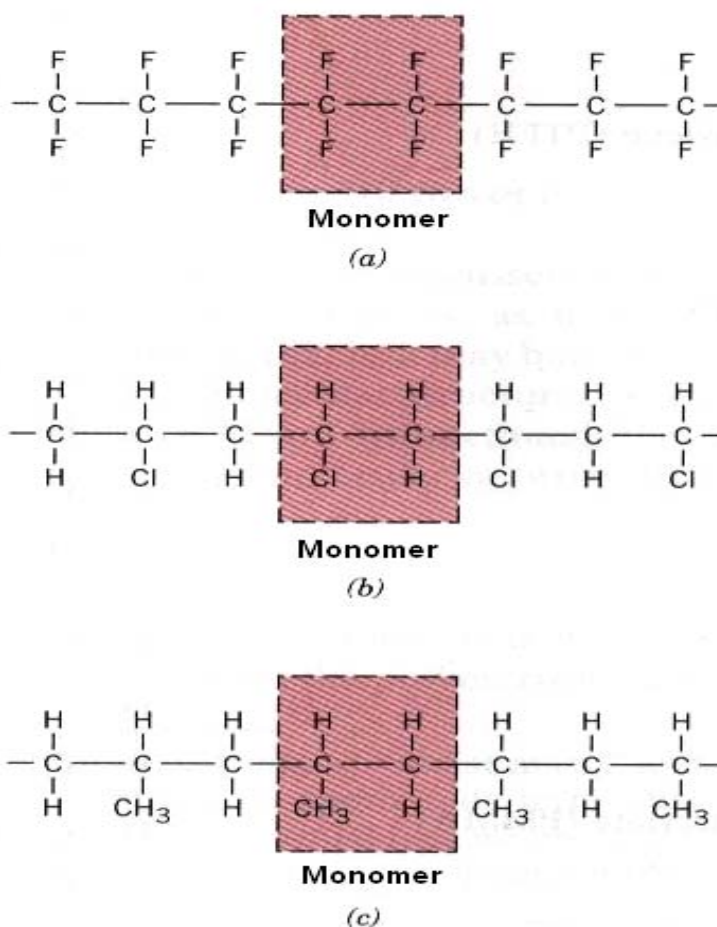
TERMOPLASTY				
<i>Polyolefiny</i>		<i>Akryláty</i>		
PE	polyetylén	PMMA	polymethylmetakrylát	
	HDPE	lineární polyetylén	MBS	metylmetakrylát – butadien - styrén
	LDPE	rozvětvený polyetylén	<i>Polyamidy</i>	
	UHMWPE	ultravysokomolekulární polyetylén	PA	polyamid
PP	polypropylén	<i>Polyétery</i>		
<i>Chlorované plasty</i>		POM	polyoxymetylén	
PVC	polyvinylchlorid	PFO	polyfenylénoxid	
<i>Styrénové plasty</i>		<i>Polyestery</i>		
PS	polystyrén	PET	polyetyléntereftalát	
	PS-GP	standardní polystyrén	PBT	polybutyléntereftalát
	PS-HI	houževnatý polystyrén	PC	polykarbonát
	PS-E	pěnový polystyrén	<i>Vinylové plasty</i>	
SB	styrén – butadien	PVAC	polyvinylacetát	
ABS	akrylonitril – butadien – styrén	<i>Ketony, sulfidy, sulfony a imidy</i>		
SAN	styrén – akrylonitril	PEEK	polyéteréterketon	
ASA	akrylonitril – styrén – akrylát	PPS	polyfenylénsulfid	
<i>Fluoroplasty</i>		PSU	polysulfon	
PTFE	polytetrafluóretylén	PES	polyéthersulfon	
ETFE	etylén - tetrafluóretylén	PI	polyimid	
REAKTOPLASTY				
<i>Fenoplasty</i>		<i>Epoxidy</i>		
PF	fenolformaldehydová pryskyřice	EP	epoxidová pryskyřice	
<i>Aminoplasty</i>		<i>Polyesterové pryskyřice</i>		
UF	močovinoformaldehydová pryskyřice	PESL	polyesterové skelné lamináty	
MF	melaminové pryskyřice			

Obr.5.4: Základní systematické rozdělení plastů dle chemického složení

Spojováním strukturních jednotek vznikají makromolekulární látky. Děje se tak pomocí tzv. polyreakcí. Každá strukturní jednotka musí mít minimálně dvě místa schopná chemicky reagovat s dalšími molekulami. Reakce schopná je například karboxylová skupina - COOH nebo alkoholická skupina - OH.



Obr. 5.5: Polyethylen

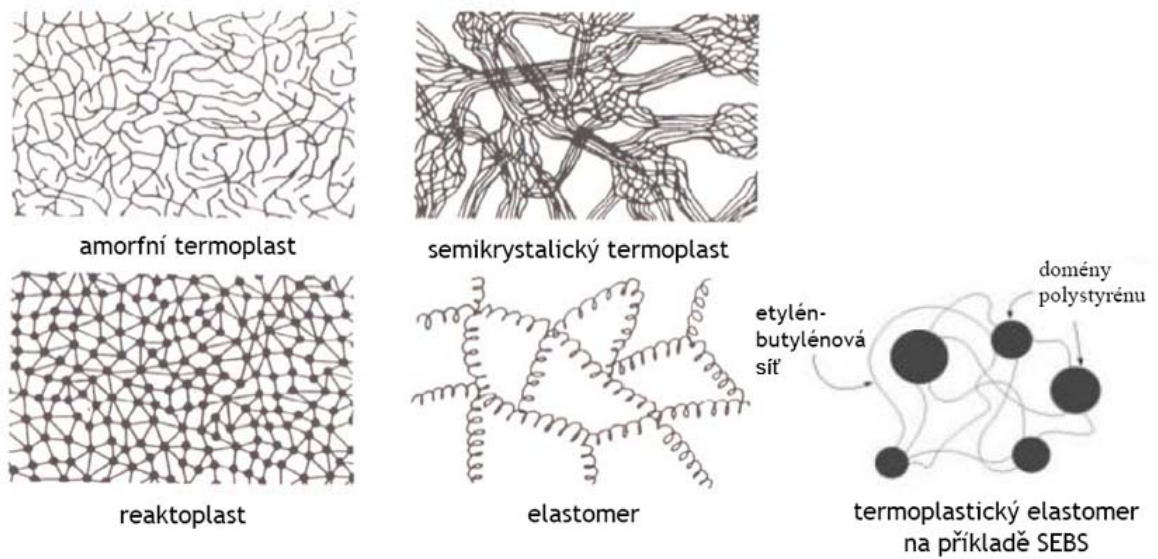


Obr.5.6: Struktura a) polytetrafluoroethylenu, b) polyvinylchloridu a c) polypropylenu.

Při dvou reakčních místech v molekule jsou molekuly schopné chemicky se vázat se dvěma sousedními molekulami. Tak vznikají lineární molekuly ve tvaru řetězce a hmota se nazývá **lineární polymer**. Mezi těmito pružnými řetězci působí slabé Van der Waalsovy vazby (patří sem polyetylén, polyvinylchlorid, polystyrén, polymethylmetakrylát, nylon a též např. fluorokarbony).

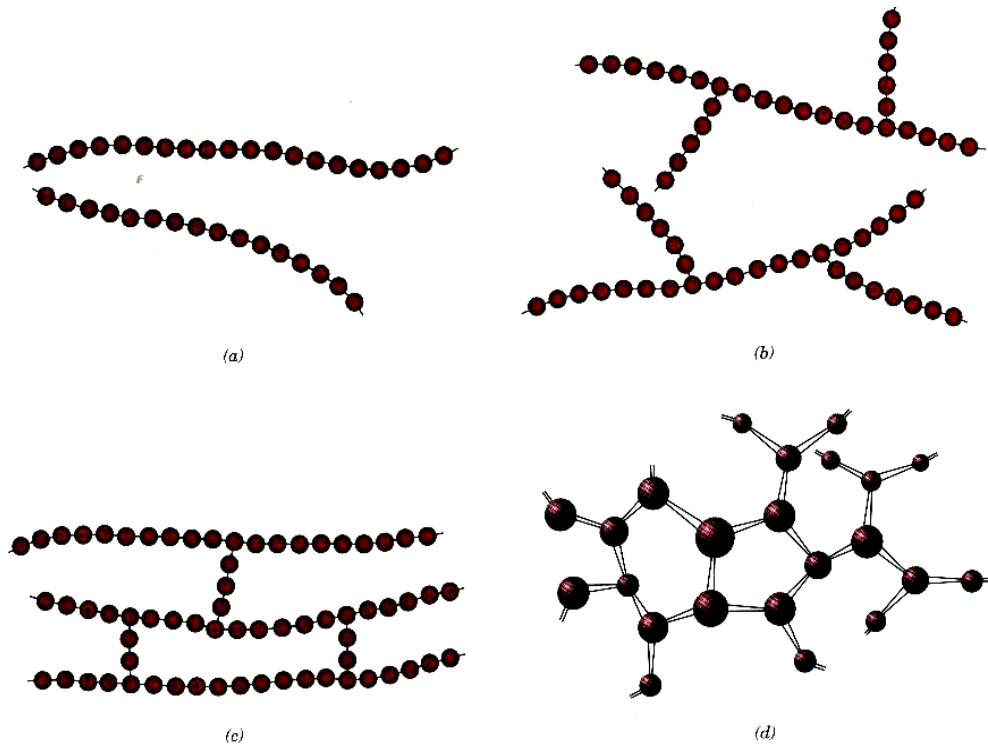
Polymery s makromolekulami, vyznačující se hlavním řetězcem, z něhož vystupují postranní větve, se nazývají **rozvětvené polymery**. Celá struktura má menší hustotu, než lineární polymery.

Sousední řetězce polymerů, které jsou mezi sebou propojeny články vázány pomocí silné kovalentní vazby se nazývají **polymery se zkříženými články**. Sem patří různé elastické materiály, jako je např. přírodní i syntetický kaučuk



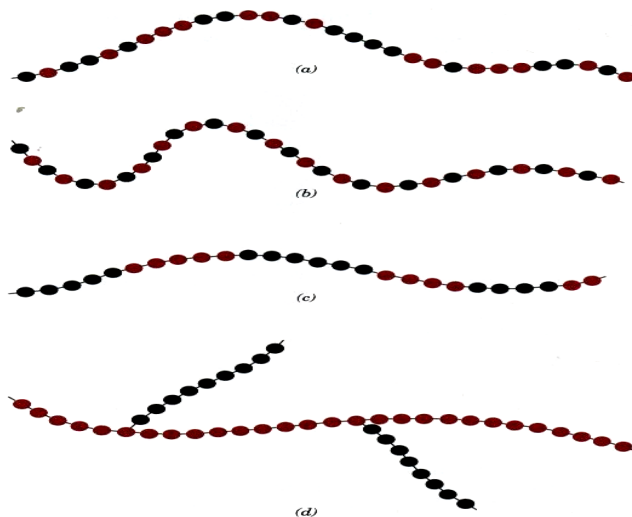
Obr.5.7: Nadmolekulární struktura polymerů

Při třech a více reakce schopných místech se mohou strukturální jednotky spojovat také směrem do prostoru a vznikají prostorově zesíťované molekuly, **zesíťovaný polymer**. Tyto polymery mají díky svým zesíťovaným molekulám jiné fyzikální a chemické vlastnosti než polymery lineární. Patří sem epoxidy a fenolformaldehydy.



Obr.5.8: Struktura polymerů a) lineární; b) rozvětvená; c) se zkříženými články; d) zesíťovaná

Polymery vznikají polymerací více než jednoho druhu monomerů jsou nazývány **ko-polymery**. Monomery se mohou střídat buď náhodně, nebo střídavě. Různé struktury kopolymerů jsou znázorněny na Obr.5.9.



Obr.5.9: Struktura kopolymerů- a) náhodná; b) alternující; c) statistická (sledová); d) roubovaná

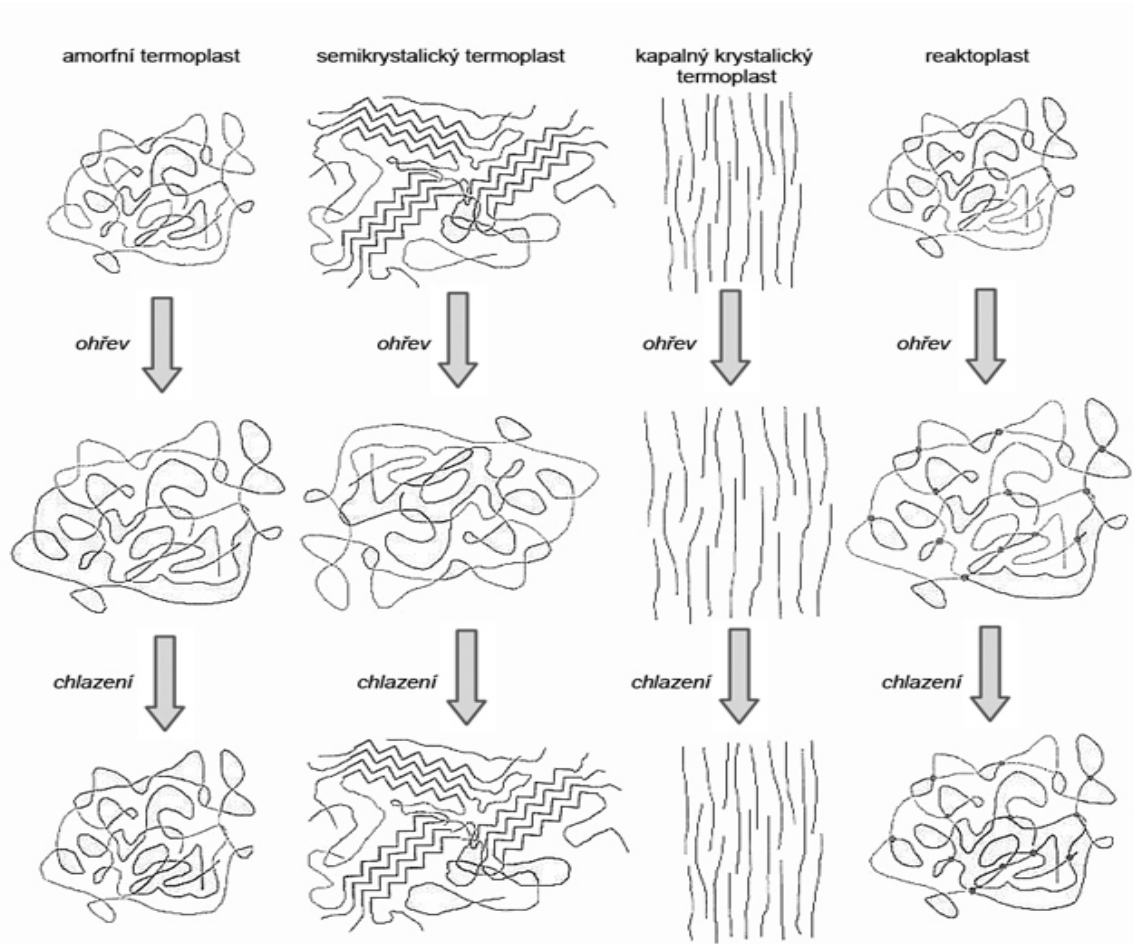
Důležitým pojmem při výrobě je rovněž **polymerační stupeň**. Toto číslo vyjadřuje počet opakujících se základních jednotek (monomerů) v řetězci molekuly a u pevných látek nabývá hodnot kolem stovek až tisíců. Samozřejmě všechny řetězce nejsou stejně dlouhé. Jejich polymerační stupeň kolísá kolem jedné hodnoty, které říkáme **střední polymerační stupeň**. Tento označujeme písmenem **n**.

Polymerační stupeň zásadně ovlivňuje vlastnosti dané látky. Čím je hodnota polymeračního stupně (molekulové hmotnosti) vyšší, tím je polymer tužší, odolnější proti nárazům, ale po roztavení je hůře tvárný.

Tato vyjádření ukazují názvosloví makromolekulárních látek v závislosti na polymeračním stupni:

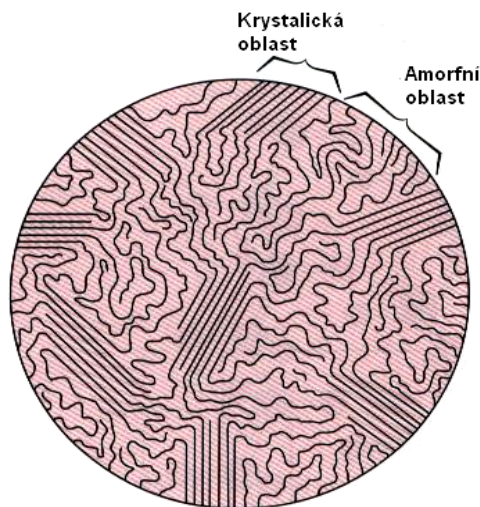
$n \leq 10$ – *oligomery*

$n > 10$ – *polymery*



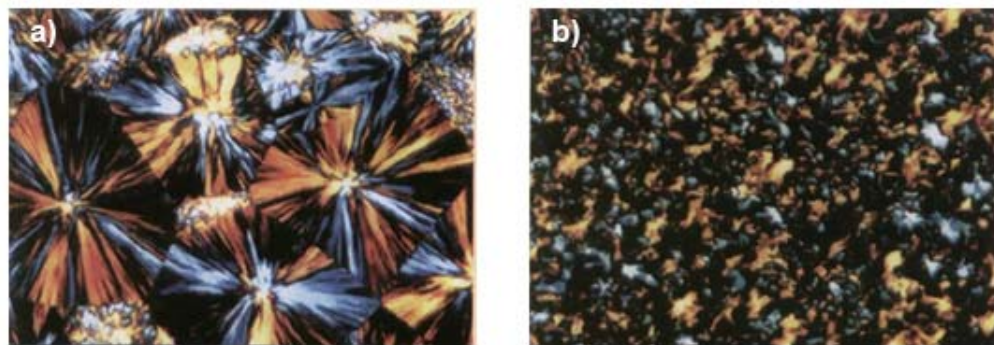
Obr.5.10: Nadmolekulární struktura polymerů v závislosti na teplotě

Velká délka makromolekul je na překážku jejich úplné krystalizaci. Přesto i u polymerů pozorujeme **krystalický** stav takový, že makromolekuly jsou pravidelně uspořádány v omezeném objemu (Obr.5.11.).

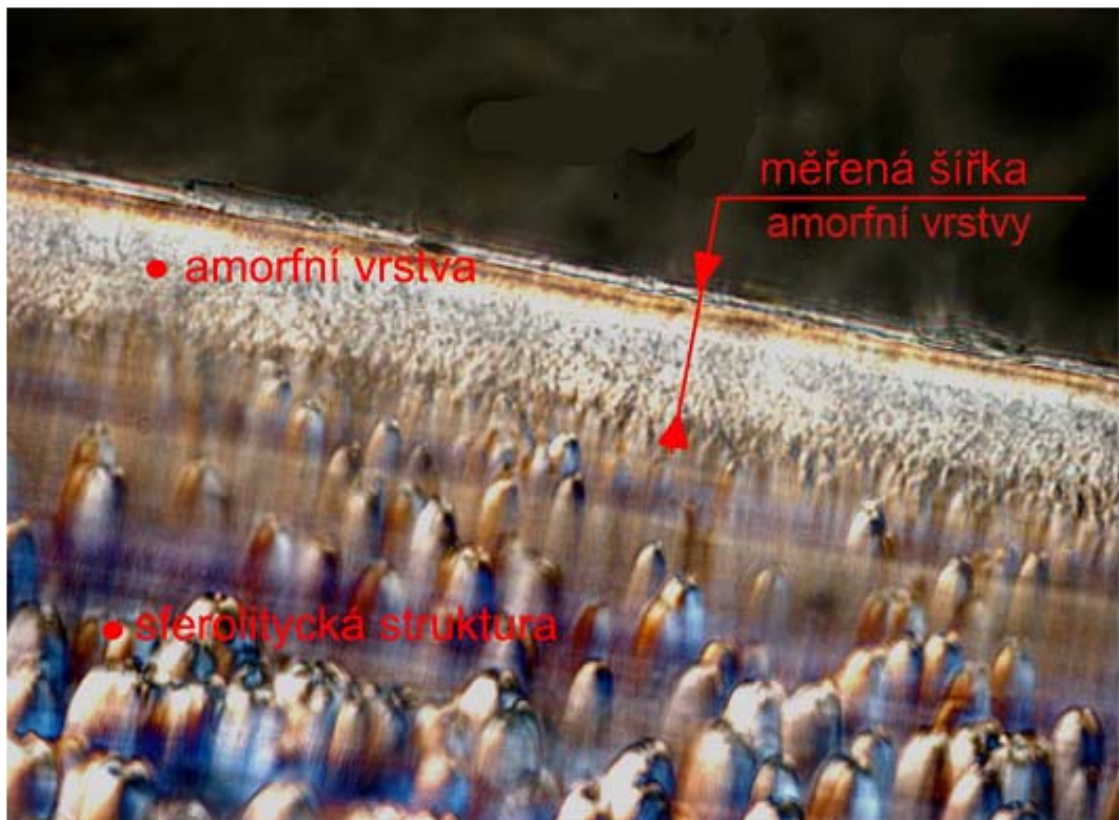


Obr.5.11: Semikrystalický polymer

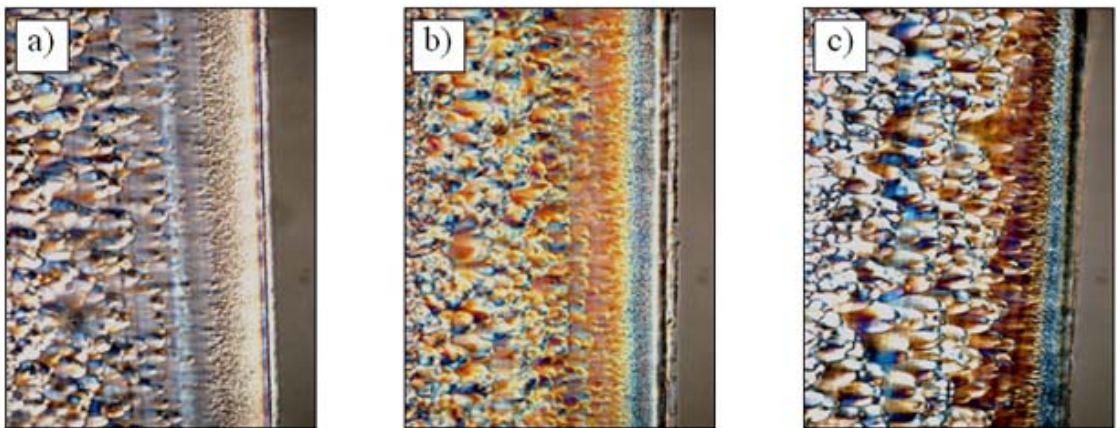
Plasty vykazují určitý stupeň uspořádanosti. Ten se označuje jako stupeň krystalinity (pohybuje se od 40 do 90 %) a vyjadřuje relativní podíl uspořádaných oblastí, uložených mezi oblastmi amorfními. Nemůže nikdy dosáhnout 100 %, proto se krystalické plasty označují jako **semikrystalické**. Patří sem PE, PP, PA, PTFE, POM, atd. Jsou mléčně zaka-lené, index lomu je větší a jsou charakterizovány houževnatostí materiálu, pevnost a modul pružnosti roste se stupněm krystalinity. Použitelnost semikrystalických plastů je do teploty tání T_m .



Obr.5.12: Sférolity (v polarizovaném světle jako tmavý maltézský kříž) v PP
a) bez nukleáčního činidla; b) s nukleáčním činidlem

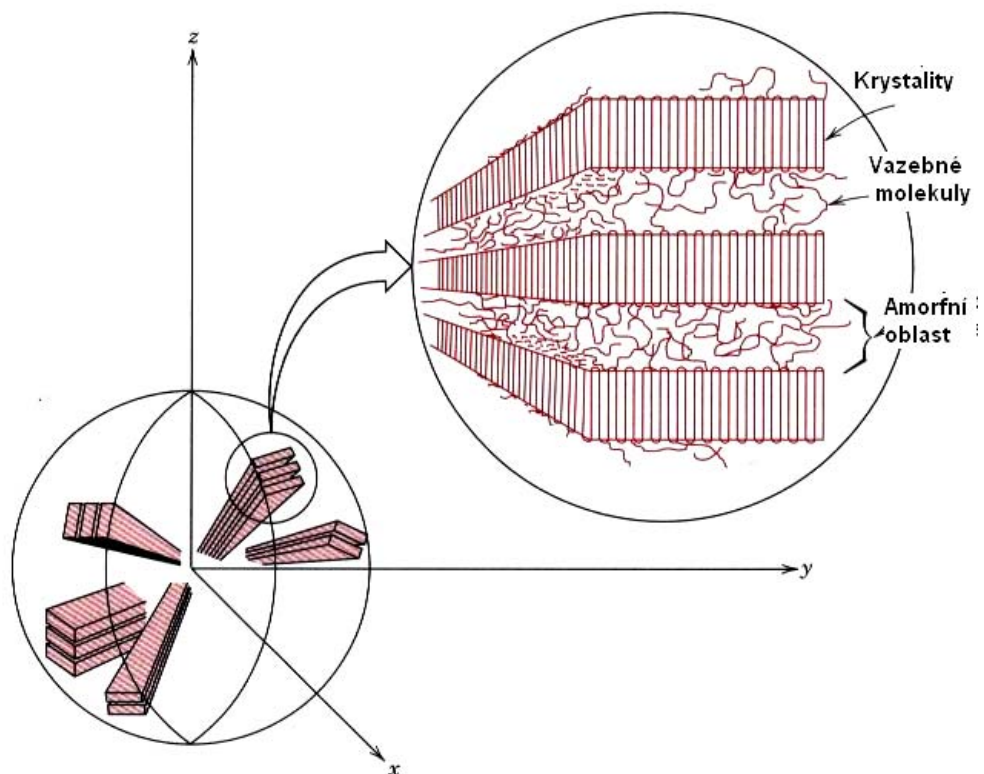


Obr.5.13: Nadmolekulární struktura semikrystalického plastu



Obr.5.14: Charakteristické rozdíly ve struktuře semikrystalického výstřiku (PE) na jeho povrchu a v jádře, v závislosti na teplotě temperance (chlazení)
 a) $T_m=20^\circ\text{C}$; b) $T_m=40^\circ\text{C}$; c) $T_m=80^\circ\text{C}$

Mnohé polymery, krystalizující z taveniny, vytvářejí tzv. **sférolity** (Obr.5.11 až 5.15), které mají, jak zní jejich název, kulovitý tvar.



Obr.5.15: Sférolit

Amorfní plasty jsou takové, kde makromolekuly zaujímají zcela nahodilou pozici. Patří sem např. PS, PMMA, PC, apod. Jsou charakteristické tvrdostí, křehkostí, vysokou

pevností, modulem pružnosti a jsou vzhledem k nízkému indexu lomu (1,4 až 1,6) průhledné, resp. dle propustnosti světla čiré (92 % propustnosti světla), transparentní anebo průsvitné (60 % propustnosti světla). Součinitel teplotní roztažnosti α je menší, než u semikrystalických polymerů. Použitelnost amorfních polymerů je do teploty zesklnění T_g .

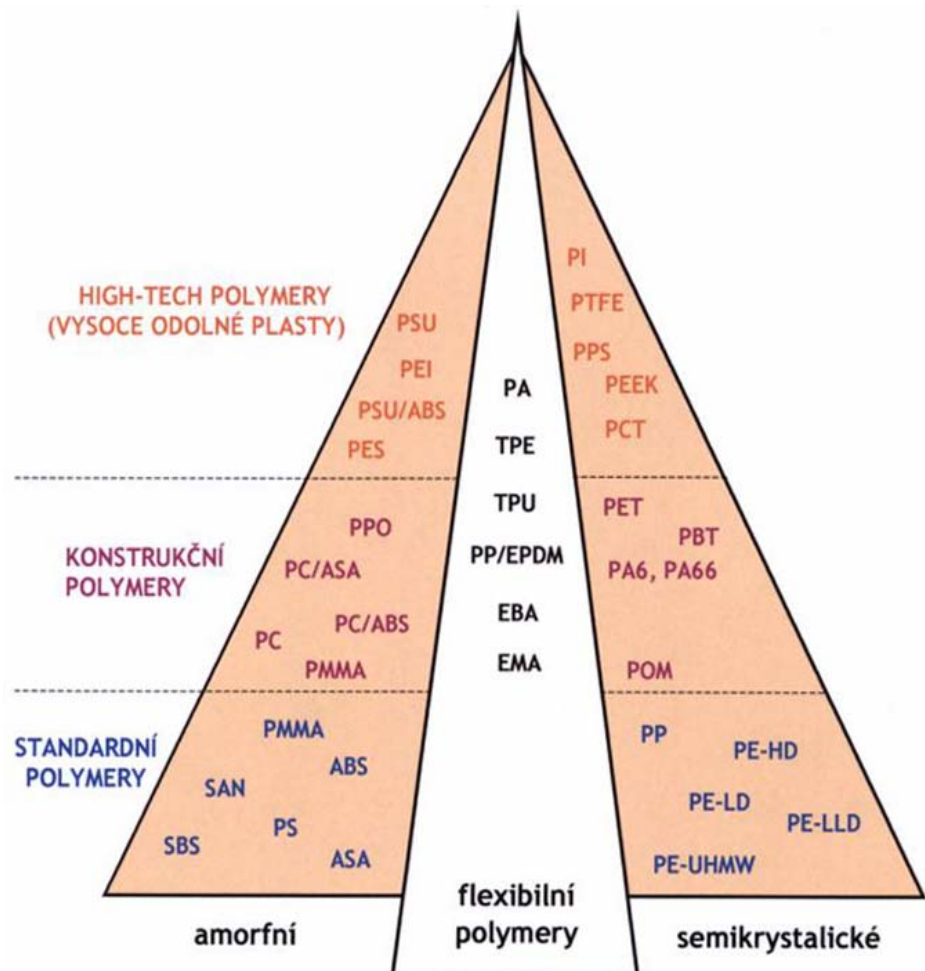
druh plastu		T_g [°C]	T_m [°C]
semikrystalické plasty	LDPE	-120	110
	HDPE	-120	130
	POM	-50	175
	PP	-15	170
	PA 6	50	223
	PA 6.6	50	260
	PTFE	126	327
	PEEK	143	334
	PI	> 400	-
amorfní plasty	PVC	87	-
	PS	95	-
	ASA	100	-
	SAN	105	-
	ABS	105	-
	PMMA	110	-
	PC	150	-
	PSU	190	-

Obr.5.16: Přejíhodové teploty pro vybrané druhy plastů

5.3 Rozdělení (1)

1. Podle původu:

- **Přírodní:** celuloza, glukosový polysacharid, který je základním stavebním materiálem většiny rostlin, ale i základem k výrobě viskózných vláken nazývaných umělé hedvábí, přírodní vlákna (konopí, juta, bavlna, jantar), přírodní pryskyřice (jantar, sosnová pryskyřice, olivová pryskyřice), přírodní kaučuk (měkká pryž, tvrdá pryž).
- **Syntetické:** uměle vytvořená, patří sem většina plastů: termoplasty (polyetylén, polypropylén, PVC, polystyrén, polymethylmetakrylát, polyamid), reaktoplasty (polyuretan, polyesterové, epoxidové a fenolové pryskyřice), elastomery (silikony, styrol-butadien, polyizopren, butadien-akrilonitril)



Obr.5.17: Rozdělení polymerů dle aplikace a jejich nadmolekulární struktury

2. Podle struktury makromolekul:

- Lineární
- Rozvětvené
- Zesíťované
- prostorově zesíťované

3. Podle chování za tepla:

- **Termoplasty:** látky, které působením tepla měknou, stávají se plastické, mohou se tvarovat. Po ochlazení opět tvrdnou, aniž se mění jejich chemické složení, přičemž takovéto přeměny jsou vratné.
- **Reaktoplasty:** látky, které se působením tepla chemicky mění, tvrdnou, po vytvrzení se jejich tvar teplem nemění, do plastického stavu je již nelze převést. Takové přeměny jsou tedy nevratné

- **Eleastomery:** látky, které působením tepla měknou a lze je tvářet, avšak jen omezenou dobu. Během dalšího zahřívání dochází k chemické reakci – prostorovému zesíťování struktury = vulkanizace. U elastomerů na bázi termoplastů nedochází ke změnám chemické struktury, proces měknutí a následného tuhnutí lze opakovat teoreticky bez omezení, probíhá zde pouze fyzikální děj.

4. Podle toho, zda vznikly :

- polymerací
- polykondenzací
- polyadící

5. podle chemického složení

- C,H

Polyolefiny	Polyetylén	PE
	Polypropylén	PP
	Polybutén	PB
Polystyrény	Polystyrén	PS
	Houževnatý polystyrén	HIPS

- C, H, Cl, F

Chlorované	Polyvinylchlorid	PVC
	Polyvinylidenchlorid	PVDC
Fluorované	Polyvinylidenfluorid	PVDF
	Polytetrafluoretylén	PTFE

- C, H, O

Polyestery	Polyetylentereftalát	PET
	Polykarbonát	PC

Akryláty	Polymethylmetakrylát	PMMA
----------	----------------------	------

- C, H, O, N

Polyamidy	Polyamid 6	PA 6
	Polyamid 66	PA 66
Polyuretany	Polyuretan	PUR

5.4 Termoplasty

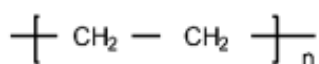
Makromolekulární látky, které lze dodaným teplem, dovést do plastické stavu. Po snížení teploty – ochlazením se plastický stav změní na pevný v novém tvaru. Mezi makromolekulami vznikají fyzikální vazby. Pevná látka může být amorfní, nebo krystalická.

5.4.1 Polyolefiny a fluoroplasty

Pod pojmem polyolefinů rozumíme homopolymery a kopolymery olefinů neboli alkenů, tj. uhlovodíků, které obsahují ve svých molekulách jednu dvojnou vazbu. K nejdůležitějším patří homopolymery a kopolymery etylénu a propylenu a homopolymery 1-butenu.

Fluoroplasty jsou nejvýznamnější deriváty polyolefinů, tj. polymery olefinů, v jejichž molekulách byly vodíkové atomy nahrazeny fluorovými buď úplně, nebo částečně a zbývající vodíkové atomy případně nahrazeny atomy chloru.

Polyetylén (PE) (21)



Vyznačuje se vysokou houževnatostí a tažností, velmi dobré elektro-izolační vlastnosti, velmi nízká nasákavost, vysoká chemická odolnost, minimální vodopropustnost, homologace pro styk s potravinami



Obr.5.18: Polyetylén

Použití: obalový materiál, trubky na rozvod plynu, studené vody, homogenní desky - výroba nádrží, sudů, přepravek, galvanizačních van, vysokonapěťových kabelů, stolů a obkladů stěn v hygienickém prostředí, zátěžových stolů, součástí dopravníků a přepravních linek, k opracování na CNC, vykládání rypadel, násypek a sil, tyče – k dalšímu opracování

Rozeznáváme dva typy polyetylénu:

- Lineární = vysokohustotní **HDPE** (High-Density Polyethylen)
- Rozvětvený = nízkohustotní **LDPE** (Low-Density Polyethylen)

Typ polyetylénu a jeho vlastnosti	Schéma větvení makromolekul
HDPE – lineární, vysokohustotní polyetylén	
je tvrdší, tužší a nepatrně křehčí hustota $\rho = 940 \div 970 \text{ kg/m}^3$ má vyšší teplotu tání $T_m = 130 \text{ }^\circ\text{C} \div 135 \text{ }^\circ\text{C}$ má vyšší pevnost $\sigma_M = 20 \text{ MPa} \div 30 \text{ MPa}$ má vyšší modul pružnosti $E_t = 700 \text{ MPa} \div 1000 \text{ MPa}$	
LDPE – rozvětvený, nízkohustotní polyetylén	
je měkčí a ohebnější má lepší rázovou i vrubovou houževnatost při nízkých teplotách hustota $\rho = 915 \div 930 \text{ kg/m}^3$ má nižší teplotu tání $T_m = 105 \text{ }^\circ\text{C} \div 110 \text{ }^\circ\text{C}$ má nižší pevnost $\sigma_M = 8 \text{ MPa} \div 10 \text{ MPa}$ má nižší modul pružnosti $E_t = 100 \text{ MPa} \div 200 \text{ MPa}$	

Obr.5.19: Vlastnosti lineárního (HDPE) a rozvětveného (LDPE) polyetylénu

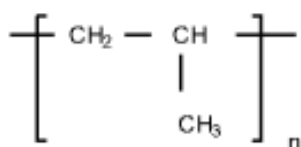
Kromě nich se můžeme setkat ještě s polyetylénem o střední hustotě **MDPE** (Middle-Density Polyethylen), lineárním nízkohustotní polyetylénem **LLDPE** (Linear-Low-Density Polyethylen) a polyetylénem o velmi vysoké hustotě **UHMWPE** (Ultra High Molecular Weight Polyethylen).

UHMWPE se používá například k výrobě kluzných vodících elementů, ložisek, šneků vytlačovacích strojů, součásti kloubních protéz, lisovacích forem na keramiku.



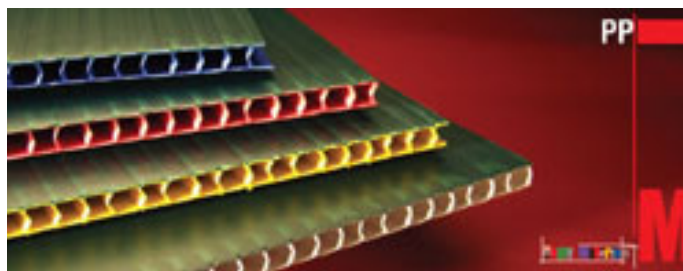
Obr.5.20: Příklady aplikací LDPE a HDPE

Polypropylen (PP) (21)



Je dlouhodobě teplotně použitelný až do 110 °C, velmi dobrá odolnost proti chemikáliím, nevýhodou nemodifikovaných typů (homopolymer) je nízká houževnatost při teplotách kolem 0 °C, kopolymer až do -40 °C! snadné dělení, ohýbání za studena, opracování konvenčními nástroji, sváření

Použití na vstřikované výrobky – kryty a pláště domácích spotřebičů, průmyslové nádrže, součásti automobilů, hračky, nábytek dutinové desky – výroba reklamních tabulí, homogenní desky – výroba bazénů, galvanizačních van, chemických tanků, nádob a nádrží, septiků homogenní lehčené desky – výroba nádrží, nádob, tyče – k dalšímu opracování



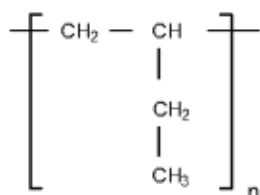
Obr.5.21: Polypropylen

Výtlačným vyfukováním se zpracovává na folie s velmi dobrou chemickou odolností, dlouhodobě teplotně použitelný.



Obr. 5.22: Folie z polypropylenu

Polybutén (PB)



Poly 1- buten. Patří k novějším typům plastů.

Je mimořádně odolný vůči korozi za napětí a tečení. Trubky z tohoto materiálu proto mohou mít menší tloušťky stěn než trubky z PE nebo PP. Za běžné teploty je též houževnatější než PP. Dlouhodobě odolává teplotě 90°C. jeho chemická odolnost a elektroizolační vlastnosti jsou podobné ostatním polyolefinů. Podobné je i zpracování, především na trubky a folie, k výrobě těžkých pytlů.

Fluoroplasty

Převážnou většinu produkce zaujímá **polytetrafluoretylén** $(-\text{CF}_2 - \text{CF}_2 -)_n$. ve čtyřicátých letech dvacátého století jej začala vyrábět firmy Du Pont pod obchodním názvem **teflon**.

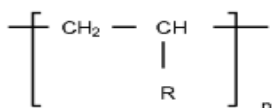
Vyznačuje se velkou tepelnou odolností a mazacími schopnostmi. Je vysoce krystalický, nerozpustný pod teplotou tání (327°C). Chemickou odolností tak předčí ušlechtilé materiály jako jsou vzácné kovy, ale i sklo, emaily, smalty, nerezavějící oceli apod.

Používá se pro samomazná třecí ložiska, teflonové pánve, holicí strojky (nános teflonu na čepelkách)

5.4.2 Vinylové polymery (26)

Většinou se získávají polymerací monomerů a patří mezi nejdůležitější plasty.

Obecné schéma:



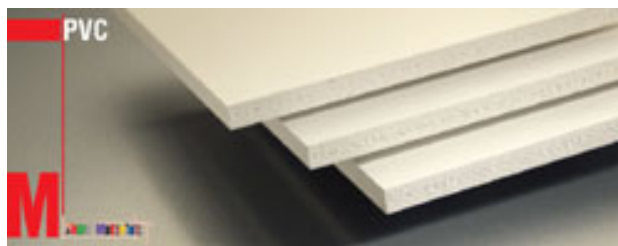
Dosazením za $-\text{R} = -\text{Cl}$	dostaneme	polyvinylchlorid (PVC)
$-\text{OH}$		polyvinylalkohol (PVAL)
$-\text{O}-\text{CO}-\text{CH}_3$		polyvinilacetát (PVAC)
$-\text{C}_6\text{H}_5$		polystyren (PS)

Polyvinylchlorid (PVC) (21)

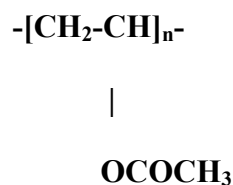
Společně s PE a PP je nejmasověji vyráběným syntetickým plastem. Důvodem jsou poměrně levné způsoby výroby vinylchloridu a významné vlastnosti jeho polymeru, tj. snadná zpracovatelnost všemi základními postupy (válcování, vytlačování, vstřikování, vyfukování, vakuové tvarování), schopnost želatinace s různými změkčovadly.

Je nehořlavý, bez nutnosti aditivace, dobrá chemická odolnost, výborná odolnost proti povětrnostním vlivům, snadné zpracování, nutnost stabilizace proti tepelné, termo- a fotooxidační degradaci

Použití ve stavebnictví – okna, dveře, podlahoviny, hydroizolační fólie, dekorativní panely, dělicí příčky, obklady zdí, obalový materiál, hračky, technologické palety, jímky a cisterny, elektroizolace kabelů a drátů, roury, trubky, potrubí, medicína – jednorázové sterilní potřeby



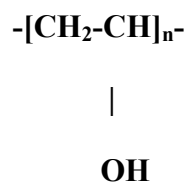
Obr. 5.23: Polyvinylchlorid

Polyvinylacetát (PVAC)

Vyrábí se radikálovou polymerací. Na trh je dodáván v pevném stavu jako prášek nebo transparentní hmota, ve formě roztoků v organických rozpouštědlech nebo jako latex.

Je poměrně stálý i za zvýšených teplot. Odolává olejům, petroleji i éterům. Rozpouští se v alkoholech, ketonech, v chlorovaných i aromatických uhlovodících. PVAC s nižší střední molekulovou hmotností jsou citlivé k účinku vody (mohou jí absorbovat až 20%).

Použití především k výrobě lepidel, roztočových nátěrových hmot a latexů, známé jako nátěrové hmoty pro vnitřní použití.

Polyvinylalkohol (PVAL)

Nezískává se z monomeru, vyrábí se hydrolyzou polyvinylacetátu.

Jde o bílý prášek krystalického charakteru, odolný vůči rozpouštědlům, která závisí na molekulové hmotnosti (čím vyšší molekulová hmotnost tím horší rozpustnost). V olejích není rozpustný ani při vyšších teplotách. Odolává organickým kyselinám, je málo termoplastický a použitelný za teplot od -50°C do 130°C, nad 200°C se rozkládá.

Svým chováním připomíná želatinu – použití v potravinářství (ovocné želé), v chemickém průmyslu, zahušťovadlo pro nátěrové hmoty, výroba lepidel a impregnačních hmot odolných benzínu, olejům, tukům a rozpouštědlům.

Použití na obalové folie, chirurgické nitě, textilní vlákna, těsnění, hadice, aj.

Polyvinylacetaly

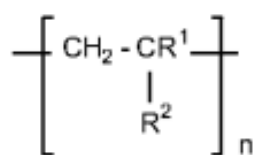
Vznikají kondenzací polyvinylalkohol s aldehydy v kyselém prostředí.

Nacházejí uplatnění v oblasti nátěrových hmot a lepidel, zpracování na obalové folie – vhodné zvláště pro balení ovoce a masa (malá propustnost pro vodní páru a vodu) a jejich adhezních vlastností se využívá při výrobě některých vrstvených materiálů.

Polyvinylformal se používá například v kombinaci s fenolformaldehydovými pryskyřicemi k výrobě elektroizolačních laků na vodiče, lepidel na kovy a kličů pro lisované desky z překližkového dřeva. *Méně viskózní* typy **polyvinylbutyralu** slouží k výrobě laků na hliníkové folie a tuby a základních nátěrů na kovy. *Vysoce viskózní* typy se používají jako adhezivní mezivrstva při výrobě bezpečnostních skel. *Středně viskózní* typy se kombinují s fenoplasty a aminoplasty a jsou surovinou pro vypalovací laky na kovy, které musejí odolávat silnému mechanickému namáhání.

5.4.3 Styrenové a akrylové polymery (26)

Obecné schéma:



Dosazením za $\text{R}^1 = \text{H}$

a za $\text{R}^2 = -\text{C}_6\text{H}_5$ dostaneme polystyren (PS)

$\text{R}^2 = -\text{CO}-\text{O}-\text{H}$ kyselinu polyakrylovou

$\text{R}^2 = -\text{CO}-\text{O}-\text{R}^3$ polyalkylakryláty

$\text{R}^2 = \text{C} \equiv \text{N}$ polyakrylonitril (PAN)

za $R^1 = -CH_3$

a za $R^2 = -CO-O-H$

kyselinu polymethakrylovou

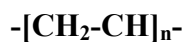
$-CO-O-R^3$

polyalkylmethakryláty

Pro technicky nejdůležitější polymery můžeme za alkyl (R^3) dosadit:

	$-R^1 = -H$ dostaneme:	$-R^1 = -CH_3$ dostaneme:
methyl ($-CH_3$);	polymethylakrylát	polymethylmethakrylát
ethyl ($-CH_2CH_3$);	polyethylakrylát	polyethylmethakrylát
butyl ($-CH_2-CH_2-CH_2-CH_3$);	polybutylakrylát	polybutylmethakrylát

Polystyren (PS) (21)



|



Je jeden z nejstarších syntetických polymerů a dnes patří k nejpoužívanějším. Lze jej připravit všemi známými polymeračními technikami, nejběžněji však radikálovou polymerací.



Obr. 5.24: Polystyren

Polystyren je tvrdý, křehký polymer, má vysoký lesk a výborné elektroizolační vlastnosti. Odolává účinkům alkoholů, minerálních olejů a zásad. je použitelný do 75°C.

Snadno se zpracovává, především vstřikováním, pevnost je minimálně závislá na čase a teplotě, nenasákává vodu, je snadná zpracovatelný a barvitelný.

Nedostatkem PS je malá rázová houževnatost, houževnatý PS (High Impact PS) je ne-transparentní materiál s lepšími mechanickými vlastnosti oproti standardnímu PS (rázová houževnatost).

Jeho použití jako pěnový polystyren je pro tepelné izolace, obalové materiály, součásti elektrických spotřebičů, jednorázové pohárky, stěny sprchových koutů. Houževnatý polystyren se používá na ski boxy, součásti automobilů, zařízení dětských hřišť, sportovní zařízení, ledničky a chladicí zařízení.

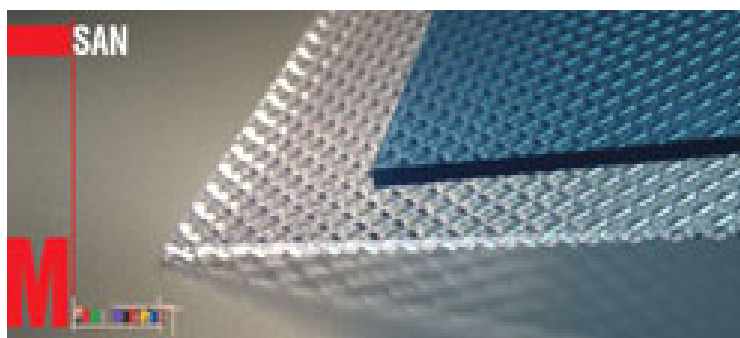
Kopolymery styrenu

Některé z nich řeší základní nedostatek PS, tj.jeho značná křehkost.

Kopolymer styrenu s akrylonitrilem (SAN):

Transparentní, vysoce lesklý materiál, s propustností světla cca 90 %, vysoce rozměrově i tepelně stabilní (do 90 °C), s dobrými mechanickými vlastnostmi, nízkou absorpcí vody.

Je možné jej použít ve styku s potravinami (kromě UV stabilních typů). Dále se používá pro stěny sprchových koutů, obalové materiály (dózy, kosmetika atd.), v oblasti medicíny, průmyslových zasklení (dveře, vrata), reklamní štíty a tabule, displeje, zasklívání skleníků, bazénů.



Obr. 5.25: Styrenakrylonitril

Kopolymer styrenu s akrylonitrilem a butadienem (ABS):

Díky akrylonitrilové složce má vyšší chemickou odolnost a současně díky butadienové složce vyšší houževnatost, a to při zachování pevnosti a potřebné tuhosti materiálu.



Obr. 5.26: Akrylonitrilbutadienstyren

Dobře se zpracovávají všemi technikami používanými pro termoplasty, tj. tvářením i tvarováním, z nich nejvýznamnější je vstříkování a vytlačování.

Povrch výrobků je tvrdý a lesklý, může být galvanicky pokovován. Má vynikající chemickou odolnost i odolnost vůči povětrnostním vlivům.

Použití pro interiérové i exteriérové aplikace, interiéry automobilů, ski boxy, kufry, solária, ale i ve spotřebním a obalovém průmyslu.

Akrylové polymery

Vyznačují se vynikající transparentí a odolností proti povětrnosti. mají široké použití od nátěrových hmot až po vlákna. Patří mezi ně polyakryláty, polymethakryláty a polyakrylonitril.

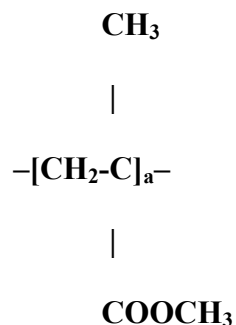
Polyakryláty :

Používají se především v podobě disperzí (latexů), jako nátěrové hmoty, lepidla, ale i na folie.

Polymethyl- α -chlorakrylát se používá k výrobě desek, které jsou lepšími vlastnostmi než polymethylmethakrylátové.

Lépe odolává rozpouštědlům, je tvrdší, má větší pevnost v tahu a ohybu, vyšší tepelnou odolnost i odolnost vůči korozi za napětí. Patří mezi samozhášivé polymery

Z polymethylakrylátu se vyrábějí lepicí folie pro bezpečnostní skla.

Polymethylmethakrylát (PMMA):

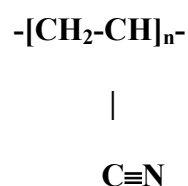
Známý jako organické sklo, plexisklo. Jeho tvrdost je nejvyšší ze všech běžných plastů, má vynikající optické vlastnosti, vysokou odolnost proti UV-záření a povětrnostním vlivům, použití má v rozsahu teplot -25 až +90 °C, je velmi dobře barvitelný.

Svou čírost a naprostou bezbarvost i ve velmi tlustých vrstvách, si zachovává prakticky nezměněnou po dlouhá léta používání i v náročných klimatických podmínkách (např. tropických).



Obr.5.27: Polymethylmethakrylát

Použití nachází pro světelnou reklamu, displeje, orientační systémy, výstavnictví, zasklívání, protihlukové stěny, dělicí příčky, v architektuře a designu (nábytek, lampy, dekorativní předměty), vany, sprchové vaničky, umyvadla, kryty a difuzory svítidel, zadní skupinové svítidly automobilů, LCD displeje, dentální náhrady, aj.

Polyakrylonitril (PAN):

Z jeho roztoku se zpracovává na vynikající textilní vlákno. Při vyšších teplotách se mění na produkt černé barvy, čehož se využívá pro přípravu uhlíkových vláken a polovodičů.

Hydrogely:

Kopolymery odvozené od methakrylových esterů obsahujících nejméně jednu hydroxylovou skupinu v postranním makromolekulárním řetězci.

Výborně se snáší s živou tkání, jsou průhledné a tvarově stálé.

Použití nalézají při výrobě kontaktních čoček.

5.4.4 Polyestery a polyethery (26)

Společným znakem polyesterů je přítomnost esterové vazby v hlavním makromolekulárním řetězci.

Obecný vzorec: $-(R^1-CO-O-R^2)_n-$

Společným znakem polyetherů je přítomnost etherové vazby v hlavním makromolekulárním řetězci.

Obecný vzorec: $-(R-O-)_n-$.

Polyethyléntereftalát (PETP) (21)

Má vynikající optické vlastnosti, dobrou nárazovou odolnost, vynikající chemickou odolnost, snadné tvarování, je schválen pro styk s potravinami a snadno recyklovatelný.



Obr.5.28: Polyethyléntereftalát

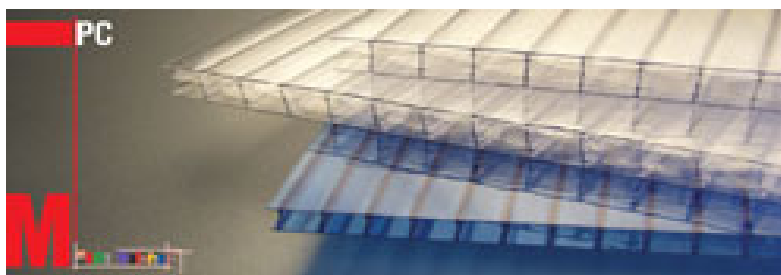
Používá se na vlákna pro textilie, technické tkaniny, lana, výztuže pneumatik a dopravních pásů, fólie pro magnetofonové audio- a videopásky, potravinové obaly, především láhve, světelnou reklamu, displeje, aj.

PETP lahve (PET lahve) se vyrábějí vstřikovacím vyfukováním

Polyethylentereftalátová folie, vyráběná vytlačováním, předčí svou mechanickou pevností folie ze všech ostatním termoplastických materiálů. Zachovává se pružnost do velmi nízkých teplot (až -70°C) a odolná je i vůči vyšším teplotám (až 130°C) a olejům. Jsou opticky čiré, s vynikajícími elektroizolačními vlastnostmi. Málo propouštějí vlhkost a plyny, jsou výborně zpracovatelné. Nevýhodou je jejich vysoká cena.

Polykarbonát (PC) (21)

Spojují řadu velmi dobrých vlastností. Výborné mechanické a dielektrické vlastnosti konstantní v širokém rozmezí teplot (od -70°C do 140°C), jsou transparentní jako sklo, mají vynikající rozměrovou stabilitu, dobrou tvarovou stálost za tepla, dobré tepelně-izolační vlastnosti, nízkou absorpci vody. Odolávají UV záření, oxidaci do 120°C , dlouhodobému působení vody, páry, alkoholů, zředěným roztokům kyselin a solí, amoniaku, amoniů, alifatických uhlovodíků.



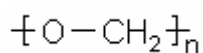
Obr.5.29: Polykarbonát

Použití nacházejí pro veškeré ploché i obloukové zasklívání (náhrada drátoskla), zastřešování světlíků, zimních zahrad, průmyslových objektů, protihlukové stěny, světelná reklama, reklamní tabule, kompaktní disky, DVD, bezpečnostní přilby, pláště počítačů, mobilních telefonů, solární panely, bezpečnostní kryty a průzory strojů a zařízení bezpečnostní přepážky, lékařské přístroje, aj.

Zpracovávají se vstřikováním, vytlačováním, odléváním, lze použít i lisování, třískové obrábění, svařování horkým vzduchem nebo lepení roztokem polykarbonátu v methylenchloridu.

Polyethery (26)

Polyoxymethylen neboli Polyformaldehyd:



V jeho makromolekulách jsou propojeny skupiny $-\text{CH}_2-$ kyslíkovými atomy.

Vyniká tepelnou i chemickou odolností a extrémně malou propustností pro plyny. Krystalickou strukturu si zachovává až do teploty tání beze změny, proto vykazuje v širokém rozmezí teplot jen nepatrné změny fyzikálních vlastností. Je nepatrně nasákavý vodou. Používá se jako konstrukční plast, výrobě ozubených kol, ložisek, krytů strojů a přístrojů, uzávěrů benzinových nádrží, ale i pro balení kosmetických přípravků a k výrobě aerosolových nádobek.

Polyfenylenoxid:

Částečně krystalický polymer s nízkou absorpcí vody, malou teplotní roztažností, vynikajícími elektroizolačními vlastnostmi. Tvrdostí, pevností a houževnatostí předčí polykarbonáty, polyamidy i ABS. Hodí se pro nejnáročnější elektroizolační použití.

5.4.5 Polyamidy a polyurethany

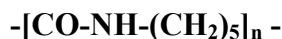
Polyamidy obsahují ve svých hlavních makromolekulárních řetězcích dusíkaté skupiny: $-\text{CO}-\text{NH}-$.

Polyurethany obsahují ve svých hlavních makromolekulárních řetězcích dusíkaté skupiny: $-\text{O}-\text{CO}-\text{NH}-$

Polyamidy

Lineární polymery charakterizované hlavním polymerním řetězcem, v němž se pravidelně střídají skupiny $-\text{CO}-\text{NH}-$ s větším počtem skupin methylenových $-\text{CH}_2-$.

Poly ϵ -kapolaktam (PA6):



Vyznačuje se malou hořlavostí, vysokou odolností vůči oděru, a značnou houževnatostí. Pro jeho dobré mechanické vlastnosti je používán jako konstrukční materiál na součásti strojů, přístrojů a zařízení, například pouzdra kluzných ložisek, ozubená kola, řemenice, nosné kladky.

Zpracovává se rovněž na vlákna-technická (kordy do koster pneumatik a dopravních pásů, vlasce, vlákna na síta, aj.) a textilní (hedvábná, kobercová, aj.)

Polyhexamethylendipamid (PA66):

Ve srovnání s PA6 má vyšší teplotu tání, nižší navlhavost a větší pevnost. Lze jej použít například k balení potravin. slouží v širokém měřítku jako konstrukční termoplast i jako materiál pro výrobu vláken a fólií.

Polyurethany

Ve srovnání s polyamidy mají nižší navlhavost, lepší elektroizolační vlastnosti a větší odolnost vůči vodě, kyselinám a povětrnosti. Vynikají extrémní odolností vůči oděru, dobrou adhezí k řadě materiálů včetně kovových i polymerních a stálostí v prostředí vody a zředěných vodných roztoků kyselin i zásad.

Zpracovávají se vstřikováním, lisováním a zvlákňováním.

Nejčastěji se používají k výrobě lehčených hmot (pěnových materiálů). Polyuretanové pěny se nejčastěji vyrábějí v nepřetržitě pracujících zpěňovacích strojích.

Tvrdé pěny slouží většinou jako izolační materiál ve stavebnictví a strojírenství (chladničky, automobily), měkké pěny se používají na matrace, k laminování textilu, pro obalové účely (ochrana proti nárazu), k výrobě izolačních a těsnících pásek, apod.



spínače, zásuvky a jejich skelety



obložení u řidiče vozu Audi A4

vedení válečkových
a článkových řetězů

zadní nárazník vozu Škoda Fabia Combi

Obr.5.30: Příklady aplikací termoplastů

5.5 Reaktoplasty (26)

Reaktoplasty jsou makromolekulární látky, u nichž při zpracování nastává zesíťování makromolekul - vytvrzení. Vytvrzený reaktoplast je již netavitelný. Při dosažení určité teploty uhebnatí.

Vstřikovací reaktoplasty obsahují příslušnou syntetickou pryskyřici a plnivo.

Proti termoplastům vynikají reaktoplasty tuhostí a tvrdostí, teplotní odolností a tvarovou stálostí za tepla, odolností proti korozi za napětí a proti vlivům povětrnosti. Modul pružnosti není tolik závislý na teplotě jako u termoplastů, takže mechanické vlastnosti reaktoplastů nejsou v rozmezí používaných teplot příliš proměnlivé. Nevýhodou je nepatrná tažnost.

Zpracovatelnost reaktoplastů je určena hlavně tekutostí, která je všeobecně horší než u termoplastů a závisí na druhu pryskyřice a charakteru plniva. Při vstřikování nastává silná orientace plniva, anizotropie vlastností a vzniká velké vnitřní pnutí, které vzhledem ke křehkosti reaktoplastů může někdy vést až k prasknutí výstřiku. Vstřikovací reaktoplasty jsou většinou ve formě granulátu. Výrobní cykly jsou delší než u termoplastů.

5.5.1 Fenoplasty (PF)

Fenoplasty neboli fenolformaldehydové pryskyřice jsou typickým reaktoplastem, vzniklým reakcí fenolů (fenol, trikrezol a xylenol) a formaldehydu. Podle stupně zesíťování rozeznáváme novolakové pryskyřice, rezoly, rezitoly a nejtvrďší rezity.

Z fenolformaldehydových licích pryskyřic se vytvářejí odlitky vytvrzováním reakční

směsi ve formě. Pro zlepšení vlastností lisovacích hmot se přidávají plniva, která mohou být buď organická (dřevěná moučka, vlákna, útržky tkanin), nebo anorganická (břidličná moučka, skleněná vlákna ap.).

Tvrzené fenolické hmoty se používají k výrobě konstrukčních i izolačních výlisků pro elektrotechnický průmysl, pro strojní součásti a k výrobě předmětů denní spotřeby (běžné označení bakelit). Fenolformaldehydových pryskyřic se dále používá k výrobě vrstvených tvrzených hmot – s textilem, dřevem, papírem aj. Mají značný význam pro aplikace ve stavebnictví (nízká měrná hmotnost, pružnost a houževnatost, odolnost proti oděru, nekorodují). Z dalších aplikací fenoplastů můžeme jmenovat lepidla, lehčené hmoty, frikční materiály a kyselinovzdorné tmely.

Základní vlastnosti PF lepidel závisí na molovém poměru výchozích látek, druhu použitého fenolu, katalyzátoru, výrobního postupu (teploty, času kondenzace, obsahu sušiny apod.) Lepený spoj je pružný, odolný proti vroucí vodě, povětrnostním vlivům mikroorganizmům, proti většině rozpouštědel a stárnutí. Nevýhodou je tmavší povrch desky.

Novolaky

Získávají se v kyselém prostředí a při molovém poměru fenol : fd 1:0,7-0,85.

Jsou to lineárně zesíťované pryskyřice, trvale termoplastické a také rozpustné v některých organických rozpouštědlech. Fenolická jádra mají spojená metylénovými vazbami. Nemají podstatnější význam při výrobě lepidel. Samotné novolaky nejsou tvrditelné, zpracovávají se však s hexametylentetraminem (urotropinem) na lisovací hmoty.

Rezoly

Vznikají v zásaditém prostředí a při poměru fenol : fd 1:1,1-2,3.

Rozvětvené makromolekuly rezolů se vytvrzením zesíťují v trojrozměrné makromolekuly pryskyřic, zvané rezity. Vytvrzování lze provést teplem, kyselinami nebo jinými reaktivními látkami.

5.5.2 Aminoplasty (MF)

Kondenzáty formaldehydu s látkami obsahujícími aminové nebo amidové struktury. Největší význam mají kondenzáty na bázi formaldehydu s močovinou (UF – urea-formaldehyde) a melaminem (MF – melanine-formaldehyde).

Zpracovatelnost aminoplastů je horší než u PF, a proto se melaminové plasty někdy modifikují ke zlepšení tekutosti. Modifikace fenolem zhoršuje zdravotní nezávadnost. Výhodou MF je jejich odolnost proti horké vodě, mohou přijít do styku s potravinami. MF je neprůhledný a může být v různých barvách.

Používá se pro elektroizolační součásti, kryty měřících přístrojů, součásti jističů, spínačů průmyslových zásuvek a zástrček, regulační knoflíky, rukojeti, držadla nádobí.

Močovinoformaldehydové pryskyřice (UF)

Vznikají reakcí močoviny s formaldehydem.

Používají se jako lisovací hmoty, lepidla, textilní pomocné prostředky, lehčené hmoty, pojiva v papírenském a lakařském průmyslu.

Melaminformaldehydové pryskyřice (MF)

Vznikají kondenzací melaminu s přebytkem formaldehydu. Nejprve vzniknou methyloformaldehydy, které se dále vytvrzují teplem při 150°C.

Vytvrzené MF pryskyřice jsou sklovité, bezbarvé, křehké hmoty. Vynikají stálostí na světle, sníženou hořlavostí, odolávají horké vodě a kyselinám i alkáliím. Jsou stálé do 150°C. Ve srovnání s fenoplasty nebo UF pryskyřicemi mají mnohem lepší odolnost vůči plazivým proudům. Jsou tedy lepší než pryskyřice UF, avšak dražší.

Používají se nejenom jako lisovací hmoty, ale též pro výrobu lepidel, pro úpravu textilu a papíru a jako lakařská pojiva.

Epoxidové pryskyřice (EP)

Zahrnují velkou skupinu sloučenin, které obsahují v molekule více než jednu epoxidovou (oxiranovou) skupinu.

Na veliké reaktivitě této skupiny, která je schopna reagovat s velkým počtem látek způsobem vedoucím k zesíťovaným produktům, spočívají aplikace těchto pryskyřic jako lepidel, zalévacích a lisovacích hmot, laminátů a lakařských pryskyřic.

Při vytvrzování se neuvolňují žádné vedlejší produkty a dochází jen k velmi malému smrštění. Vytvrzené produkty mají velmi dobré vlastnosti v poměrně široké oblasti teplot. Jsou značně odolné vůči vodě, rozpouštědlům, roztokům kyselin a alkálií. Vytvrzené produkty mají výbornou přilnavost na kovy, sklo, keramiku, dřevo aj. Epoxidové pryskyřice jsou bezbarvé nebo nažloutlé a za normální teploty téměř neomezeně skladovatelné.

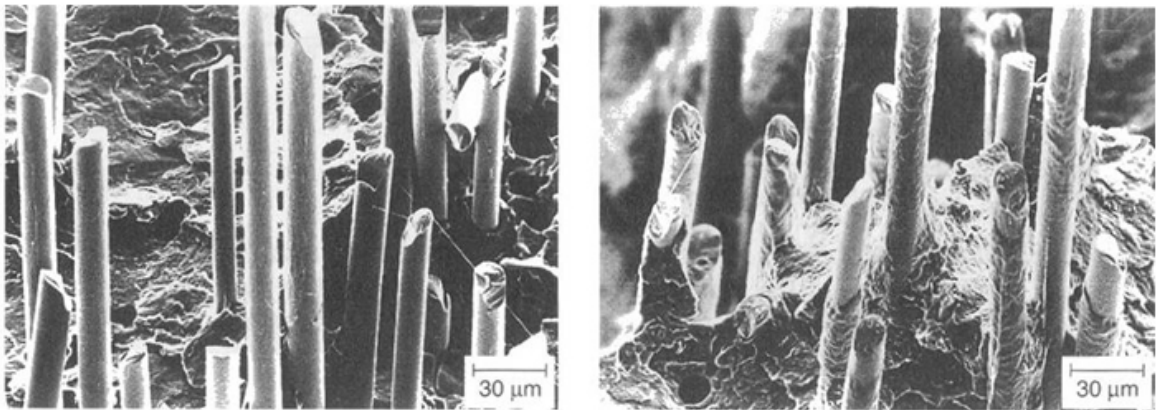
Vytvrzování epoxidových pryskyřic lze provádět také různým způsobem. Prakticky nejvýznamnější je vytvrzování pomocí polyaminů a anhydridů polykarboxylových kyselin. Primární a sekundární alifatické aminy dovolují vytvrzovat EP za normální teploty. Pro vznik zesíťovaného produktu musí mít polyamin alespoň 3 aktivní vodíky v molekule (příklad – diethylentriamin $\text{H}_2\text{NCH}_2\text{CH}_2\text{NHCH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$).

Polyaminy se používají zejména pro vytvrzování lepidel, tmelů, nátěrových hmot, ličních podlahovin a plastbetonů.

Vytvrzování anhydridy se provádí za teplot 100 až 200°C po dobu několika hodin. Používají se pro zalévací, impregnační a laminační pryskyřice v elektrotechnice, a to v kombinacích s nízkomolekulárními typy pryskyřic. Pro práškové nátěrové hmoty se kombinují s typy EP výšemolekulárních.

5.5.3 Nenasycené polyestery (UP) plněné skleněnými vlákny

Zpracovávají se jak na nevyztužené výrobky, tak na výrobky vyztužené skleněnými vlákny. Nevyztužené UP se uplatňují při zalévání různých předmětů, výrobě knoflíků a bižuterie, výrobě syntetického kamene z minerálních drtí, výrobě obkládaček, litých podlah, speciálních plastbetonů i pro použití jako lepidel a tmelů.



Obr.5.31: Struktura plastu plněného skelnými vlákny

Velký význam mají UP vyztužené skleněnými vlákny. Projeví se to hlavně velkým zlepšení mechanických vlastností. Tyto materiály jsou často označovány jako skelné lamináty, i když správně se tak mají označovat pouze vrstvené materiály. Vyznačují se nízkou hustotou a vysokou mechanickou pevností. Proti kovům mají výhodu v odolnosti proti povětrnostním vlivům a chemikáliím, v propustnosti světla, izolaci tepla, zvuku a elektřiny.

Polyesterové vyztužené hmoty jsou vynikající konstrukční materiály a uplatňují se v nejrůznějších oborech od stavby vozidel přes výrobu nábytku lodí či letadel až po užití ve vojenské technice.



Obr.5.32: Příklady aplikací reaktoplastů

5.6 Elastomery (1)

Makromolekulární látky, které mají řetězce řídce zesíťované, což umožňuje velkou pohyblivost makromolekulární sítě. Z toho vyplývá typická kaučukovitá pružnost. Zesíťování probíhá během tváření přidáním síry k základnímu materiálu. Nazývá se vulkanizace.

Elastomery lze působením malých sil silně protahovat, aniž by došlo k jejich přetržení. Pokud deformační síla přestane působit, přechází elastomer do původního stavu.

5.6.1 Kaučuky

Pod pojmem kaučuky rozumíme takové polymery, které mohou být převedeny chemickým (nebo i fyzikálním) zesíťováním v elastomery (pryže).

Přírodní kaučuk (NR) (natural rubber)

Přírodní kaučuk se získává ze stromů kaučukovníku, zejména druhu *Hevea brasiliensis*. Kaučukovníky rostou a přibližně od roku 1900 se i uměle pěstují na plantážích v

tropických pásmech Jižní Ameriky, jihovýchodní Asie i Afriky. Po naříznutí kůry stromu vytéká bílá, mlékovitá kapalina zvaná **latex**, která obsahuje 30 - 40% koloidních částic kaučuku (koloidní částicí se myslí látky, které nejsou schopny krystalizace). Z jediného stromu lze získat 5 - 25 kg kaučuku.



Obr.:5.33: Kaučukový latex

Před vlastní přípravou směsi se zpracovává tzv. lámáním. Příliš dlouhé řetězce se při něm štěpí účinkem vzdušného kyslíku v místě dvojných vazeb.

Kaučuk se vysráží např. kyselinou mravenčí, vypere vodou a suší, buď jen teplým vzduchem (bílá krepa) nebo dýmem (hnědá krepa, jinak též uzený kaučuk).

Rozvoj automobilového průmyslu a s ním rostoucí spotřeba kaučuku na výrobu pneumatik přiměl chemiky k hledání odpovídající náhrady přírodního kaučuku. I když se dnes vyrábí desítky druhů různých syntetických kaučuků, přírodní kaučuk se používá stále, protože dodává směsím žádané vlastnosti. Navíc jeho cena je v současné době poměrně příznivá.



Obr.:5.34: Získávání latexu z kaučukovníku

Syntetické kaučuky

Butadien-styrenový kaučuk (SBR) (styrene-butadiene rubber)



|



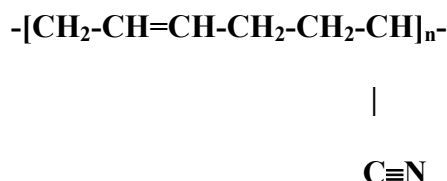
Je univerzální kaučuk, který představuje asi 60% světové výroby syntetických kaučuků. Používá se pro běhouny pneumatik a pro tzv. technickou pryž.

Polybutadienové kaučuky (BR) (butadiene rubber)

Vyrábí se především roztokovou polymerací pomocí Ziegler-Nattových katalyzátorů, kdy vznikají produkty s vysokým podílem 1,4-butadienových jednotek.

Polybutadieny s vysokým podílem cis-1,4-butadienových jednotek se vyznačují vysokou odolností proti oděru, vzniku trhlin a také vyšší odrazovou pružností, než přírodní kaučuk. Mimoto dobře snášejí plniva. Aplikují se hlavně v průmyslu k výrobě pneumatik.

Butadien-akrylonitrilový kaučuk (NBR) (nitrile-butadiene rubber)

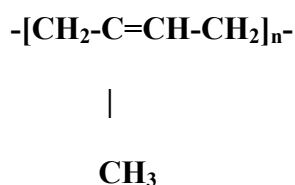


A jiné typy nitrilových kaučuků se vyrábějí radikálovou kopolymerací butadienu s 18 až 49% akrylonitrilu, nejčastěji však v rozmezí 28 až 33% AN.

Se vzrůstajícím obsahem AN stoupá T_g a tvrdost, klesá elasticita a botnavost v pohonných látkách a olejích.

Hlavní oblastí použití jsou benzínové hadice, těsnění, klínové řemeny, dopravní pásy, válce pro tiskařský, textilní a papírenský průmysl.

Polyisopren (IR) (isoprene rubber)



Přírodní kaučuk je téměř stoprocentní cis-1,4-polyisopren. Syntetický polyisoprenový kaučuk IR je stereospecifický, roztokově polymerovaný cis-1,4-polyisopren, jehož struktura a vlastnosti jsou natolik podobné kaučuku přírodnímu, že je lze ve většině aplikací zaměnit. NR i IR krystalizují tažením za pracovních teplot, což vede k vysokým pevnostem v tahu. Tuto vlastnost nemají SBR, BR ani NBR, jejichž pevnost v tahu lze zlepšit aktivními sazezi.



Obr.5.35: Příklady aplikací vulkanizovatelných a termoplastických elastomerů

Silikony

Zahrnují obvykle všechny organokřemičité sloučeniny.

Největší význam mají polymery, jejichž křemíkové atomy jsou spojeny atomy kyslíku a zbylé valence jsou vázány na uhlovodíkové zbytky – tzv. polyorganosiloxany. Na rozdíl od uhlíkatých makromolekul se tedy vazby mezi atomy křemíku v polymerním řetězci uskutečňují prostřednictvím kyslíkových můstků, R je radikál nejčastěji methylový $-\text{CH}_3$, nebo fenylový $-\text{C}_6\text{H}_5$.

Podle průměrné molekulové hmotnosti (délky řetězce) mohou být silikonové polymery připraveny v různé konzistenci jako silikonové oleje a tmely, silikonové kaučuky a silikonové pryskyřice.

Silikony se obecně vyznačují výbornou tepelnou odolností, malou závislostí fyzikálních veličin na teplotě, hydrofobním charakterem a nesnášenlivostí s většinou jiných polymerů, výbornými elektroizolačními a povrchovými vlastnostmi (nízké povrchové napětí). Jsou chemicky i fyziologicky indiferentními materiály.

Silikonové kaučukové pasty

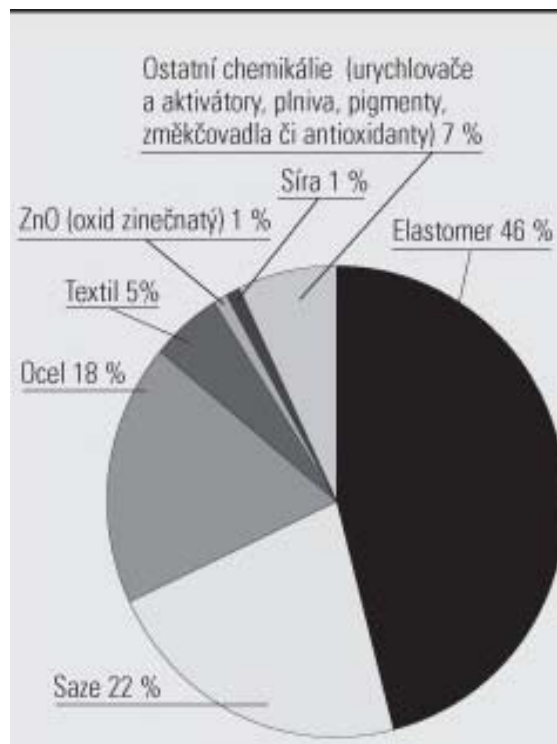
Jsou dvousložkové a vulkanizují se při normální teplotě za vzniku silikonové pryže. Vzniklá pryž je dlouhodobě tepelně odolná v rozmezí -50 až 180°C , krátkodobě snáší 300°C . Mechanické vlastnosti jsou na teplotě téměř nezávislé, pryže odolávají povětrnostním vlivům a plísním.

Používají se jako tmely k těsnění odpadů a spár, jako formovacích hmot, ke zhotovení otisků, k nátěrům tkanin, jako elektroinstalačního materiálu a pod.

Saze

Saze se používají jako plnivo. Dodávají pryži pevnost a tvrdost, zvyšují odolnost proti opotřebení a zahřívání. Způsobují též tmavé zbarvení.

Vyrábějí se například z černouhelného dehtu. U pneumatik na osobní vozy se zkouší jako náhrada sazí modifikovaný SiO_2 a organické silany.



Obr.5.36: Složení pneumatiky

Antioxidanty

I po vulkanizaci zůstávají v zesíťovaném polymeru dvojně vazby, které jsou napadány kyslíkem a ozonem. Obsah ozonu ve vzduchu sice není velký, ale je mnohem agresivnější než kyslík. Vznikají nestabilní peroxidy nebo ozonidy, které se radikálově štěpí a tak dochází k narušení struktury - stárnutí pryže. Tento proces výrazně zpomalují látky zvané antioxidanty a antiozonanty.

Změkčovadla

Změkčovadla zvyšují plasticitu a usnadňují tak mechanické zpracování. Používají se různé minerální oleje.

Vulkanizační činidla

Používá se například prášková síra. Obsah síry ve výsledném výrobku se pohybuje mezi 1 - 3 %. Čím více síry, tím je pryž tvrdší. Zkouší se i jiná vulkanizační činidla - organické peroxidy a vulkanizační pryskyřice.

Urychlovače vulkanizace

Jsou látky, které zkracují dobu vulkanizace z hodin na minuty, snižují vulkanizační teplotu a zpomalují stárnutí. Tyto látky obsahují v molekule dusík a síru. Jejich účinek je různě velký.

Účinnost urychlovačů zvyšuje tzv. aktivátor, což je oxid zinečnatý. Do směsi se přidává malé množství kyseliny stearové, která s ním vytváří stearan zinečnatý. Vstupní suroviny (zvláště ZnO) se kontrolují na přítomnost těžkých kovů (Cu, Mn, Cr, Fe), které působí jako tzv. kaučukové jedy. Vytvářely by v kaučucích různé sloučeniny, které by narušovaly řetězce makromolekul.

Podstata vulkanizace

Vulkanizace je fyzikálně chemický proces, při němž působením vulkanizačního činidla nebo energie dochází k strukturním změnám elastomeru. Elastomer (kaučuk) s lineární strukturou makromolekul se mění v pryž s prostorovou strukturou makromolekul.

Během vulkanizace se mezi lineárními řetězci tvoří příčné vazby, neboli můstky, které způsobí zesíťování struktury látky. Podle použitého vulkanizačního činidla mohou být příčné vazby tvořeny jednoduchou chemickou vazbou (např. vazbou mezi atomy uhlíku jednotlivých řetězců nebo jedním ale i více atomy síry) nebo dokonce objemnými řetězci fenolformaldehydové pryskyřice.

Vlastnosti vulkanizátu jsou závislé na koncentraci příčných vazeb, na pravidelnosti jejich rozložení a na jejich stabilitě.

Výhody vulkanizace

Hlavním důvodem vulkanizace je vylepšení mechanických i fyzikálně chemických vlastností.

Z mechanických vlastností se zvýší pevnost v tahu, strukturní pevnost (odolnost proti dalšímu trhání), odolnost v oděru i pružnost, ale zároveň se sníží tažnost. Na rozdíl od nevulkanizovaného kaučuku, který je rozpustný v některých organických rozpouštědlech, vulkanizovaný kaučuk v nich jen bobtná. Vulkanizovaný kaučuk je také méně citlivý ke změnám teploty a zachovává si ohebnost i tuhost ve značném teplotním rozsahu.

Ekologie

Ve světě vzniká asi 1 miliarda starých pneumatik ročně. Otázka, co udělat se starou pneumatikou, je tedy na místě. Existuje mnoho způsobů, jak staré pneumatiky využít. Například:

Protektorování:

Protektorování je oprava celé oběžné plochy opotřeбенé pneumatiky navulkanizováním nového pryžového povlaku. Byla by to z hlediska ekologie ideální cesta recyklace, pokud by nedocházelo ke stárnutí pneumatik. I nepoužitá pneumatika se díky samovolným degradačním procesům stává po 6 až 7 letech z hlediska bezpečnosti nepoužitelnou.

V současné době se protektorují především pneumatiky nákladních automobilů, které jsou denně v provozu a jsou opotřebené v poměrně krátké době. V nich ještě neproběhly procesy stárnutí ve větší míře.



Obr.5.37: Základní struktura pneumatiky

Výroba regenerátu:

Brzy po objevení vulkanizace se projevila snaha o regeneraci staré pryže. Postupně byla vyvinuta řada postupů zpracovávajících starou pryž na regenerát.

Výrazy regenerace a regenerát nejsou zcela správné, protože žádným způsobem se nezíská zpět kaučuk. Historicky nejstarší je čistě mechanický způsob rozemílání až na jemný prach, který se přidával do nových směsí. V malé míře se tento způsob užívá dosud - je to jediný způsob pro využití tvrdé pryže. Další způsoby regenerace pak byly doplňovány zpracováním tepelným a chemickým (působení vodní páry, alkálií, roztoků solí, organických rozpouštědel, olejů). Oleje se přidávají vždy jako změkčovadlo. Regenerace se provádí v autoklávu.

Při regeneraci dochází k trhání sítě, zkracování řetězců a vzniku nových dvojných vazeb, což umožňuje novou vulkanizaci. Pro vznik kvalitního regenerátu musí být pryž zbavena textilu.

V současné době je v průmyslu zpracovávajícím kaučuk počítáno s asi 10% regenerátu.

Využití jako palivo:

Výhřevnost pryžového odpadu z pneumatik je poměrně vysoká (cca 30 MJ.kg⁻¹). V některých zemích už jsou elektrárny a teplárny využívající tento odpad jako palivo (např. ve Velké Británii nebo v Německu).

Nejčastěji se odpad využívá jako přídatné palivo v cementářských pecích. V ČR je to např. cementárna v Mokré u Brna a Čížkovice. Obsah síry (1 - 2%) není na závadu, neboť vzniklý SO₂ se váže na alkalické složky cementu. Výhřevnost odpadu je sice velká, nicméně minimálně stejně tak vysoké energetické nároky má samotná výroba kaučuku.

Energetické využití není tedy ideální řešení. Navíc se vlastně nenávratně zničí chemická surovina.

Chemické zpracování:

Pyrolýzou (tepelný rozklad organických látek) lze získat směs uhlovodíků a využitelné saze. Některé procesy používají pyrolýzu s hydrogenací (adice molekuly vodíku na nenasycené vazby za přítomnosti hydrogenačních katalyzátorů). Vzniká směs nasycených uhlovodíků, síra se převede na H₂S.

Japonští vědci vyvinuli novou metodu, při které na pneumatiky působí při teplotě 400°C a tlaku 4 MPa 40% roztok NaOH. Za těchto podmínek se pneumatiky rozpustí během 15 minut na olejovitou směs uhlovodíků s dlouhými řetězci.

V USA se zkoumá nová metoda využití pryžového odpadu. Jedná se o biotechnologii. Materiál ze starých pneumatik se smíchá s mikroorganismy druhu Sulfobolus při nízkém pH a při teplotě asi 70°C. Mikroorganismy naruší vazby C-S a připraví tak materiál k novému použití. Cílem výzkumu je využití tímto způsobem cca. 20% starých pneumatik.

Mechanické a fyzikální zpracování:

Při jakékoli recyklaci většiny odpadů je největším problémem jeho složení z mnoha komponent. Firma, která nakoupí staré pneumatiky, musí tyto komponenty rozdělit. Jedná se o pryž, textil a ocel. Celá pneumatika se dá separovat dvěma metodami.

- **Metoda kryogenní:** Pneumatika se ochladí kapalným dusíkem na – 80°C. Při této teplotě se stane natolik křehkou, že ji lze poměrně snadno rozsekat sekacím strojem. Výsledný produkt (granulát) má vysokou výrobní cenu a navíc se i podstatně změní původní vlastnosti pryže. Na 1 kg pneumatik je spotřeba dusíku 0,6 kg.

- **Metoda vícenásobného mletí za normální teploty:** Pneumatiky se nejprve rozsekají na kousky cca 60 x 60 mm. Při zpracování velkých pneumatik z nákladních aut se provádí podélné půlení a vytrhávání ocelových lan z patek, aby nedošlo k rychlému opotřebení sekacího stroje. Ocelová lana spolu s další vytěženou ocelí z ostatních pneumatik se předávají ke zpracování v hutích. Za sekacími stroji následují vlastní recyklační linky, které se skládají z mlýnů a separátorů.

Linky plní dvě funkce:

- postupné drcení na granulát jemnějších frakcí - díl kapalné směsi, která se oddělila postupným vypařováním
- separace oceli a textilu

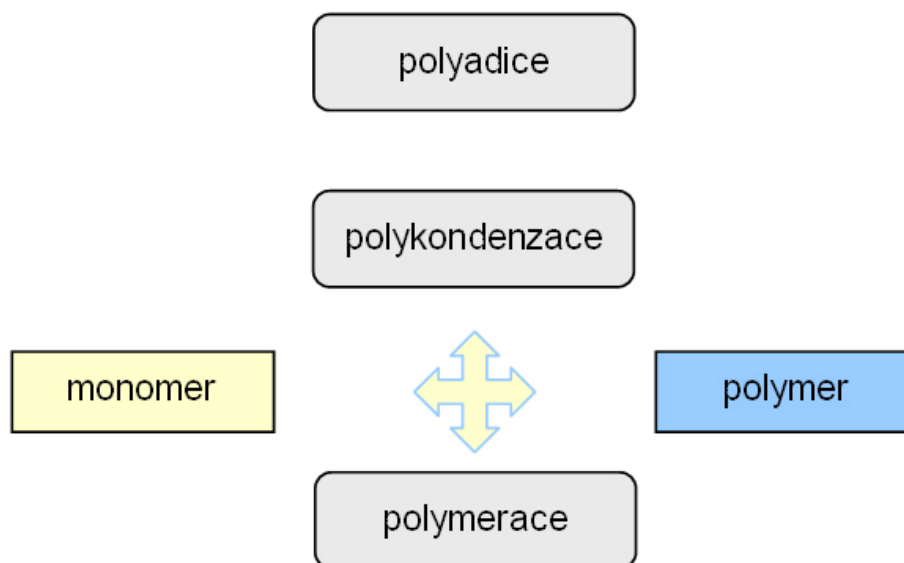
Výstupními produkty jsou balený granulát různé velikosti zrna, ocel a textil. Velmi čistý granulát se používá k výrobě regenerátu. Tato aplikace je výhodná, neboť se tak šetří cenné suroviny v gumárenském průmyslu.

Další způsob využití spočívá ve spojení granulátu s různými pojivy (kaučuk, polyuretan, atd.). Výsledné výrobky se používají např. na sportovní povrchy, povrchy dětských hřišť, koberce, tepelně izolační rohože, obklady stěn tlumících zvuk, tlumící členy na pražce kolejových vozidel, silniční patníky apod.

Další možnost využití granulátu je výroba živičných směsí na povrchy vozovek.

5.7 Polymerní reakce (26)

Reakce, během níž vznikají spojováním základních jednotek, monomerů, dlouhé makromolekulární řetězce. Podle typu reakce a typu monomeru vznikají lineární nebo zesíťované polymery.



Obr.5.38: Základní typy reakcí pro přípravu polymerů



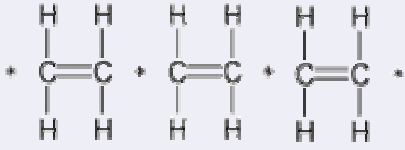
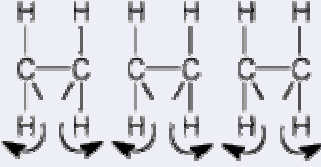
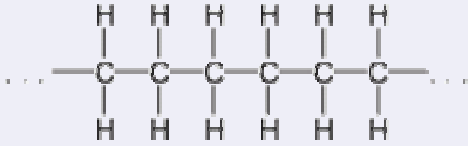
Obr.5.39: Podrobnější přehled polyreakcí

5.7.1 Polymerace

Polymerace je chemická reakce, při níž se molekuly jednoduché organické sloučeniny slučují a tvoří makromolekulární látky bez vzniku vedlejšího produktu. Polymerovat může pouze ta sloučenina, která má aspoň jednu dvojnou vazbu, např. ethylen, propylen, vinylchlorid atd.

Proces polymerace: (27)

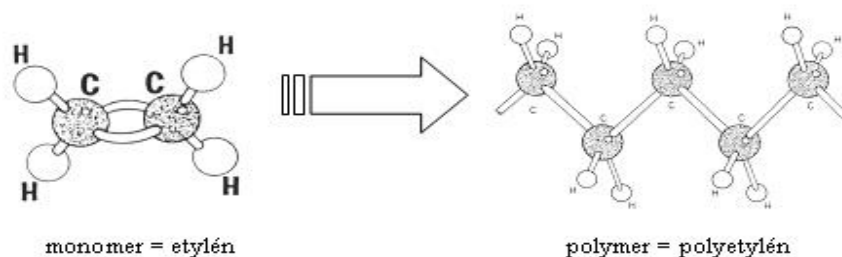
Tab.5.1: Proces polymerace

1. Monomer (ethylen)	
2. Dvojná vazba zaníká	
3. Polymer (polyethylen)	

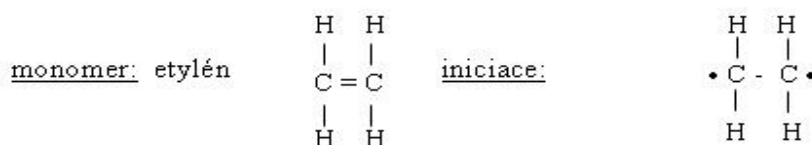
Polymerace zapsaná chemickou rovnicí:



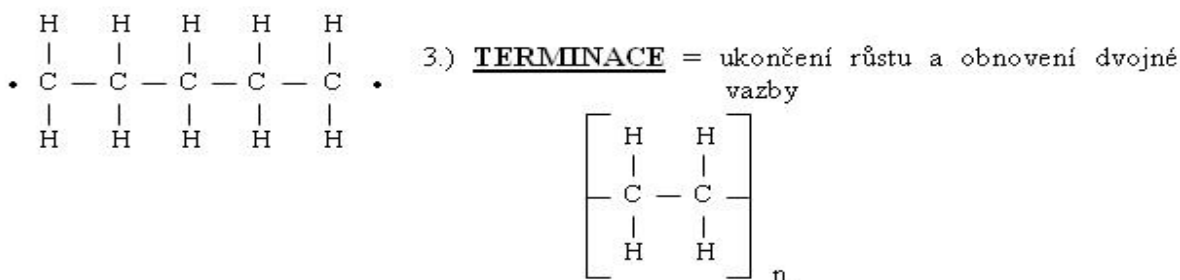
Poznámka: Číslo n je větší než tisíc; hranatými závorkami ve vzorci polyethylenu se označuje úsek makromolekuly, který se mnohonásobně opakuje.

**tři stádia:**

- 1.) **INICIACE** = rozštěpení dvojné (*event. vícenásobné*) vazby, aby se mohla polymerace rozběhnout \Rightarrow vzniká **RADIKÁL** (*útvár se dvěma volnými elektrony*)



- 2.) **PROPAGACE** = růst řetězce, vzniklý radikál reaguje s další molekulou monomeru, volný elektron se stále obnovuje na konci rostoucí makromolekuly (*exotermická reakce, dochází k uvolňování tepla*)



Obr.5.40: Příprava PE polymerací

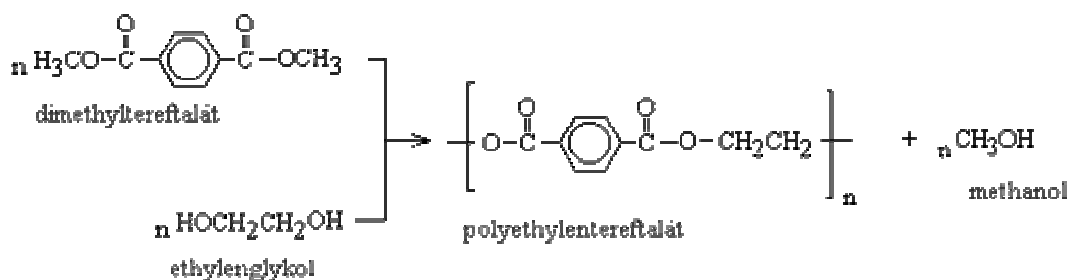
5.7.2 Polykondenzace

Polykondenzace je reakce při, které reagují dva stejné nebo různé monomery, které obsahují dvě nebo více reakčních funkčních skupin. V průběhu reakce nevzniká jenom polymer, ale i nízkomolekulární produkt (např. voda, methanol, amoniak).

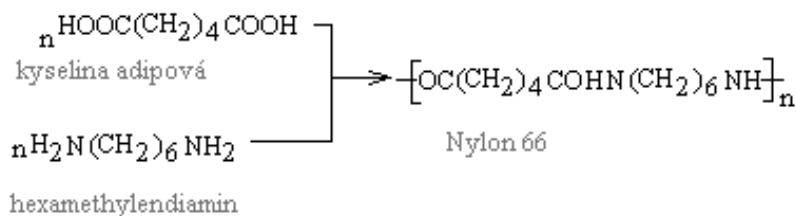
Této reakce bylo pro výrobu poprvé použito v roce 1909, kdy byl kondenzací fenolu s formaldehydem vyroben polymer, který dnes známe pod názvem Bakelit.

Významnými produkty polykondenzačních reakcí jsou polyamidy nebo polyestery. Jedním z nejvýznamnějších polyesterů je polyethyltereftalát. Tento polymer vzniká kondenzací dimethyltereftalátu s ethylenglykolem. Nízkomolekulárním produktem této reakce

je methanol. U nás je známý pod obchodním názvem Tesil nebo terylén. Získává se podle následující rovnice.



Mezi nejznámější polyamidy patří Nylon 66. Číslo 66 značí, že oba monomery mají ve svém řetězci šest atomů uhlíku. Nylon 66 vzniká kondenzací kyseliny adipové s hexamethyldiaminem. vedlejším produktem této reakce je voda.



Příprava nylonu:

V baňce je roztok hexamethyldiaminu a sebacyl chloridu. Na rozhraní roztoku se tvoří nylon, který lze namotat na tyčinku.



Obr.5.41: Příprava nylonu v baňce

5.7.3 Polyadice

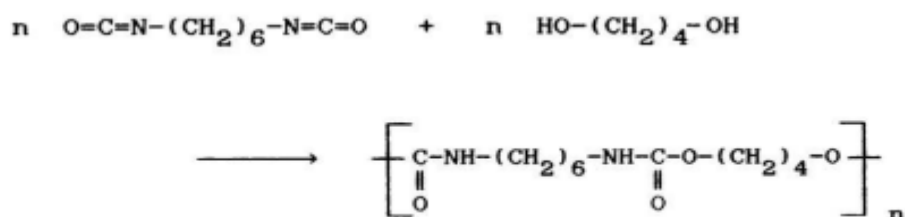
Polyadice se podobá polykondenzaci, rozdíl je ten, že při polyadici nevzniká jako vedlejší produkt nízkomolekulární látka.


Sloučeniny, jejichž molekuly obsahují násobné vazby nebo jsou tvořeny kruhy s malým počtem členů, mohou být mimo vzájemného spojování schopny adičních reakcí se sloučeninami, jejichž molekuly obsahují vhodné funkční skupiny. Mají-li tyto sloučeniny ve svých molekulách alespoň dvě funkční skupiny, může mnohonásobnou adicí vzniknout polymer a takové reakci říkáme polyadice.

Polyadice probíhá stupňovitě, znakem je přesun H atomu v řetězci, slabě vázaný proton se odštěpí, aduje se na dvojnou vazbu C=A, která se štěpí a monomer se naváže do řetězce.

Tímto způsobem se vyrábí například Polyuretany – k výrobě barexu = umělá kůže, molitanu, syntetických vláken, lepidel.

Příkladem polyadice je vznik polyuretanů z diizokyanátu a glykolu:





	držáky, klíčky	kostra palubní desky	palubní deska	součásti brzd	nárazník	systém chlazení	součásti karburátoru	přístrojová deska, prvky vnější klíčky	elektrické komponenty	palivová nádrž	přední maska	držák palivové nádrže	palivové potrubí	řadicí páka	mřížka	výplň sedáček	součásti zapalování	části potrubí	kryty přístrojů	vnitřní vybavení	světla a jeho součásti	okolí volantu	zpětná zrcátka	přístrojová deska	sedadla	zvuková izolace	volant	prvky pod kapotou	těsnění	části vodního čerpadla	podběhy blatníky	mechanismus ovládání oken	
ASA							*								*																		
ABS			*				*								*				*		*											*	
PA	*					*			*	*	*	*	*	*			*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PVC							*												*											*			
EP, PF				*																								*					
POM	*					*		*	*			*	*														*	*	*	*	*	*	
PET	*							*	*			*	*		*		*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PC					*				*								*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PEI						*			*								*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PET								*	*										*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PE								*	*	*									*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PMMA							*		*									*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PPS						*		*	*								*		*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PPO						*		*	*					*				*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PPA					*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
PTFE	*																																
PUR																								*	*	*	*	*	*	*	*	*	
PUR (pro RIM)	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
UP	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*

Obr.5.42: Ukázka volby druhu plastu pro vybrané aplikace v automobilech

6 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY (1)

6.1 Úvod

Pod pojmem kompozitní materiály (kompozity) rozumíme **heterogenní materiály** složené ze dvou nebo více fází. Tyto fáze se vzájemně výrazně liší svými mechanickými, fyzikálními a chemickými vlastnostmi. Obvykle je jedna fáze v kompozitu spojitá, takovou fázi nazýváme **matrice**. Fázi, která je nespojitá nazýváme **výztuž**. V porovnání s matricí má výztuž výrazně lepší mechanické vlastnosti (modul pružnosti, pevnost, tvrdost, atd.) a hlavním cílem vyztužení je tedy zlepšení uvedených vlastností.

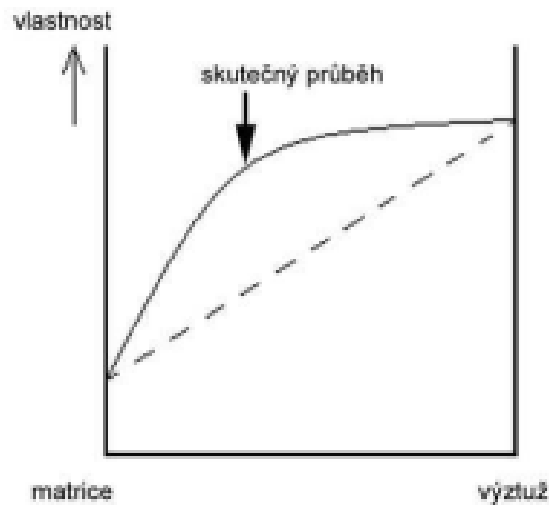
Nejznámějším přírodním kompozitem je bezesporu dřevo složené z celulózových vláken uložených v ligninu.



Obr.6.1: Jeden z nejznámějších laminárních kompozitů – dřevěná překližka

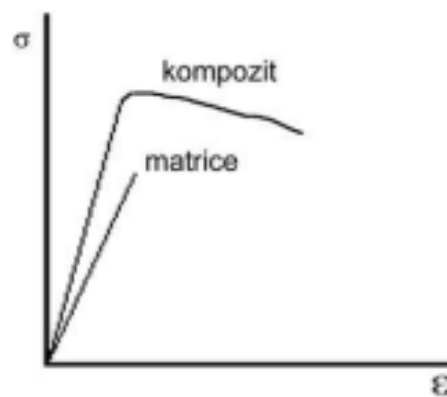
Pro umělé kompozitní materiály je charakteristické, že se vyrábějí postupy mechanického **mísení nebo spojování jednotlivých složek**. Tím se liší např. od slitin, které jsou rovněž heterogenní. U slitin však jednotlivé fáze vznikají fázovými přeměnami, např. při tuhnutí a jsou tedy blízko termodynamické rovnováhy.

Pro kompozitní materiály je charakteristický tzv. **synergismus**, což znamená, že vlastnosti kompozitu jsou lepší, než by odpovídalo pouhému poměrnému sečtení vlastností jednotlivých složek (viz obrázek 6.2). existence synergismu je velmi významná, neboť vede k získávání materiálů kvalitativně zcela nových vlastností.



Obr.6.2: Synergické chování složek kompozitu

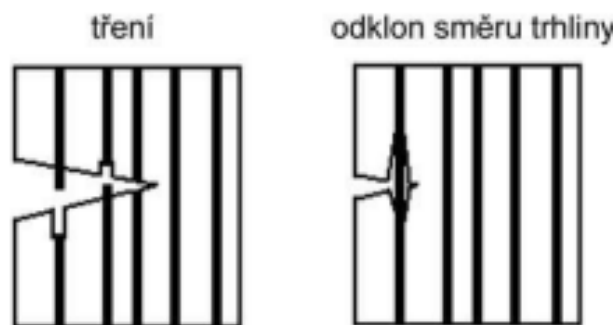
Typickým příkladem synergického chování je kompozit složený z keramické matrice (Al_2O_3) vyztužené keramickými vlákny (SiC). I když jsou jak matrice tak vlákna samostatně křehké, výsledný kompozit je charakteristický určitou mírou houževnatosti, tzn. odolnosti proti náhlému křehkému porušení. Pro ilustraci jsou na obr.6.3 porovnány tahové diagramy křehké matrice a stejné matrice vyztužené vysoce pevnými avšak křehkými vlákny.



Obr.6.3: Porovnání tahových diagramů křehké matrice a kompozitu složeného z této matrice a křehkých keramických vláken

Uvedené chování kompozitu je způsobené tím, že šířící se lomová trhlinka je bržděna na rozhraní matrice a vláken. Dochází zde jednak k odklánění směru šíření trhliny a také k intenzivnímu vzájemnému tření mezi maticí a vytahujícími se vlákny, viz obr. 6.4. jak

bude ukázáno později, **kvalita rozhraní** mezi matricí a výztuží má zásadní vliv na vlastnosti výsledného kompozitu.



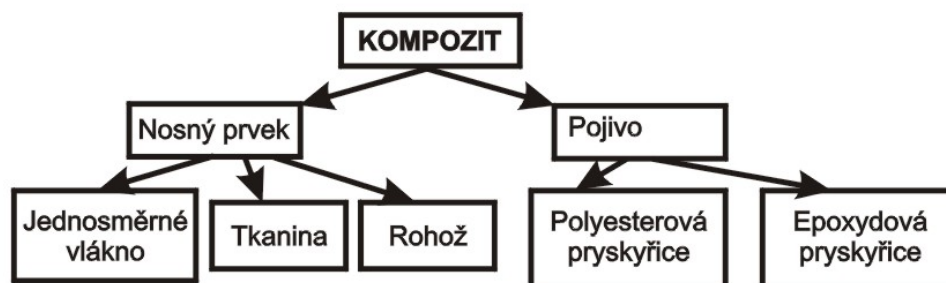
Obr.6.4: Jevy na rozhraní matrice a výztuže (vláken) při porušování kompozitu

Obecně lze říci, že kompozit je materiál s velmi vysokou pevností a malou hmotností.

Pevnost se dá regulovat poměrem prosycení tkaniny. Čím méně je tkanina prosycena, tím je pevnější. Při ručním laminování se udává poměr *pojivo / nosný prvek* asi 60% / 40%. Při strojním laminování (použití tlakových membrán) je to do 40% / 60%. Nejlepšího poměru prosycení se dosahuje při použití Prepregu, kde je tkanina předsycena. Zde je to v poměru 20% / 80%.

6.2 Skladba kompozitu

Kompozit se skládá z několika částí. Hlavní část je nosný prvek, který je spojen nějakým pojivem. Dále kompozit obsahuje některé pomocné prvky, jako je například povrchová vrstva



Obr.6.5: Základní skladba kompozitu

Nosný prvek tvoří hlavní část mechanických vlastností výsledného kompozitu. V dnešní době se používají textilie, kde vlákna jsou tvořena:

- skleněnými vlákny
- aramidovými vlákny (KEVLAR)
- uhlíkovými vlákny

Dále velmi záleží na způsobu tkaní jednotlivých vrstev. A proto rozlišujeme způsob vazby na :

- jednosměrné vlákno
- tkanina
- rohož

6.3 Dělení nosných prvků

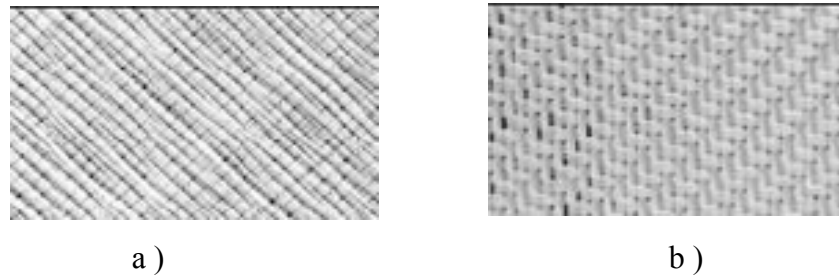
Dělí se podle konstrukce a nebo podle materiálu. Na skloubení konstrukce vláken a materiálu pro danou aplikaci závisí hlavní mechanické vlastnosti, proto nalezneme dnes obrovskou škálu různých druhů tkanin, ve všech možných provedeních. Každý druh je specifický pro různé použití a ne každý se hodí na jinou aplikaci.

6.3.1 Dělení nosných prvků podle materiálu

Skleněná vlákna

Skleněná vlákna jsou nejrozšířenějším materiálem pro výrobu kompozitu. Používají se na běžné aplikace, kde není vyžadována vysoká pevnost, ale je potřeba snížit hmotnost výrobku. Většinou se používají v kombinaci s nějakou povrchovou úpravou, protože po nasycení jsou transparentní s jemným odstínem zelené až žluté barvy (podle pojiva). Používají se například na výrobu různých krytů, apod. Největší dodavatel těchto materiálů je firma Havel Composites s.r.o.

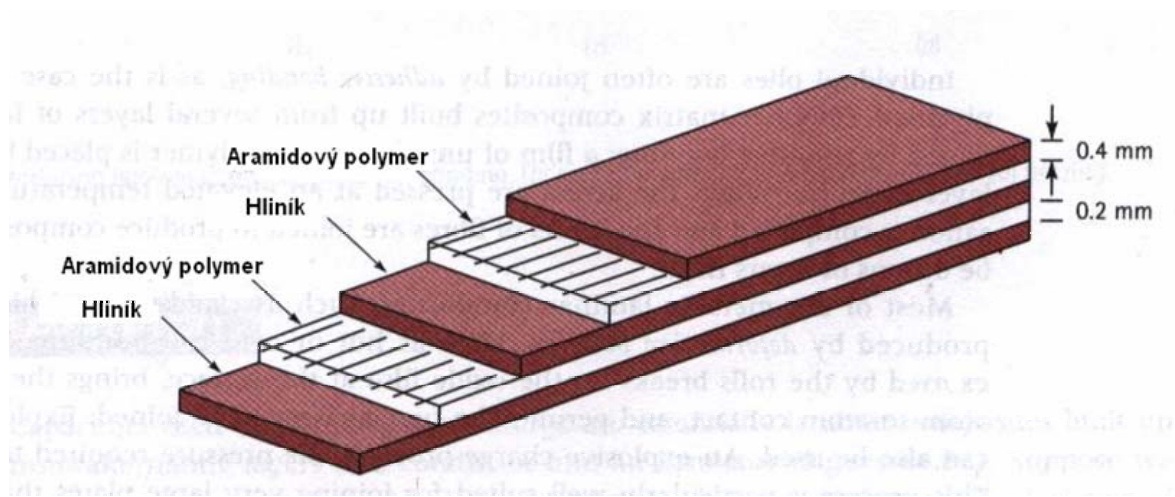
Mechanické vlastnosti skelných vláken jsou v porovnání s jinými kompozitními materiály horší (podle typu tkaniny a namáhání).



Obr.6.6: Příklady tkanin vyrobených ze skelných vláken; a) tkanina multiaxial; b) tkanina kepr

Aramidová vlákna

Tento materiál je také známý pod názvem Kevlar. Používá se tam, kde je třeba zajistit vyšší pevnost a také dobrou pružnost. Jeho hlavní nevýhodou je, že se nedá jednoduše dělit. Ke stříhání kevlarových plátů slouží speciální nůžky, které mají na ostří vybroušeny mikro zoubky, které nedovolují klouzání jednotlivých vláken po ostří a dochází ke stříhu. Kevlarová vlákna se nedají řezat nožem. Po vytvrzení se velmi špatně obrábí a jediným efektivním způsobem dělení je řezání vodním paprskem.



Obr.6.7: Struktura aramid–hliníkového kompozitu

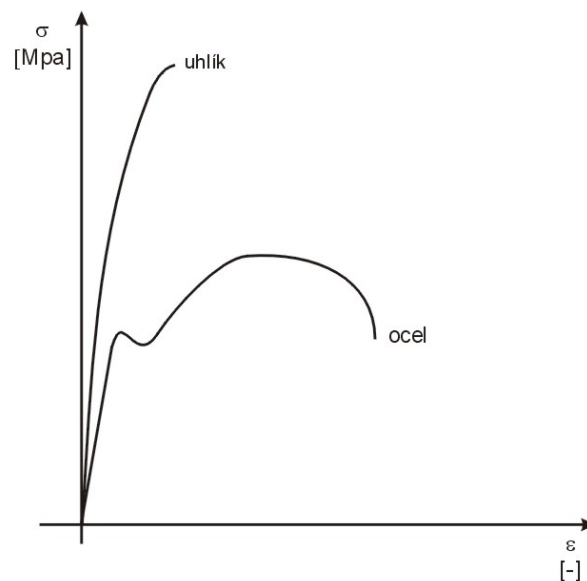
Využití kevlaru nalezneme například na přilby pro paragliding, kde chrání hlavu před vniknutím cizího tělesa. Při silnějších vrstvách se používá v přilbách a vestách pro speciální jednotky Policie. Pro stavební účely, kde se z vláken vyrábí kotevní lana, která kotví těžební věže na mořské hladině (výrobce uvádí, že tato lana jsou až 20x pevnější, než lana ocelová). Dále se používá na výrobu kapotáže závodních vozů (přední nárazníky z kevlarové tkaniny) pro jeho odolnost vůči průrazu.

Uhlíková vlákna

Uhlíková vlákna by se dala označit jako materiál budoucnosti. V dnešní době prožívá obrovský rozmach. Používá se všude tam, kde je třeba obrovská pevnost a minimální váha.

Podle literatury se uvádí, že pokud vyrobíme součást z průměrné oceli a tu stejnou z kompozitu z uhlíkových vláken, snese ta uhlíková 10x větší zatížení, než ocelová. Nevýhodou tohoto materiálu je velmi vysoká cena a také praskání uhlíku (podobně jako křehký lom-vydrží obrovské zatížení, ale náhle praskne). Výhodou je však, že na něm neprobíhá únavové chování.

Hlavní využití vláken z uhlíku je v leteckém a automobilovém průmyslu. U sportovních automobilů se používá pro vytvoření samonosné skořepiny, na kterou se navěšují další části, jako motor, nápravy a podobně. Uhlíkové vlákna se také hojně používají designéry pro jejich atraktivní vzhled.



Obr.6.8: Porovnání tahového diagramu oceli a uhlíkových kompozitů

Hybridní tkaniny

Hybridní tkaniny jsou složeny ze dvou a více materiálů. Jednou z nejrozšířenějších kombinací je uhlík–aramidová tkanina. Kombinací uhlíku a aramidů se dosáhne vysoké pevnosti (zajistí uhlík) a protiprůraznosti (zajistí kevlar). Mechanické vlastnosti hybridních tkanin se dají nastavovat podle počtu pramenců jednotlivých složek.

6.3.2 Dělení nosných prvků podle konstrukce

Konstrukcí nosných prvků se myslí uspořádání jednotlivých vláken, nebo pramenců do tkanin, nebo netkaných rohoží. Jednotlivé typy se dělí na:

- tkaniny
- netkané materiály

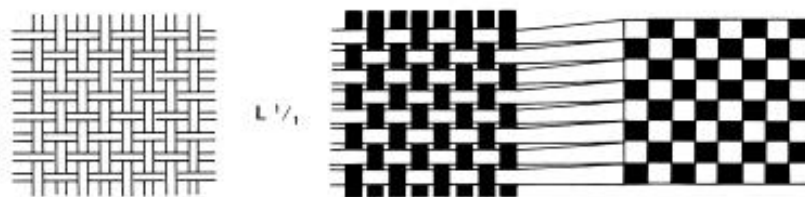
Tkaniny

Tkaniny jsou tvořeny vzájemně protkanými pramenci vláken. Způsob protkání výrazně ovlivňuje mechanické vlastnosti výrobku. Hlavním rozlišovacím znakem při výběru tkanin (nebereme v potaz materiál tkaniny), je hmotnost na 1m^2 a způsob protkání. U hmotnosti se dá říci, že čím menší hmotnost na 1m^2 , tím jemnější tkanina je.

Způsobu protkání se také říká vazba. Hlavní dělení vazeb je:

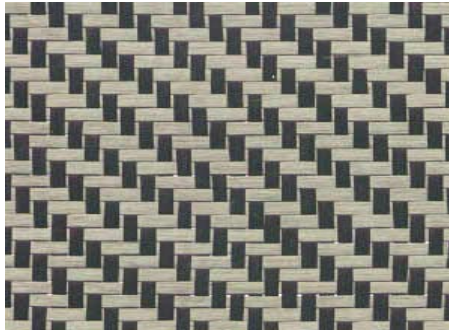
- **Jednosměrná vazba:** Jedná se o pramence položené jen jedním směrem, které jsou prošity po určité vzdálenosti polyamidovou nití. Používají se tam, kde potřebujeme pevnost jen v jednom směru. Velmi dobře snáší kombinace namáhání tah-tlak ve směru vláken, ale naproti tomu přímo nesnáší jakékoliv namáhání napříč vláknům.
- **Plátno s vazbou Plain:** Tato tkanina je nejrozšířenější, používá se ve většině laminovaných dílech. Jedinou nevýhodou je, že se nedá použít na tvarově složitě díly.

Vazba je tvořena dle obr:



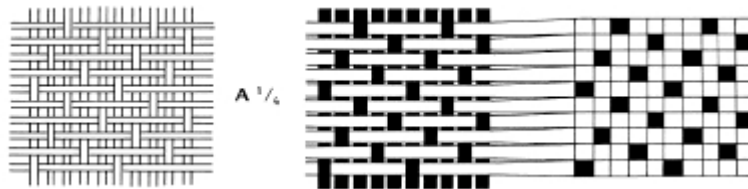
Obr.6.9: Schéma vazby Plain

- **Plátno s vazbou Kepr:** Také velmi používaná tkanina, na rozdíl od vazby Plain dovoluje svou konstrukcí určitý posun vláken po sobě, a tím lze vyrobit i tvarově složitější díly. Schéma vazby:



Obr.6.10: Schéma vazby Kepr

- **Plátno s vazbou Satén:** Používá se méně, dokáže vytvořit i velmi složité díly. Schéma vazby:



Obr.6.11: Schéma vazby Satén

- **Ostatní tkaniny:** Dále se používá velké množství různých tkanin, které jsou většinou jednoúčelové, jako například tkaniny punčochové (na výrobu trubek, nebo dutých profilů), dále tkaniny multiaxial a podobně.

Netkané materiály

Netkané materiály se dělí na:

- **Rowing:** Jedná se o pramenec vláken, který se používá na zpevnění některých míst výrobku. Není nijak protkán a dodává se v metráži. Můžeme volit podle tloušťky jednotlivých vláken v pramenci.
- **Netkaná rohož:** Tento materiál se používá když chci dosáhnout větší tloušťky materiálu na jedno nanesení. Většinou se vyrábí ze skelných vláken. Velkou výhodou je nízká cena. Velmi vhodnou aplikací jsou rozměrné díly (různé kontejnery).

6.4 Rozdělení pojiv

Jako pojivo se většinou používá tekutina, která po určitém technologickém zpracování ztuhne v pevnou látku. Ztuhnutím zafixuje polohu jednotlivých vláken nosného prvku. Pojivo je většinou nejslabší článek v kompozitu, snažíme se o to, aby obsah pojiva byl v kompozitu co nejmenší. Nesmí se ale překročit určitý poměr, kdy pojiva bude tak málo, že nebude spojovat jednotlivé vlákna.

Nejčastější pojiva pro ruční laminování jsou epoxidové a polyesterové pryskyřice. V dnešní době se začínají objevovat nová pojiva na bázi fenolových a silikonových pryskyřic, která mají velmi dobré vlastnosti. Fenolové pryskyřice se používají například jako pojivo u Prepregu, kde se aktivují tlakem a teplotou. Dále se dá jako pojivo použít například polyamid Pa66, který se plní například skelnými nebo uhlíkovými vlákny. Směs tohoto polyamidu se následně vstříkuje do forem na vstříkolisech.

6.4.1 Polyesterové pryskyřice

Jsou to dvousložkové pryskyřice. Jedná se o polyesterovou složku pryskyřice, která určuje převážnou část vlastností, a dále o složku vytvrzovací. Vytvrzovadlem bývají různé druhy peroxidu.

Polyesterové pryskyřice mají obecně nižší pevnost, než epoxidové. Jejich výhodou je ale podstatně nižší cena a velmi dobrá probarvitelnost. Nevýhodou je že při zpracování velmi zapáchá, u rozměrnějších dílců dochází k mírné deformaci tvaru po odformování.

6.4.2 Epoxidové pryskyřice

Jedná se o dvousložkové pryskyřice, kde jedna složka je hlavní a přidává se tužidlo. Obvyklý poměr mísení je 100:50 (hmotnostně). Pro jeden typ hlavního komponentu existuje několik druhů tužidel. Doba zpracování se pohybuje podle typu tužidla a hlavní složky kolem 30min až 10 hodin. Doba vytvrzení od 1hodiny do 24 hodin.

Údaje vytvrzení se udávají při pokojové teplotě, protože se dají měnit zvýšením teploty. Zvýšení teploty se nesmí překračovat, neboť vzniká velké vnitřní pnutí, které má za následek snížení celkové pevnosti výrobku.

Epoxidové pryskyřice mají větší pevnost, při zpracování jsou zdravotně nezávadné (odpadá nepohodlná práce v dýchací masce). Některé druhy jsou přímo certifikovány pro

styk s potravinami, nebo pitnou vodou. Některé typy mají zase certifikaci pro letecký průmysl. Jejich největší nevýhodou je vysoká cena.

6.5 Pomocné prostředky při laminování

6.5.1 Separáční materiály

Separátory n m pomáhají ke snadnému odd len  hotového výrobku a formy. Jedná se o velmi tenk  film který se nanese do formy před za tkem nan sen  laminování. Můžeme ho nan set ru n  ( t tcem) nebo pomocí st rkac  pistole.

V dnešní době se pou z vaj  separátory na několika b z ch. Jedná se p edev m o vosky, kter  se nan sej  v tuh  formě. Po ur it  době, kdy proběhne zaschnutí, se rozle t . V sledn  povrch je velmi kvalitn , příprava je však velmi n ro n  (nan sen  a le ten ) a mnohdy trvá d le, než samotn  laminování.

Dal m  separátory jsou vosky rozpu t n  v alkoholu. Jde o nanesen  vrstvička roztoku (st rk n m, nebo ru n ) a vyčkání, než alkohol vyprchá. Poté se může nan set laminát. Nevýhodou je méně kvalitn  povrch, výhodou je uspo en  času na le ten .

Nejnov j m  separátory jsou roztoky s názvem PVA. Existuje několik druhů, pro pou it  s polyesterov m  nebo epoxidov m  prysky icem . Po nanesen  se ihned vytvo r  velmi tenk  film, kter  s vysokou p esnos  okopíruje povrch. Díky tomu dokáže vytvo r t velmi leskl  a hladk  povrchy. Nevýhodou je v     cena, a potřeba  i t en  od zbylého separátoru po vyjmut  výrobku z formy.

Největší novinkou jsou PE fólie, na kterých je pomocí nanotechnologií vytvořena vrstva, která simuluje efekt lotosového kv tu, na kter  se neudr  i   dn  tekutina. Tyto fólie se pou z vaj  pro laminování rovných d l  anebo desek.

6.5.2 Povrchov  Gelcoaty

Hmoty na bázi polyesteru, epoxidu nebo silikonu, pou z van  jako povrchov  vrstvy ke zlepšení vzhledových vlastnosť. Většinou se dodávají jako dvouslo kov , s poměrem mísení 95:5. Někdy se přidává třetí složka a t m je barvivo. Barviva se dodávají podle dostupných palet definovaných odst n .

K formování se používají speciální gelcoaty s vysokou tvrdostí. Jejich velkou nevýhodou je, že pokud se povrch poškodí, nelze jej jednoduše opravit. Tyto gelcoaty se totiž nedají nijak leštit, a u poškozené formy je vždy poznat opravené místo.

6.5.3 Voštinové materiály

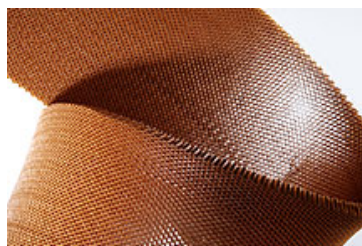
Tyto materiály se používají, potřebujeme-li velkou tloušťku, ale nízkou hmotnost výsledného materiálu.

Nejjednodušším jsou polystyrénové desky, které jsou zalaminovány z každé strany tkaninou. Používá se u rovných a velkých dílů.



Obr.6.12: Příklady pěnových voštin

Dalšími materiály jsou různé pěnové rohože na bázi polyuretanu. Velký sortiment těchto materiálů vede firma Havel Composites. Jsou to především výrobky skupiny Airex, Flexifoam, Spheretex a další.



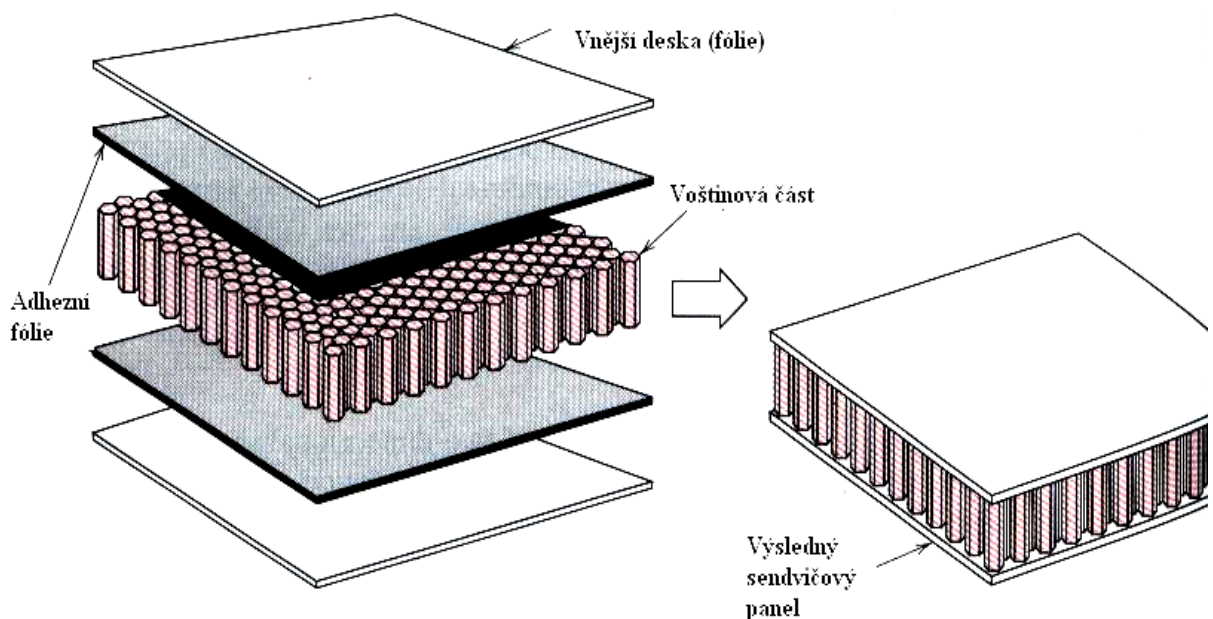
Obr.6.13: Kevlarová voština

Nejmodernějšími prvky jsou voštiny z kevlaru a hliníku. Jedná se o materiály velmi pevné a lehké. Kevlarové voštiny nalezneme například v ráfku silničního kola, kde pomocí voštiny je vytvořena tloušťka stěny 3 mm, z obou stran pokryta vrstvou uhlíkové tkaniny. Pevnost ve směru vláken uhlíku je velmi vysoká. Nevýhodou je, že tento sendvičový materiál nesnese bodové tlakové zatížení v příčném směru.

6.6 Nové směry v kompozitech

6.6.1 Použití Prepregu

Prepregy jsou materiály, které vyvinul automobilový průmysl. V době kdy se začaly používat laminovací technologie, byl největší problém zajistit aby všechny díly měly stejné mechanické vlastnosti. Automobilky se snažily používat dokonalejší technologie nanášení pojiv do tkaniny, ale stále se nedařilo dodržet stejné poměry prosycení ve všech místech výrobku. Pro tento účel vznikly prepregy.



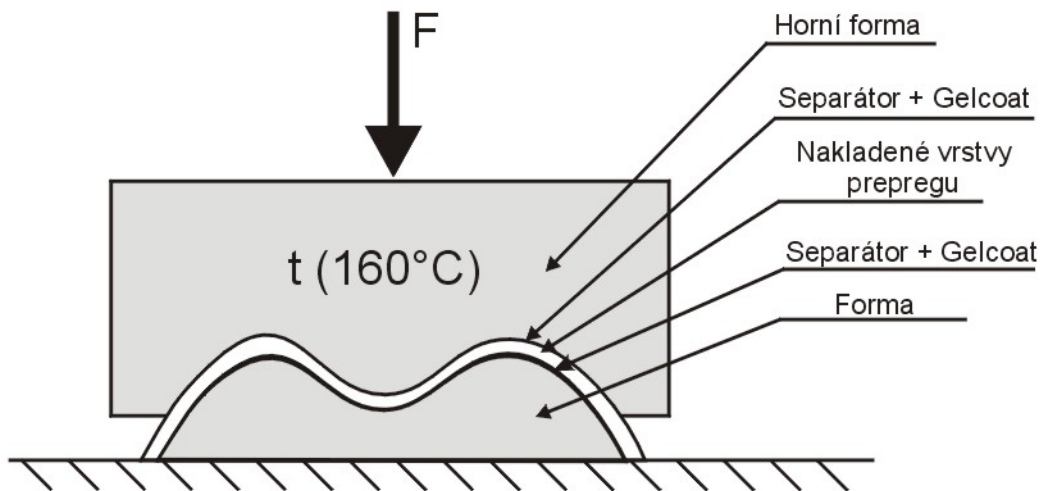
Obr.6.14: Výroba sendvičových kompozitů

Prepregy jsou polotovary které se skládají z tkaniny a jsou nasyceny speciální pryskyřicí na bázi epoxidu, nebo fenolu, které se aktivují vysokou teplotou a vysokým tlakem. Pomocí poměrů pryskyřic se dají dobře a kontrolovaně upravovat vlastnosti hotových kompozitů.

Práce s tímto materiálem probíhá tak, že konstruktér navrhne součást, včetně tloušťek a pevností výlisku, ve všech místech, které slouží k vytvoření šablony na vyřezání jednotlivých vrstev. Dále se vyrobí forma. Následně se vyřezou jednotlivé vrstvy (ručně, nebo pomocí laseru) a obsluha naskládá podle daného předpisu jednotlivé vrstvy na sebe. Záleží na směru vláken, a také na umístění jednotlivých vrstev vůči sobě. V moderních provozech se používá soustava laserových vodiček k umístění jednotlivých vrstev.

Po naklazení se může použít několika postupů.

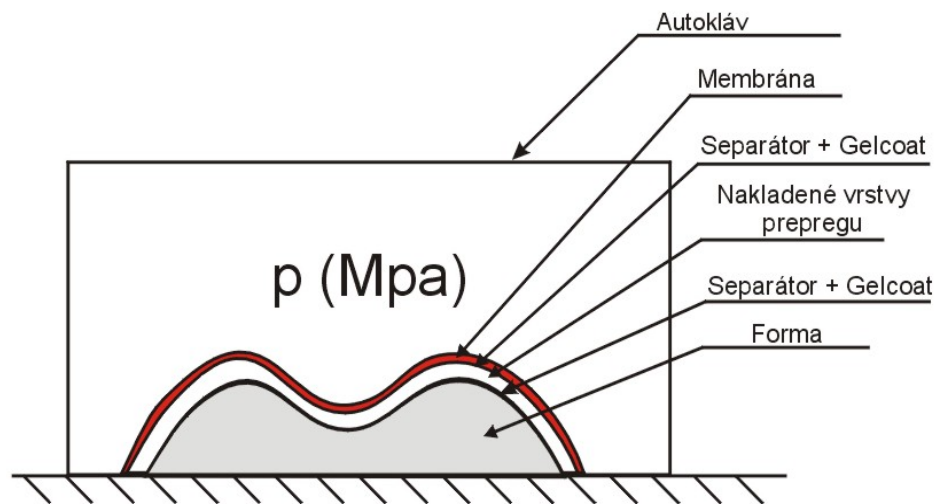
1. Přiloží se druhá polovina formy a začne lisování s ohřevem na určitou teplotu. Výhodou je přesně definovaná i druhá strana výrobku s dobrým povrchem a není potřeba nákladné zařízení na výrobu tlaku a tepla – Autokláv.



Obr.6.15: Klasický způsob formování

Další způsob formování ušetří mnoho nákladů spojených s výrobou horní části formy.

2. Při tomto způsobu se vyrobí jen spodní část. Na formu se nanese separace, gelcoat, jednotlivé vrstvy a horní gelcoat. Nyní se položí speciální membrána a forma se vloží do autoklávu. Působením tlaku na membránu dochází k formování druhé strany bez potřeby použití horní poloviny formy, někdy se také používá místo vnějšího tlaku vakuový efekt uvnitř materiálu



Obr.6.16: Formování pomocí membrány

6.6.2 Termoplastické pojiva

Výroba kompozitních materiálů je časově náročnou operací. Proto se snažíme snížit pracovní časy a tím ušetřit prostředky. V dnešní době je na trhu několik firem, které prodávají hotové kompozitové desky, které jsou spojeny speciálním termoplastickým pojivem na bázi polyesteru. Tento materiál umožňuje použít zcela odlišné technologie zpracování, než klasické - ruční nebo strojní laminování.

Tyto materiály se zpracovávají pomocí vakuového tváření podobně jako plasty. Deska (má stejné mechanické vlastnosti jako vyrobená klasickým laminováním) se za studena upne do vakuolisu, kde se nahřeje, zvláční a proběhne tváření. Po ochlazení má zase zpět svoje vlastnosti kompozitu. Po vychlazení se může dále obrábět.

Tento způsob ušetří mnoho času. Nevýhodou je opět cena polotovaru a dále také větší množství odpadu.

Tímto způsobem lze vyrábět například součástky protéz pro postižené, kde se hojně využívá právě schopnosti změnit tvar po nahřání. Protéza musí pevně a přesně sedět na určeném místě, proto se vyrábí takové korýtko na místo amputace.

6.7 Příklady použití kompozitů

Podvozek RC modelu



Obr.6.17: Podvozek RC modelu

Podvozek se skládá z uhlíkového kompozitu, který zaručuje maximální tuhost automobilu. Dále jsou z kompozitu vylisovány prvky zavěšené náprav.

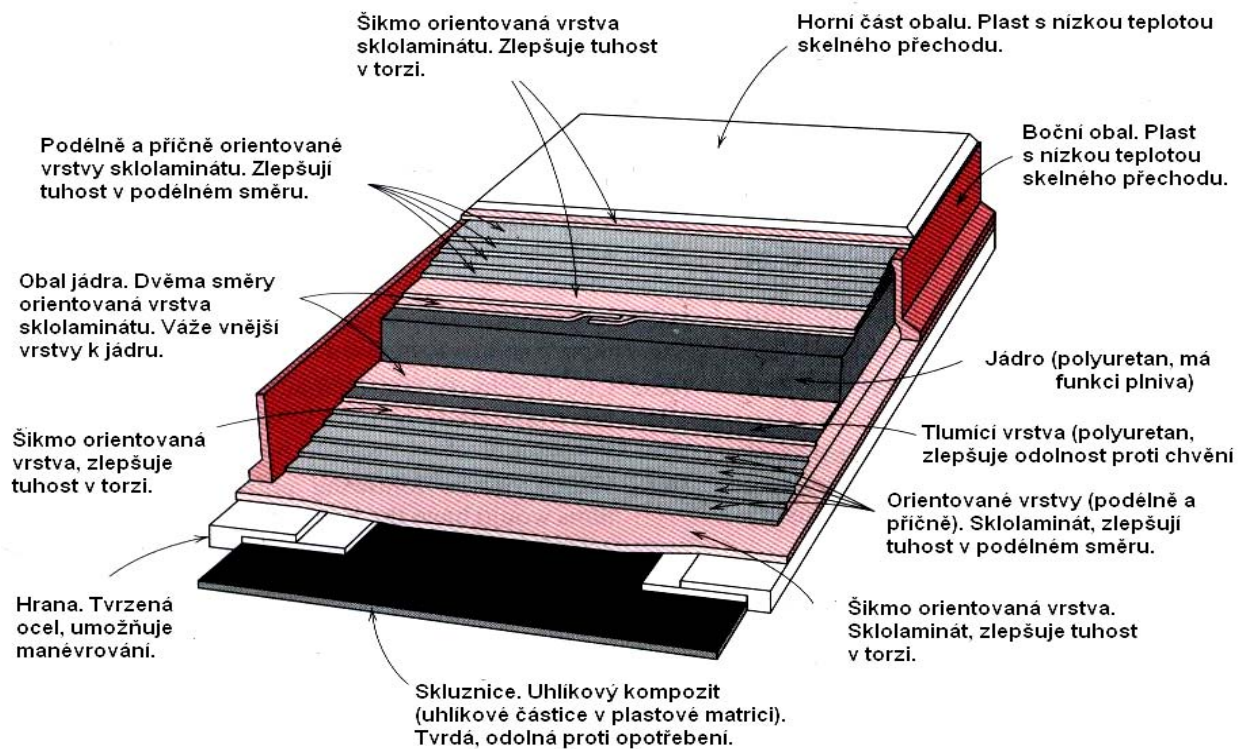
Přilba pro Paragliding



Obr.6.18: Přilba pro paragliding

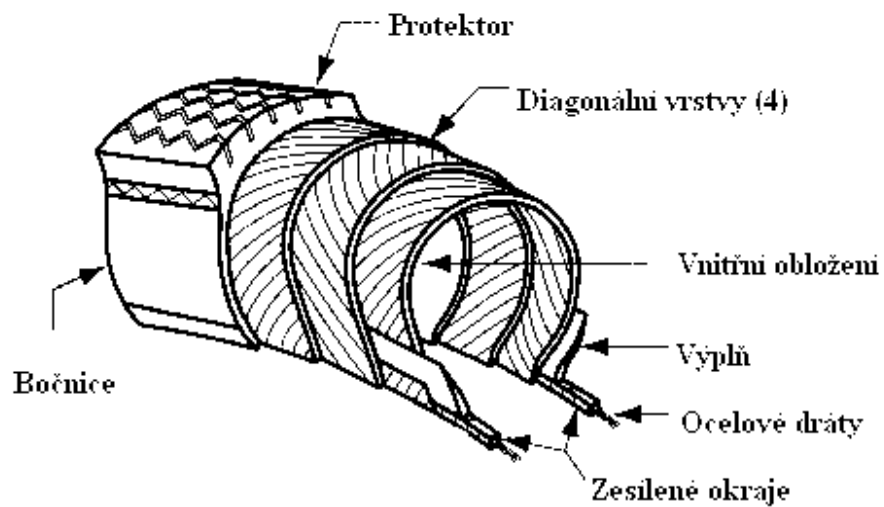
Přilba se skládá z laminátového skeletu a vnitřního vybavení. Laminátový skelet je vyroben z kevlarových vláken proti průrazu.

Laminátové lyže

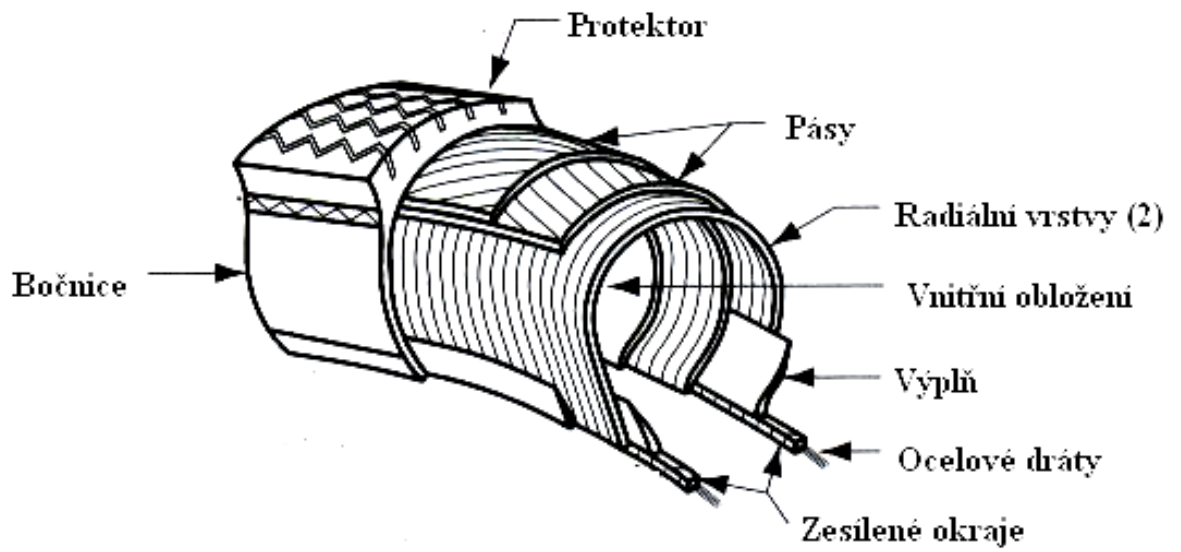


Obr.6.19: Schéma složení moderních laminátových lyží

Pneumatiky



Obr.6.20: Schéma složení diagonální pneumatiky



Obr.6.21. Schéma složení radiální pneumatiky

II. PRAKTICKÁ ČÁST

1. ZPRACOVÁNÍ PODKLADŮ

Informace, které obsahuje bakalářská práce, byly čerpány z řady literatury, přednášek a studentských prací, které studenti zpracovávají v rámci seminární výuky. Rozsah uvedených informací zahrnuje jen část z náplně předmětu. Jedná se o konstrukční materiály. Tato část je nejdůležitější informací, v níž se student seznámí s konstrukčními materiály, jejich vlastnostmi a bude se mu lépe studovat navazující procesní disciplíny.

E-learningová podpora je zpracovaná formou Microsoft Power pointu tak, aby jak lektor, tak student mohli přehledně sledovat výklad nebo mohli samostatně studovat určité statě. Je bohatě doplněna názornými obrázky, tabulkami a schémata, které podle zkušeností jsou nejpřístupnějším způsobem sdělování informací.

E-learningová podpora je rozdělena podle jednotlivých kapitol a lze ji nakopírovat na samostatné nosiče.

2. PŘÍPRAVA STUDIJNÍCH MATERIÁLŮ V PROGRAMU MICROSOFT POWER POINT

Příprava a zpracování studijních materiálů v programu Power Point vycházela ze studijní části bakalářské práce, má stejné organizační a strukturální členění. Mimo základní kapitoly uvádí zejména obrázky a odkazy na webové stránky, kde jsou informace doplňující uvedené studijní podpory.

ZÁVĚR

Cílem bakalářské práce podle zadání bylo zpracovat e-learningovou podporu studia předmětu Základy výrobních procesů , která byla doposud řešena především pro potřeby denního studia. Vzhledem k rozsahu předmětu bylo úkolem zpracovat první část zabývající se konstrukčními materiály, jako výukový materiál pro potřeby e-learningu.

Náplň jednotlivých kapitol byla zpracována podle dostupné literatury a nejnovějších literárních poznatků. Rozsah informací v jednotlivých kapitolách jsou nejen základní informace, ale také informace rozšiřující, zejména zaměřené na příklady.

E-learningová prezentace jednotlivých částí je přístupná k doplňování informací, jak ze strany uživatele – lektora, tak ze strany samotného studenta. Tyto informace lze přímo čerpat na základě webových odkazů, při připojení počítače k internetové síti, přímo na výrobce, dodavatele materiálů nebo informace jiných škol apod.

Výsledkem je vytvoření plně funkčního výukového programu v rozsahu cca.180 stran, rozděleného do základních kapitol, obsahující potřebné informace pro zvládnutí problematiky tohoto oboru pro výuku bez časového a technického omezení.

Ze získaných poznatků lze uvést, že příprava e-learningových materiálů je sice zajímavá a umožňuje řadu kombinací a variant, ale je velmi obtížné ze současných informačních možností vybrat ty, které studentu nebo lektoru dávají nejlepší příležitost k nabytí znalostí. z toho taky vyplývá obtížnost přípravy a zpracování předložené práce.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- (1) Soubor studentských prací – *Základy výrobních procesů UTB (2006)*
- (2) Dvořák Zdeněk: *Přednášky – Základy výrobních procesů UTB*
- (3) Ptáček Luděk: *Nauka o materiálu I, II (2001, 2002)*
- (4) Vojtěch D.: *Kovové materiály*. 1.vyd.Vysoká škola chemicko-technologická v Praze, Praha 2006:
http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-600-1/pages-img/obsah.html
- (5) Špaček Josef: *Technologie gumárenská a plastikářská (1980)*
- (6) Mleziva Josef: *Polymery (2000)*
- (7) Zilvar Václav: *Plasty a kompozity (1990)*
- (8) Pluhař Jaroslav: *Nauka o materiálu (1988)*

Webové odkazy:

- (9) <http://www.e-learn.cz/>
- (10) http://www.e-univerzita.cz/old/2003/sbornik/sbornik_e-learning_2003_plenum.pdf
- (11) <http://www.edoceo.cz/elearning/standards.jsp>
- (12) http://www.ksp.vslib.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/obsah.htm (*Technická univerzita Liberec: Tváření kovů; Zpracování plastů*)
- (13) <http://www.bikebase.cz/attachments/276.pdf?PHPSESSID=420f9bc9cdc43a344ccebe0e46e0483b> (*Hliník a jeho slitiny*)
- (14) <http://www.fs.vslib.cz/dokumenty/uvodstroj/kap3.pdf> (*Materiály ve strojírenství*)
- (15) http://www.ksd.vslib.cz/studenti/texty/uvod_do_strojirenstvi/UdS-3pr.pdf (*Beroun Stanislav: Materiály ve strojírenství*)
- (16) <http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/index.htm> (*Cvičení z fyzikální metalurgie a koroze kovů*)

- (17) http://www.af.mendelu.cz/external/prezentace/slitiny_fe/index.html (*Nauka o materiálu - simulace*)
- (18) http://www.benjamin.ic.cz/Nikl_titan.pdf (*Nikl a jeho slitiny*)
- (19) <http://tzs.kmm.zcu.cz/nezel.pdf> (*Tepelné zpracování neželezných kovů*)
- (20) <http://tzs.kmm.zcu.cz/tepel.pdf> (*Fázové přeměny*)
- (21) <http://www.happymaterials.com/> (*Polymery-„Happy Materials“*)
- (22) <http://skripta.ft.tul.cz/data/2004-12-15/12-25-11.ppt#256,1,Vláknovorné%20polymery> (*Vláknovorné polymery*)
- (23) <http://skripta.ft.tul.cz/data/2006-03-16/12-54-20.pdf> (*Ing.Blanka Tomková: Textilní kompozity*)
- (24) <http://www.elitalycea.wz.cz/files/tep/tep20.pdf> (*Ing.Bohuslav Driml: Tepelné zpracování kovových materiálů*)
- (25) <http://ime.fme.vutbr.cz/files/Studijni%20opory/savgl/index.php?chapter=1> (*prof. Ing. Tomáš Podrábský, CSc., Ing. Simona Pospíšilová: Struktura a vlastnosti grafitických litin*)
- (26) Ducháček V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*. 2.vyd.2006:
http://vydavatelstvi.vscht.cz/knihy/uid_isbn-80-7080-617-6/pages-img/
- (27) <http://xantina.hyperlink.cz/organika/polymerace.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

LMS	Learning Management Systém (systém pro řízení výuky)
IT	Informační technologie
ASTD	American Society for Training & Development (Americká společnost pro školení & rozvoj)
AICC	Aviation Industry Computer-Based Training Committee (komise pro počítačem řízená školení)
SCORM	The Sharable Courseware Object Reference Model (sdílený modelový výukový software)
IMS	The Instructional Management Systems (systém vedení vzdělávání)
IEEE	Institute of Electrical and Electronics Engineers (institute elektrického a elektronického inženýrství)
ADL	Advanced Distributed Learning (pokročilé kolektivní vzdělávání)

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr.1.1: E-learningové pracoviště.....	13
Obr.1.2: Výhody E-learningového vzdělávání.....	13
Obr.1.3: Integrace E-learningového vzdělávání do každodenního života.....	14
Obr1.4: Asynchronní komunikace student učitel.....	15
Obr1.5: Synchronní komunikace student učitel.....	15
Obr1.6: E-learning – využití v jakékoliv chvíli.....	17
Obr1.7: E-learning – využití pro kohokoliv, bez zábran.....	17
Obr1.8: E-learning – aktivní „vtažení“ do výuky.....	18
Graf č.1.1 Grafické porovnání výhod a nevýhod forem vzdělávání.....	19
Obr1.9: Průběžné s závěrečné testy.....	21
Obr1.10: Schéma toku informací.....	23
Obr1.11: Simulace výroby nealkoholických nápojů.....	25
Obr.1.12: Simulace vytížení skladových expedičních ramp.....	27
Obr.1.13: Princip simulace.....	28
Obr.2.1: Vývoj konstrukčních materiálů.....	31
Obr.2.2: Vztah mezi vlastnostmi výrobku, materiálem a technologií.....	32
Obr.2.3: Koloběh materiálu.....	33
Obr.3.1: Celkový pohled na dvě vysoké pece.....	38
Obr.3.2: Kubicky plošně a prostorově centrovaná mřížka.....	39
Obr.3.3: Zjednodušené schéma vysoké pece.....	40
Obr.3.4: Příčný řez ohřívací větru s vnitřní a vnější ohřívací komorou.....	43
Obr.3.5: Rovnovážný diagram metastabilní soustavy Fe – Fe ₃ C.....	48
Obr.3.6: Krystalizace a překrystalizace ocelí.....	49
Obr.3.7: Krystalizace a překrystalizace bílé litiny.....	50
Obr.3.8: Rovnovážný diagram stabilní soustavy Fe – C.....	51

Obr.3.9: Hexagonální struktura uhlíku.....	52
Obr.3.10: Křivkou závislosti procenta vzniklých rozpadových struktur na čase.....	53
Obr.3.11: Diagram IRA.....	53
Obr.3.10: Schéma izotermického rozpadu austenitu.....	54
Obr.3.11: Vlivu karbidotvorných prvků na tvar diagramu IRA.....	56
Obr.3.12: Diagramu ARA eutektoidní oceli se zakresleným diagramem IRA.....	57
Obr.3.10: Schéma rozdělení slitin železa.....	58
Obr.3.11: Ocele.....	58
Obr.3.12: Vysoká pec pro výrobu železa Ostrava.....	60
Obr.3.13: Krystalická mřížka cementitu.....	63
Obr.3.14: Krystalická mřížka grafitu.....	63
Obr.3.15: Grafit.....	64
Obr.3.16: Morfologické typy grafitických částic v grafitických litinách.....	65
Obr.3.17 Základní druhy grafitických litin.....	66
Obr.3.18: Mikrostruktura litiny s lupínkovým grafitem s perlitickou maticí.....	67
Obr.3.19: Mikrostruktura litiny s kuličkovým grafitem s feritickou maticí.....	68
Obr.4.1: Safír.....	72
Obr.4.2: Rubín.....	72
Obr.4.3: Schéma elektrolytické výroby Al.....	72
Obr.4.4: Změna mikrostruktury během tepelného zpracování.....	73
Obr.4.5: Změny mechanických vlastností během umělého stárnutí.....	73
Obr.4.6: Předměty z hliníku pro každodenní použití.....	73
Obr.4.7: Kompaktní disk vyrobený slitinou hliníku a stříbra.....	74
Obr.4.8: Použití slitin hliníku v automobilovém průmyslu.....	75
Obr.4.9: Podíl jednotlivých technologií na spotřebě hliníku v Evropě.....	76
Obr.4.10: Dolomit.....	77

Obr.4.11: Magnezit.....	77
Obr.4.12: Kovový hořčík.....	78
Obr.4.13: Pochodeň z Mg+KClO ₄ pod zemí.....	78
Obr.4.14: Hořící hořčík.....	79
Obr.4.15: Elektronky.....	79
Obr.4.16: Odolné víko notebooku firmy Asus z magnéziové slitiny.....	80
Obr.4.17: Titan.....	81
Obr.4.18: Airbus A380.....	82
Obr.4.19: Hodinky z titanové slitiny.....	82
Obr.4.20: Sportovní potřeby z titanové slitin.....	82
Obr.4.21: Měď.....	83
Obr.4.22: Povrchový důl na měděnou rudu.....	84
Obr.4.23: Modrý azurite.....	84
Obr.4.24: Zelený malachite.....	84
Obr.4.25: Mikrostruktura mosazi CuZn10.....	85
Obr.4.26: Hudební nástroj vyrobený z mosazi.....	86
Obr.4.27: Mikrostruktura slitiny Cu Sn12.....	86
Obr.4.28: Čistý kovový nikl.....	87
Obr.4.29: Chemické nádoby z čistého niklu.....	88
Obr.4.30: Galvanické niklové články s možností opětovného dobíjení.....	89
Obr.4.31: Použití žárovevné niklové slitiny pro spalovací motory.....	90
Obr.4.32: Galenit.....	91
Obr.4.33: Pláštěvané olověné střelivo.....	92
Obr.4.34: Cínová nádoba.....	93
Obr.4.35: Kasiterit.....	93
Obr.4.36: Bronzová křtitelnice.....	95

Obr.4.37: Sfalerit, sirič zinečnatý.....	96
Obr.4.38: Rozžhavené wolframové žárovkové vlákno.....	98
Obr.4.39: Wolframit.....	99
Obr.4.40: Minerál molybdenit.....	100
Obr.4.41: Neurologické kladívko s chromovaným držadlem.....	102
Obr.4.42: Akantit.....	103
Obr.4.43: Ryzí stříbro jako přírodní minerál.....	104
Obr.4.44: Klenotnické využití stříbra – prsteny.....	104
Obr.4.45: Přírodní kovové zlato.....	106
Obr.4.46: Rýžování zlata.....	106
Obr.4.47: Pozlacená socha.....	107
Obr.4.48: Využití zlata ve sklářském průmyslu.....	108
Obr.4.49: Zlaté cihly.....	109
Obr.4.50: Zlaté investiční mince.....	109
Obr.4.51: Kovová platina.....	109
Obr.4.52: Platinové nádoby.....	110
Obr.4.53: Využití platiny ve šperkařství.....	111
Obr.5.1: Výstava výrobků z polymerních materiálů.....	112
Obr.5.2 Klasifikace polymerů za běžné a zvýšené teploty.....	113
Obr.5.3: Světová produkce plastů v roce 1999.....	113
Obr.5.4: Základní systematické rozdělení plastů dle chemického složení.....	114
Obr. 5.5: Polyethylen.....	114
Obr.5.6: Struktura PTFE, PVC a PP.....	115
Obr.5.7: Nadmolekulární struktura polymerů.....	116
Obr.5.8: Struktura.....	116
Obr.5.9: Struktura kopolymerů.....	117

Obr.5.10: Nadmolekulární struktura polymerů v závislosti na teplotě.....	118
Obr.5.11: Semikrystalický polymer.....	118
Obr.5.12: Sfěrolity.....	119
Obr.5.13: Nadmolekulární struktura semikrystalického plastu.....	119
Obr.5.14: Rozdíly ve struktuře semikrystalického výstřiku na povrchu a v jádře.....	120
Obr.5.15: Sfěrolit.....	120
Obr.5.16: Přechodové teploty pro vybrané druhy plastů.....	121
Obr.5.17: Rozdělení polymerů dle aplikace a jejich nadmolekulární struktury.....	122
Obr.5.18: Polyetylén.....	125
Obr.5.19: Vlastnosti lineárního (HDPE) a rozvětveného (LDPE) polyetylénu.....	125
Obr.5.20: Příklady aplikací LDPE a HDPE.....	126
Obr.5.21: Polypropylen.....	127
Obr.5.22: Folie z polypropylenu.....	127
Obr.5.23: Polyvinylchlorid.....	129
Obr.5.24: Polystyren.....	131
Obr.5.25: Styrenakrylonitril.....	132
Obr.5.26: Akrylonitrilbutadienstyren.....	133
Obr.5.27: Polymethylmethakrylát.....	134
Obr.5.28: Polyethylentereftalát.....	135
Obr.5.29: Polykarbonát.....	136
Obr.5.30: Příklady aplikací termoplastů.....	139
Obr.5.31: Struktura plastu plněného skelnými vlákny.....	142
Obr.5.32: Příklady aplikací reaktoplastů.....	143
Obr.5.33: Kaučukový latex.....	144
Obr.5.34: Získávání latexu z kaučukovníku.....	145
Obr.5.35: Příklady aplikací vulkanizovatelných a termoplastických elastomerů.....	147

Obr.5.36: Složení pneumatiky.....	148
Obr.5.37: Základní struktura pneumatiky.....	151
Obr.5.38: Základní typy reakcí pro přípravu polymerů.....	153
Obr.5.39: Podrobnější přehled polyreakcí.....	154
Obr.5.40: Příprava PE polymerací.....	155
Obr.5.41: Příprava nylonu v baňce.....	157
Obr.5.42: Ukázka volby druhu plastu pro vybrané aplikace v automobilech.....	158
Obr.6.1: Jeden z nejznámějších laminárních kompozitů – dřevěná překližka.....	159
Obr.6.2: Synergické chování složek kompozitů.....	160
Obr.6.3: Tahové diagramy křehké matrice a kompozitu.....	160
Obr.6.4: Jevy na rozhraní matrice a výztuže při porušování kompozitu.....	161
Obr.6.5: Základní skladba kompozitů.....	161
Obr.6.6: Příklady tkanin vyrobených ze skelných vláken.....	162
Obr.6.7: Struktura aramid–hliníkového kompozitů.....	163
Obr.6.8: Porovnání tahového diagramu oceli a uhlíkových kompozitů.....	164
Obr.6.9: Schéma vazby Plain.....	165
Obr.6.10: Schéma vazby Kepr.....	165
Obr.6.11: Schéma vazby Satén.....	166
Obr.6.12: Příklady pěnových voštin.....	169
Obr.6.13: Kevlarová voština.....	169
Obr.6.14: Výroba sendvičových kompozitů.....	170
Obr.6.15: Klasický způsob formování.....	171
Obr.6.16: Formování pomocí membrány.....	171
Obr.6.17: Podvozek RC modelu.....	172
Obr.6.18: Přilba pro paragliding.....	173
Obr.6.19: Schéma složení moderních laminátových lyží.....	174

Obr.6.20: Schéma složení diagonální pneumatiky.....	175
Obr.6.21. Schéma složení radiální pneumatiky.....	175

SEZNAM TABULEK

Tab.1.2: Subjektivní hodnocení atributů zkoušení pro různé formy.....	22
Tab.3.1: Mechanické vlastnosti litin.....	65
Tab.5.1: Proces polymerace.....	154

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: CD