

**MENDELOVA UNIVERZITA V BRNĚ**  
**AGRONOMICKÁ FAKULTA**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**BRNO 2017**

**ALEŠ VALEHRACH**

**Mendelova univerzita v Brně**  
**Agronomická fakulta**  
**Ústav techniky a automobilové dopravy**

---



**Perspektivní konstrukční materiály**

Bakalářská práce

*Vedoucí práce:*

doc. Ing. Michal Černý, CSc.

*Vypracoval:*

Aleš Valehrach

---

Brno 2017



## Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem práci: „**Perspektivní konstrukční materiály**“ vypracoval samostatně a veškeré použité prameny a informace uvádím v seznamu použité literatury. Souhlasím, aby moje práce byla zveřejněna v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a v souladu s platnou *Směrnicí o zveřejňování vysokoškolských závěrečných prací*.

Jsem si vědom, že se na moji práci vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., autorský zákon, a že Mendelova univerzita v Brně má právo na uzavření licenční smlouvy a užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona.

Dále se zavazuji, že před sepsáním licenční smlouvy o využití díla jinou osobou (subjektem) si vyžádám písemné stanovisko univerzity, že předmětná licenční smlouva není v rozporu s oprávněnými zájmy univerzity, a zavazuji se uhradit případný příspěvek na úhradu nákladů spojených se vznikem díla, a to až do jejich skutečné výše

V Brně dne: .....

.....  
podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Mé poděkování patří panu doc. Ing. Michalu Černému, CSc. Za odborné vedení, trpělivost a ochotu, kterou mi v průběhu zpracování bakalářské práce věnoval. Také mé rodině za velkou podporu.

## **ABSTRAKT**

Bakalářská práce s názvem: „Perspektivní konstrukční materiály“ je zaměřena na rozdělení materiálů, jejich charakteristiku, výrobu a doporučení pro použití v technické aplikaci. Tato práce je rozdělena do tří hlavních částí. V první část bakalářské práce se pojednává na materiály současnosti. Druhá část je zaměřena na progresivní materiály v dnešní době. Třetí část se zabývá speciálními materiály současnosti.

**Klíčová slova:** materiály, výroba, charakteristika, použití

## **ABSTRACT**

Bachelor thesis entitled "Perspective Construction Materials" is focused on the distribution of materials, their characteristics, production and recommendations for use in the technical application. This work is divided into three main parts. The first part of the bachelor thesis deals with contemporary materials. The second part focuses on progressive materials today. The third part deals with special materials of the present.

**Key words:** materials, production, characteristics, use

## OBSAH

<b>1 ÚVOD .....</b>	<b>10</b>
<b>2 CÍL PRÁCE .....</b>	<b>11</b>
<b>3 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY SOUČASNOSTI.....</b>	<b>12</b>
<b>3.1 Oceli .....</b>	<b>12</b>
3.1.1 Výroba oceli .....	12
3.1.2 Oceli ke tváření .....	17
3.1.2.1 Oceli třídy 10 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakost.....	17
3.1.2.2 Oceli třídy 11 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí.....	17
3.1.2.3 Oceli třídy 12 - konstrukční, ušlechtilé, uhlíkové .....	18
3.1.2.4 Oceli třídy 13 - oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové .....	18
3.1.2.5 Oceli třídy 14 - oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové .....	18
3.1.2.6 Oceli třídy 15 - oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové .....	19
3.1.2.7 Oceli třídy 16 - oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové .....	19
3.1.2.8 Oceli třídy 17 – oceli konstrukční, ušlechtilé vysokolegované .....	19
3.1.2.9 Oceli třídy 19 – nástrojové .....	20
<b>3.2 Nikl a jeho slitiny .....</b>	<b>20</b>
3.2.1 Účinky legující prvky v niklových.....	21
3.2.2 Technický nikl a nízkolegovaný nikl.....	22
3.2.3 Nikl – měď slitina .....	23
3.2.3.1 Převaha niklu ve slitině nikl-měď' .....	23
3.2.3.2 Převaha mědi ve slitině nikl-měď' .....	23
<b>4 PŘEHLED PROGRESIVNÍCH MATERIÁLŮ .....</b>	<b>27</b>
<b>4.1 VYSOKOPEVNÉ MATERIÁLY .....</b>	<b>27</b>
4.1.1 Titan a jeho slitiny .....	27
4.1.1.1 Čistý titan.....	27
4.1.2 Slitiny titanu.....	27
4.1.2.1 Slitiny $\alpha$ .....	28
4.1.2.2 Slitiny pseudo $\alpha$ .....	28
4.1.2.3 Slitiny $\alpha + \beta$ .....	29
4.1.2.4 Slitiny $\beta$ a pseudo $\beta$ .....	29
4.1.3 Superslitiny .....	30

4.1.3.1	<i>Superslitiny na základě niklu</i> .....	31
4.1.3.2	<i>Superslitiny na základě nikl-železo</i> .....	31
4.1.3.3	<i>Superslitiny na základě kobaltu</i> .....	31
4.1.3.4	<i>Použití superslitin</i> .....	32
4.1.4	<b>Práškové nástrojové oceli</b> .....	33
<b>4.2</b>	<b>KOMPOZITNÍ MATERIÁLY</b> .....	<b>33</b>
4.2.1	<b>Použití částicových kompozitů</b> .....	<b>35</b>
4.2.1.1	<i>Slinuté karbidy</i> .....	35
4.2.1.2	<i>Brusiva</i> .....	35
4.2.1.3	<i>Materiály pro elektrické kontakty</i> .....	36
4.2.1.4	<i>Polymerní kompozity</i> .....	36
4.2.2	<b>Použití kompozitů s vystužujícími vlákny</b> .....	<b>36</b>
4.2.2.1	<i>Vyztužený beton</i> .....	36
4.2.2.2	<i>Pneumatiky</i> .....	36
4.2.2.3	<i>Sklolaminát</i> .....	36
<b>5</b>	<b>SPECIÁLNÍ SKUPINY MATERIÁLŮ</b> .....	<b>37</b>
<b>5.1</b>	<b>Materiály s tvarovou pamětí</b> .....	<b>37</b>
5.1.1	<b>Využití materiálů s tvarovou pamětí</b> .....	<b>38</b>
<b>5.2</b>	<b>Funkčně gradientní materiály</b> .....	<b>39</b>
5.2.1	<b>Definice a princip funkčně gradientních materiálů</b> .....	<b>39</b>
<b>5.3</b>	<b>Kovová skla</b> .....	<b>42</b>
5.3.1	<b>Výroba kovových skel</b> .....	<b>43</b>
5.3.2	<b>Využití kovových skel</b> .....	<b>44</b>
<b>5.4</b>	<b>Technická keramika</b> .....	<b>44</b>
5.4.1	<b>Keramika oxidická</b> .....	<b>45</b>
5.4.2	<b>Keramika neoxidická</b> .....	<b>45</b>
5.4.2.1	<i>Keramické materiály na bázi karbidu křemíku (SiC)</i> .....	45
5.4.2.2	<i>Konstrukční keramika typu Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub></i> .....	45
5.4.2.3	<i>Konstrukční keramika z karbidu, nitridu boru</i> .....	46
5.4.3	<b>Využití technické keramiky</b> .....	<b>46</b>
5.4.3.1	<i>Keramika směsná</i> .....	46
5.4.3.2	<i>Biokeramika</i> .....	46



5.4.3.3	<i>Řezná keramika</i> .....	47
5.5	Nanomateriály .....	47
5.5.1	Použití nanovláken: .....	47
5.6	Degradabilní materiály .....	48
5.7	Zhodnocení poznatků .....	49
6	ZÁVĚR .....	51
7	LITERATURA A INTERNETOVÉ ZDROJE .....	52
8	SEZNAM OBRÁZKŮ .....	54
9	SEZNAM TABULEK .....	55

# 1 ÚVOD

S volbou konstrukčního materiálu se setkáváme v běžném životě neustále. Ať už je to od volby materiálu domu nebo strojů, které konstruujeme. Proto je velmi důležité, aby volený materiál splňoval dané požadavky.

Již od prvopočátku člověk začal využívat různé přírodní materiály, které mu sloužili např. k obdělávání půdy, k bránění svých domovů nebo dobývání území a ke zlepšení svých životních podmínek. Jak čas plynul, tak i lidstvo se vyvíjelo a s tím i druhy materiálů, které používalo. A proto není náhodou, že se po různých druzích materiálů, které se používali, nazývají samy historická období jako doba kamenná, měděná, bronzová nebo železná. Také nové různé vynálezy měli podíl na zavádění nových materiálů, které splňovali požadavky, aby vynález plnil svoji funkci.[2]

V dnešní době se nové materiály objevují podstatně rychleji než kdy předtím. Důvodem pro vývoj nových materiálů je jejich specifické zaměření a vlastnosti – elektrické, magnetické nebo mechanické. Také s rostoucí výrobou letadel, automobilů a raketové techniky byl požadavky stále přísnější.[2]

## **2 CÍL PRÁCE**

Cílem této bakalářské práce je přiblížit přehled rozdělení různých konstrukčních materiálů, které jsou v současnosti používány. Jedná se o teorii zaměřenou na seznámení se s jednotlivými materiály. V jednotlivých kapitolách je popsáno jejich složení, výroba a použití. Hlavním cílem je komplexní shrnutí poznatků.

## 3 KONSTRUKČNÍ MATERIÁLY SOUČASNOSTI

### 3.1 Oceli

Mezi nejvýznamnější skupinu slitin železa patří bezesporu oceli, především díky své pevnosti a velkému zastoupení.

Jsou a budou nejdůležitějším konstrukčním materiálem pro výrobu strojních součástí a stavebních konstrukcí. [1] [4]

#### 3.1.1 Výroba oceli

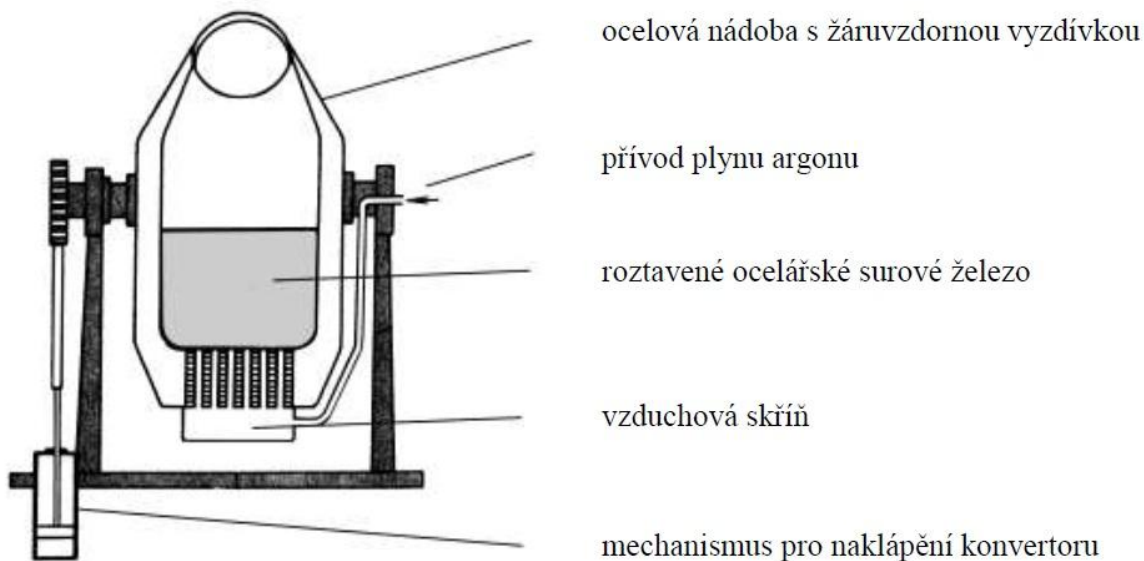
Procesem zkujňováním se ze surového železa a z menší části ocelového odpadu vyrábí ocel. Při tomto procesu se spaluje uhlík, kterého je v oceli maximálně 2,14 [%] a odstraňují se škodlivé prvky, jakou jsou například: síra, fosfor a přidávají se legující prvky jako je křemík, mangan, chrom, nikl a podobně. Až 90 [%] surového železa se zpracovává na výrobu oceli. [1] [4]

Pro výrobu oceli se používají následující způsoby:

1. výroba v konvektoru
2. výroba martinské peci
3. výroba elektrické peci
4. výroba vakuu

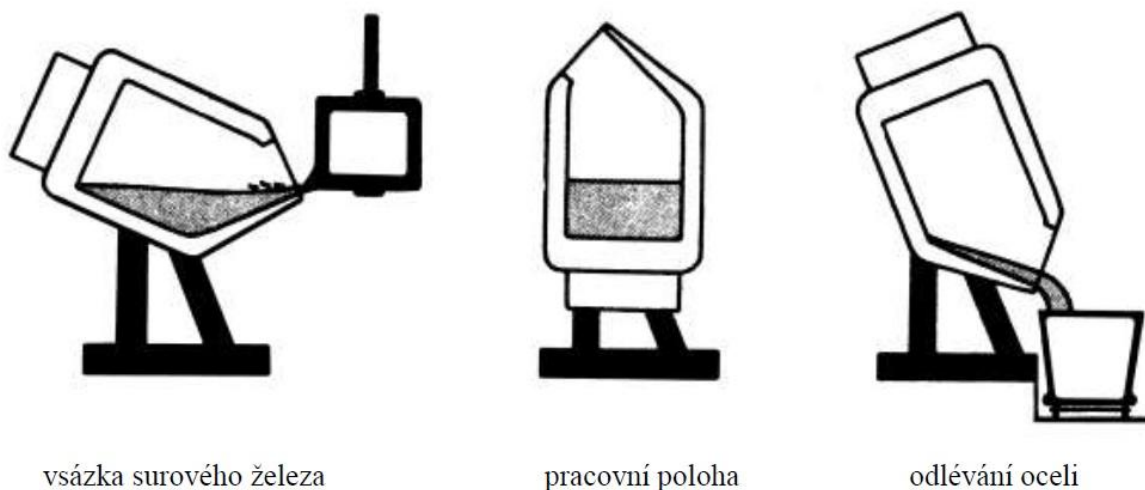
#### Výroba v konvektorech

*„Konvertor je nádoba hruškovitého tvaru, zhotovená z ocelového plechu, uvnitř je vyzděná žáruvzdornými cihlami a sklopná kolem vodorovné osy. Vyzdívka konvertoru je kyselá nebo zásaditá.“ [4]* Ve dně nádoby jsou otvory pro přívod vzduchu. Díky otvorům proudí vzduch do roztaveného surového železa a prvky jako síra, fosfor, uhlík s dalšími nežádoucími prvky, spolu reaguje a dojde jejich spálení. Vzduch musí mít dostatečný tlak, aby nedocházelo k ucpání otvoru pro přívod vzduchu. Vyzdívka kyselá zkujňuje surové železo s vysokým obsahem křemíku a vyzdívka zásaditá zkujňuje surové železo s vysokým obsahem fosforu. Konstrukce konvertoru je zobrazena na obr. 1.[4]



*Obr. 1 Konstrukce konvertoru [4]*

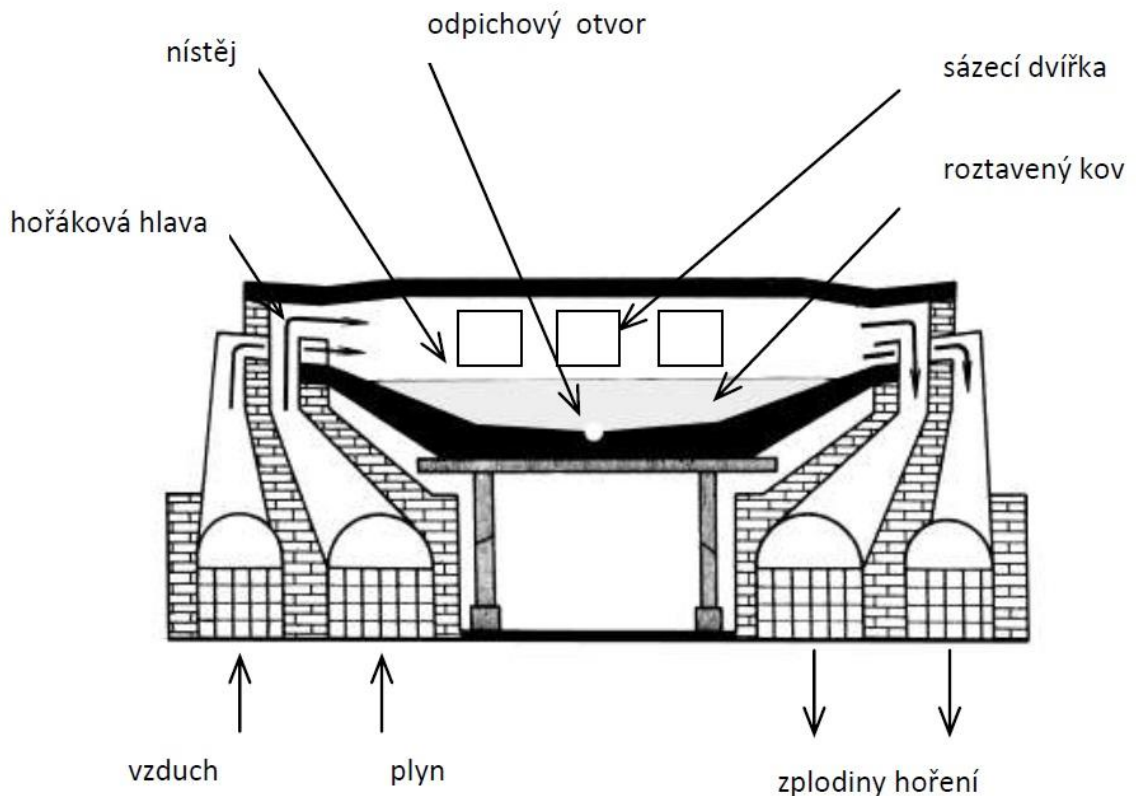
V ocelárnách a při velké výrobě se na místo konvektorů používají válcové mísiče, kde se pro vytápění používá vysokopecní plyn. Výkonost konvektorů je vysoká, avšak výroba oceli je náročná a nelze v nich vyrábět slitinové oceli, neboť legující prvky se spalují společně s uhlíkem. Postupná výroba oceli v konvektoru viz obr. 2. [4]



*Obr. 2 Výroba oceli v konvektoru [4]*

## Výroba v martinských pecích

„Martinská pec je nádoba, která má v přední části několik sázecích dveří pro vsázku (surové železo, šrot). V nejnižší části je umístěn odpichový otvor. Martinská pec se vyrábí jako pevná nebo sklopná.“ [4] Schéma martinské peci je znázorněno na obr. 3. Vsázka se ohřívá plamenem generátorového plynu a vzduchu nebo spalováním těžkých olejů. Aby se dosáhlo vysoké teploty, přehřívá se plyn a vzduch ve dvou komorách pod pecí. [4]



Obr. 3 Schéma martinské peci [4]

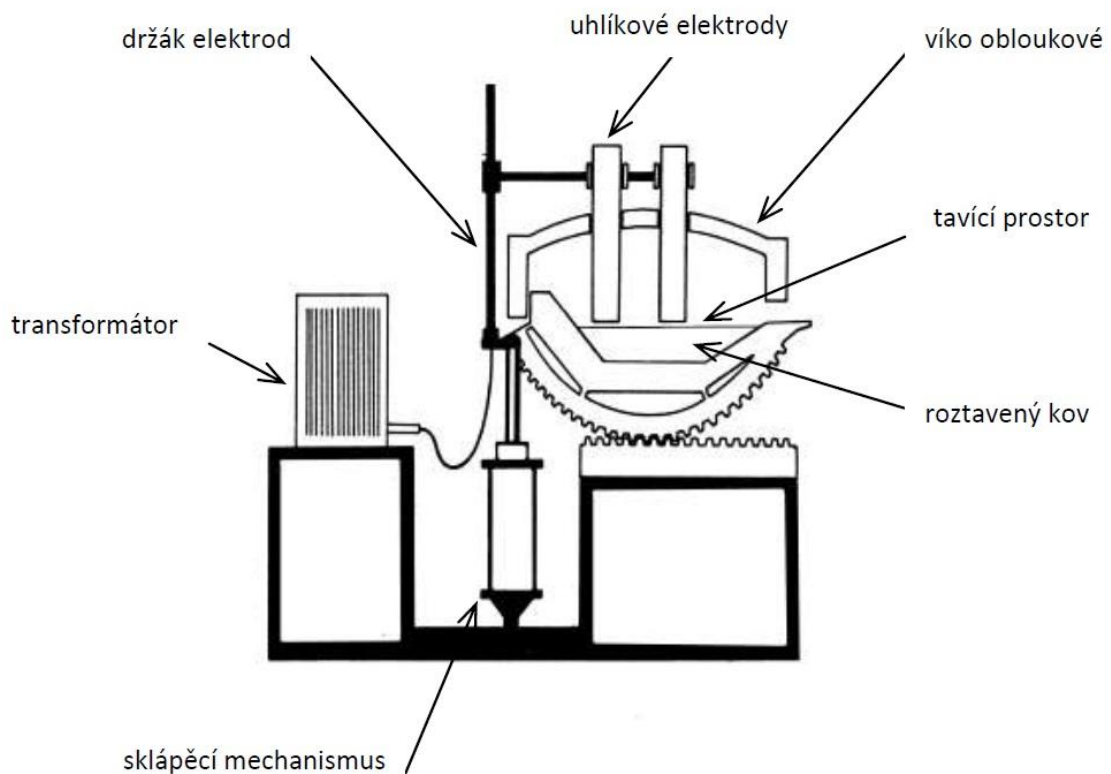
Výhodou martinských pecí je, že se surové železo neobohacuje dusíkem, protože je chráněno struskou. Jsou také vhodné pro výrobu ušlechtilých ocelí. [4]

## Výroba v elektrických pecích

Elektrické pece pro výrobu ocelí můžeme rozdělit na obloukové a indukční. Objem těchto pecí může být od několika desítek kg po 200 t vsázky. [4]

## Obloukové pece

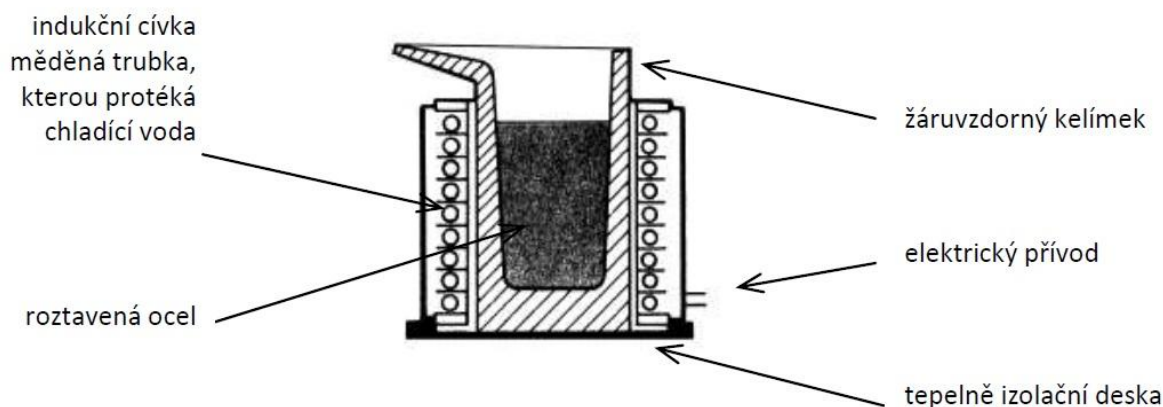
Obloukové pece jsou jedny z nejuniverzálnějších pro výrobu ocelí. Jsou válcového tvaru a nejpoužívanější vyzdívka je zásaditého typu. Mohou zpracovávat jak surové železo, tak i samotný pevný ocelový odpad. Pec je sklopná za účelem vypouštění oceli. Zdrojem tepla je hořící elektrický oblouk, který vzniká mezi elektrodou a vsázkou. Zdrojem třífázového elektrického proudu je transformátor o napětí 80 až 300 V. Elektrický proud z transformátoru přechází do dvou nebo tří elektrod. Znázornění elektrické obloukové pece je na obr. 3. Výhodou je možnost přerušit proces pece a doplnit vsázkou. Oproti martinské peci jsou náklady na výrobu vyšší přibližně o 10 až 15 %. Ocel vyrobená v obloukové peci má lepší vlastnosti oproti výrobě oceli v martinské peci. V obloukových pecích je možné vyrábět i ušlechtilé oceli. [4]



Obr. 4 Schéma elektrické obloukové pece [4]

## Indukční pece

Pec využívá indukčního střídavého proudu pro ohřívání vsázky. Pec je tvořena indukční cívkou, která je vyrobena nejčastěji z měděných trubek, ve kterých protéká chladicí voda a kelímkem, který je umístěný právě v cívce. Elektrická indukční pec je zobrazena na obr. 5. Výhodou těchto pecí je velká rychlost tavení, snadná údržba, jednoduché ovládaní. Tyto pece se používají pro výrobu vysokolegovaných ocelí. [4]

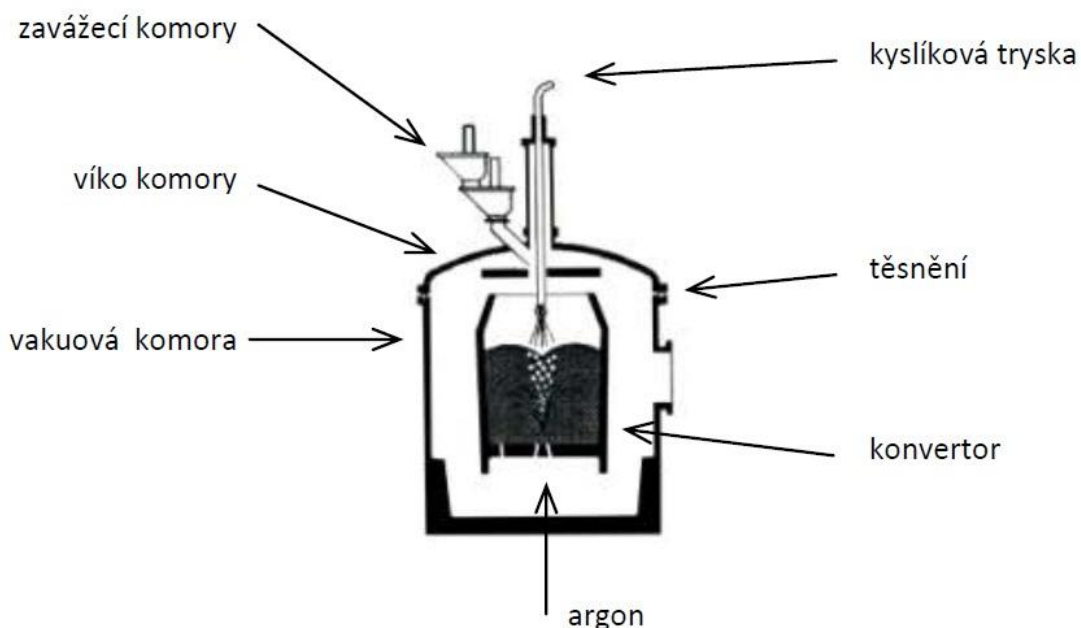


Obr. 5 Schéma elektrické indukční pece [4]

## Výroba ve vakuu

Snaha po dosažení větší čistoty oceli, než je možno dosáhnout jakýmkoliv popsáním postupem vede k novým způsobům její výroby. Tavení ve vakuu se uplatňuje jen při výrobě drahých slitinových ocelí. Pro ohřev se používá indukční pec, která je uzavřena ve vakuové komoře. Ta nedovolí přístupu škodlivých prvků do oceli. Tato výroba je velice nákladná a používá se pro výrobu speciálních ocelí. [4] Proces výroby ve vakuu je znázorněn na obr. 6.





Obr. 6 Schéma výroby oceli ve vakuu [4]

### 3.1.2 Oceli ke tváření

Podle použití rozdělujeme ocele na konstrukční a nástrojové. Konstrukční oceli slouží pro výrobu strojních součástí, jakou jsou šrouby, ložiska, hřídele. Nástrojových ocelí se zase vyrábějí obráběcí nástroje, jak jsou soustružnické nože, frézy, vrtáky. Podle chemického složení dělíme oceli na uhlíkové, ve kterých je hlavní legující prvek uhlík, a slitinové kde jsou kromě uhlíku použity i jiné legující prvky jako chrom, mangan, titan, vanad, křemík a podobně. Následující rozdělení ocelí je podle norem ČSN. [1] [4]

#### 3.1.2.1 Oceli třídy 10 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí

U ocelí třídy 10 není přesně zaručená chemické složení. Zaručené nejsou ani mechanické a technologické vlastnosti. Obsah uhlíku v oceli nízký, a proto jsou dobře svařitelné. Používají se pro výztuže do betonu, na nýty, dráty a méně namáhané šrouby. [1] [4]

#### 3.1.2.2 Oceli třídy 11 – oceli konstrukční, uhlíkové obvyklých jakostí

Na rozdíl od ocelí třídy 10 mají zaručené chemické složení a díky tomu i mechanické vlastnosti. Patří mezi nejpoužívanější konstrukční oceli. Z ocelí třídy 11 se vyrábějí plechy, trubky, profily, dráty a podobně. [1] [4]

Nejpoužívanější oceli třídy 11 jsou oceli 11 320, 11 373, 11 500, 11 600, ze kterých se vyrábějí šrouby, matice, čepy, hřídele, pístní tyče a méně namáhaná ozubená kola. Zušlechťováním lze u některých ocelí tohoto typu, zvýšit pevnost v tahu až na 800 – 900 MPa. [1] [4]

### **3.1.2.3 Oceli třídy 12 - konstrukční, ušlechtilé, uhlíkové**

Tyto oceli mají lepší čistotu než oceli třídy 11. Hlavním přísadovým prvkem je uhlík. Ostatní prvky jako je mangan nebo křemík, jsou v oceli obsaženy jen ve velmi malém množství. Podle obsahu uhlíku v oceli jsou rozděleny do skupin pro druhy tepelného a chemicko-tepelného zpracování. [4]

Oceli s obsahem uhlíku od 0,06 do 0,2 % jsou vhodné pro cementování s následným kalením. Oceli, které mají obsah uhlíku menší, jak 0,2 % nelze kalit. Z těchto ocelí se vyrábějí hřídele a ozubená kola. [4]

Oceli s obsahem uhlíku od 0,25 do 0,7 % jsou vhodné pro zušlechťování. Slouží pro výrobu velmi namáhané strojní součástí, které jsou i rázově namáhané jako jsou ojnice, páky, součástky turbokompresorů. [4]

Oceli s obsahem uhlíku od 0,4 do 0,6 % jsou vhodné pro povrchové kalení. Jsou vhodné pro výrobu ozubených nebo řetězových kol, vačkových hřídelí, měřidel a kalibrů. [1][4]

### **3.1.2.4 Oceli třídy 13 - oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové**

Oceli třídy 13 jsou z velké části legované křemíkem a manganem. Využívají se na místo ocelí třídy 12, které nesplňují pevnostní požadavky. Protože obsahují křemík, a to až do 5 [%], jsou využívány v elektrotechnice jako dynamové a transformátorové plechy. Oceli s obsahem křemíku do 1,7 [%] se využívají pro výrobu pružin a ozubených kol. [4]

### **3.1.2.5 Oceli třídy 14 - oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové**

Tyto oceli jsou legované chromem, manganem a křemíkem. Oceli, které mají vysoký obsah chromu, jsou používány k cementování a k následnému kalení, mají nízký obsah uhlíku. Vyrábí se z nich ozubená kola, součásti letadlových motorů, ojnice.

Oceli, které jsou určeny k zušlechťování, obsahují více uhlíku a díky tomu můžeme ocel kalit do větších hloubek. Tyto oceli dosahují značné pevnosti a to až 1200 - 1300 MPa. Slouží

pro výrobu extrémně namáhaných součástí, jako jsou parní turbíny a spalovací motory. Oceli, které obsahují kolem 1 %, slouží pro výrobu součástí valivých ložisek. [4]

#### ***3.1.2.6 Oceli třídy 15 - oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové***

Jsou legované chromem, molybdenem, wolframem, manganem, křemíkem, vanadem a dalšími prvky. Díky velkému počtu legujících prvků vzniká také velké množství oceli této třídy. Mají vysoké hodnoty pevnosti a vysokou mez kluzu. Tyto oceli si udrží své velmi dobré mechanické vlastnosti i při extrémních teplotách. Používají se pro součásti parních turbín, tlakových nádob i pro zařízení v chemickém průmyslu. [4]

#### ***3.1.2.7 Oceli třídy 16 - oceli konstrukční, ušlechtilé, slitinové***

Jsou legované z velké části niklem. Nikl je legován v kombinaci s chromem, nebo niklem s vanadem, niklem s wolframem anebo v kombinaci niklem, chromem, wolframem, vanadem a dalšími variantami. Jsou dobře kalitelné do velkých hloubek. Oceli s malým množstvím uhlíku jsou vhodné pro cementování s následným zušlechťováním. Používají se pro výrobu nejnámáhavějších součástí, jako jsou lopatky parních turbín a turbokompresorů. Tyto oceli mohou pracovat při extrémně vysokých teplotách tak i při extrémně nízkých teplotách. [4]

#### ***3.1.2.8 Oceli třídy 17 – oceli konstrukční, ušlechtilé vysokolegované***

Oceli třídy 17 je značný počet. Tyto oceli můžeme označit jako korozivzdorné, žárovzdorné, žárovevné a speciální. Hlavními legujícími prvky jsou chrom, mangan, křemík, nikl, wolfram, titan, vanad a další ušlechtilé prvky. Oproti ocelím třídy 13 až 16 jsou podstatně několikanásobně větším množstvím legované. Vyrábějí se z nich chirurgické nástroje, měřidla, žáruvzdorná a žárovevná zařízení, zařízení pro sklárny, potravinářský, chemický průmysl. Nelze je použít v radioaktivním prostředí. Oceli manganové se používají k výrobě drtičů a mlýnů pro zpracování kamene a rud. [4]

### **3.1.2.9 Oceli třídy 19 – nástrojové**

#### **Nástrojové oceli uhlíkové**

Tyto oceli mají obsah uhlíku nad 0,8 %. Používají se pro výrobu ručních a strojních obráběcích nástrojů. Zakalením oceli získávají tvrdost. Oceli s obsahem uhlíku kolem 0,8 % se používají pro výrobu nástrojů na obrábění dřeva, nože a kladiva. Z oceli s obsahem větší jak 0,8 % uhlíku se vyrábějí nástroje pro ruční zpracování a obrábění kovů. Jsou to například pilníky, vrtáky a nástroje pro tváření. Tyto nástroje nesnesou teplotu vyšší jak 200 °C. [4]

#### **Nástrojové oceli slitinové**

Používají se pro výrobu nástrojů, kde nestačí vlastnosti uhlíkových nástrojových ocelí. Prvky jako chrom, wolfram a vanad vytvářejí v oceli tvrdé karbidy a díky těmto prvkům si oceli zachovávají své vlastnosti i při vysoké teplotě a to až 600 °C. Také mají dobrou odolnost proti oděru a houževnatost, která brání lámání nástrojů. [4]

#### **Nástrojové oceli rychlořezné**

Rychlořezné oceli se používají k výrobě nejvýkonnějším řezným nástrojům a nástrojům pro tváření za studena. Jsou tvrdé, odolné proti otěru a také proti popuštění. Obsahují až 18 % wolframu, 4 % chromu, vanadu, molybdenu a dalších legujících prvků. Pro nejvíce namáhané nástroje se používají oceli, která jsou legované hlavně kobaltem a dalšími prvky. Obsah kobaltu bývá od 0,5 do 11 % a tyto oceli slouží pro výrobu protahováků, protlačováku a dalších extrémně namáhaných nástrojů. [4]

## **3.2 Nikl a jeho slitiny**

### **Čistý nikl**

Nikl jako čistý kov je bílé barvy s teplotou tání 1455 °C a patří mezi těžké kovy. Má velmi dobré mechanické vlastnosti, je feromagnetický a dobře svařitelný. Nikl dobře odolává atmosférickým vlivům a zvláště dobře alkalickým látkám jak za normálních teplot, tak i za zvýšených. Není odolný vůči silným kyselinám. Na vlastnosti niklu má velký význam obsah nečistot. Krystalizuje v soustavě krychlové plošně středěné. Má velmi dobré mechanické vlastnosti i za nízkých teplot, a to i hluboko pod bod mrazu. Tyto vlastnosti

ovšem závisí na čistotě a na legujících prvců. Samotný nikl dosahuje meze kluzu v tahu 148 MPa a pevnosti v tahu 462 MPa při tažnosti 47 %.[2] [4] [5]

Modul pružnosti v tahu dosahuje hodnoty 204 GPa, který je skoro stejný jak u konstrukčních ocelí. Výhodou použití niklu je dobrá zpracovatelnost jak za tepla, tak i za studena ale hlavně si nikl a jeho slití uchovávají pevnosti charakteristiky do vysokých teplot. U běžných slitin je to 400-550 °C a u některých superslitin až do hodnoty okolo 800 °C. [2] [4] [5]

### 3.2.1 Účinky legujících prvky v niklových

Účinky legujících prvků na vlastnosti niklových slitin umožňují jejich využití i mnohem agresivnějších prostředí, než je tomu u slitin nerezavějících ocelí. Na vlastnosti niklu má vliv i množství legujících prvků jako je železo, chrom, molybden a wolfram. [4]

- **Měď** - zvyšuje odolnost vůči neoxidačním kyselinám. Přídavek 30-40 % zvyšuje odolnost proti neokysličené kyselině sírové a fluorovodíku. Přídavek 2-3 % zvyšuje odolnost proti kyselině chlorovodíkové, kyselině sírové a kyselině fosforečné. [2]
- **Chrom** - naopak od mědi zvyšuje odolnost vůči oxidačním prostředí kyselin dusičné chromové a kyselině fosforečné Také zvyšuje odolnost proti vysokoteplotním oxidacím (vznik pasivačního filmu na povrchu). Obsah přídavku chromu se pohybuje běžně okolo 15-30 %. [2]
- **Železo** - jako legující prvek se přidává především proto, aby se snížily náklady na výrobu a cena samotné slitiny na úkor antikoroziní ochrany. Výjimku tvoří obsah železa přes 50 %, která je z důvodu zvýšení odolnosti vůči kyselině sírové a také zvyšuje rozpustnost uhlíku v niklu, a tím zlepšení odolnosti proti vysokoteplotnímu nauhličení. [2]
- **Kobalt** - stejně jako železo zvyšuje rozpustnost uhlíku v niklu a tím zvyšuje odolnost proti vysokoteplotnímu nauhličení. Také zvyšuje odolnost proti vysokoteplotnímu na šíření. [2]
- **Molybden** - stejně jako měď zvyšuje odolnost proti neoxidačním kyselinám. Slitiny s obsahem do 20 % molybdenu odolávají kyselinám chlorovodíkové, fluorovodíkové,

fosforečné a sírové. Molybden také zvyšuje vůči bodové a štěrbinové korozi. Také je velmi důležitý zpevňující legující prvek pro slitiny se zvýšenou pevností při vysokoteplotních použití. [2]

- **Wolfram** - podobně jako molybden zvyšuje odolnost vůči neoxidačním kyselinám a lokální korozi. Je také velmi výrazný prvek, který zpevňuje slitinu. Jeho užití však není tak časté jako u molybdenu, neboť jeho atomová hmotnost je vyšší tady i výsledná slitina bude těžší a také je podstatně dražší. Proto se raději upřednostňuje molybden, pokud to není nezbytné nebo jejich kombinace. [2]
- **Křemík** - přidává se do slitin za záměrem zvýšení odolnosti proti vysokoteplotní oxidaci. Použití jako hlavního legujícího prvku je za účelem zvýšení odolnosti proti horké koncentrované kyselině sírové. U slitin s vyššími obsahy železa, kobaltu, molybdenu, wolframu a podobnými těžkotavitelnými prvky jsou hlídány, protože stabilizuje karbidy a škodlivé intermetalické fáze. [2]

### 3.2.2 Technický nikl a nízkolegovaný nikl

Názvy slitin niklu závisejí na obsahu niklu, nečistot a případně malého přídatku legujících prvků. [2] Zastoupení prvků je znázorněno v tabulce níže tab. 1.

Tab. 1 Zastoupení prvků[2]

Legující prvek	Hmotnostní procento [%]
Nikl	93 – 99,9
Měď	0,01-0,25
Železo	0,05-7,75
Mangan	0,003-5,25
Uhlík	0,02-0,3
Křemík	0,005-1
Síra	0,008-0,015

Nikl a nízkolegovaný nikl má dobré mechanické elektrické vlastnosti s dobrou protikorozi a oxidační odolností. Podle obsahu niklu se používá v potravinářském průmyslu jako

součástí zařízení, přepravní kontejnery pro chemikálie, elektronické součástky, pouzdra baterii, součásti pro vysoké teploty a prostředí se zvýšeným obsahem síry, lisovací součásti pro průtlačné lisování plastu a také v leteckém a raketovém průmyslu. [2]

### **3.2.3 Nikl – měď slitina**

Tuto slitinu niklu a mědi lze rozdělit na dvě skupiny, a to podle převažujícího prvku ve slitině. Binární systém, je charakteristický vzájemnou dokonalou rozpustností v tuhém stavu, což znamená, že nevznikají sekundární fáze a mikrostruktura je v celém rozsahu složení tvořena pouze jednou fází, tedy tuhým roztokem mědi v niklu nebo niklu v mědi. Tento typ mikrostruktury umožňuje dobrou tvářitelnost slitin za studena a přispívá k velké odolnosti vůči korozi. [2]

#### **3.2.3.1 Převaha niklu ve slitině nikl-měď**

Slitiny, ve kterých převládá obsahem nikl, se nazývají tzv. monely. Tento obchodní název si zaregistrovala americká firma Special Metals Corporation. Slitina již byla vyrobena v roce 1901 a byla pojmenována po tehdejší prezidentu firmy Nickel Company Amrose Monellovi. [2]

#### **Monely**

Vlastnosti monelů, které mají podíl niklu 63-66 % niklu, do 34 % mědi a železa, manganu, křemíku, hliníku mají výborné mechanické vlastnosti a chemickou odolnost v náročném prostředí. Dříve se používali v mírně redukčním prostředí. Dnes se využívají místo nerezových ocelí, protože vynikají výbornou odolností proti korozi mořské vody, kyselinám fluorovodíkové a sírové. [1] [2]

Monely se používají pro výrobu lodních šroubů, nýtů, ventilů, šroubů, čerpadel, hřídelí, armatur a zařízení pro výrobu chemikálií a uhlovodíků. [2]

#### **3.2.3.2 Převaha mědi ve slitině nikl-měď**

Naopak ve slitinách, ve kterých převládá obsahem měď, vynikají svými odolnosti proti korozi ale také elektrickými vlastnostmi. [2]

## **Konstantan**

Konstantan je slitina tvořena z 55 % mědi a 45 % niklu. Tato slitina má vysoký elektrický odpor  $0,49 \mu\Omega \cdot m$ , velmi nízký teplotní koeficient elektrického odporu při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$   $0,00001$ , roztažnosti  $0,000015 \text{ K}^{-1}$ . Název konstantan je odvozen od elektrického odporu, který si zachovává ve velkém teplotním rozsahu. Používá se hlavně na výrobu termočlánků. [2]

## **Nikelin**

Nikelin je slitina obsahující 31 % niklu, 56 % mědi a 13 % zinku. Stejně jako konstantan má tato slitina vysoký elektrický odpor  $0,4 \mu\Omega \cdot m$ , velmi nízký teplotní koeficient elektrického odporu  $0,00001$ . Hlavní využití nikelinu je v elektrotechnice, kde se využívá pro výrobu topných drátů a těles a také při výrobě odporových článků. [2]

## **Alpaka**

Alpaka je slitina obsahující 10-20 % niklu, 40-70 % mědi a 5-40 % zinku. Tuto slitinu můžeme také znát pod jinými názvy jako je pakfong, bílá mosaz, niklová mosaz, nové stříbro. Alpaka je dobře tvářitelná, má velmi dobrou korozi vzdornost i proti mořské vodě a má zabarvení jako stříbro. Slitiny se využívají pro výrobu ventilů, armatury, dekorací a pro svůj blízký vzhled ke stříbru také pro výrobu mincí. [2]

## **Kupronikl**

Tato slitina je složena z 10-30 % niklu a železa do 1,5 %. Zbytek složení slitiny tvoří měď. Nejvýznamnější jsou slitiny s obsahem niklu k mědi 30/70 hm. % k tomu další legující prvky a nečistoty jako je železo, zinek, mangan, olovo, cín, síra, uhlík a slitina a druhá slitina s obsahem niklu k mědi 10/90 hm. % a stejné legující prvky a nečistoty jako u první slitiny. Tyto slitiny jsou určeny pro tváření a pro provoz v slané mořské vodě. Významně jsou legovány železem a manganem, které jsou nezbytné pro zachování dobré korozní odolnosti.

Slitiny jsou používány na chladiče, kondenzátory, kondenzátorové plechy, destilační trubky, výparníky a tepelné výměníky, potrubí na mořskou vodu v obchodním i námořním loďstvu. Zatímco slitina 90-10 je častěji používána pro hladinové lodě, slitina 70-30 nachází uplatnění v ponorkách, neboť její vyšší pevnost umožňuje vydržet vyšší okolní tlaky. Tyto



slitiny jsou rovněž používány pro chladiče v elektrárnách a pobřežní potrubí na vrtných plošinách, pro plátování a opláštění námořních konstrukcí a zařízení. [2]

### **Nikl-molybden slitiny**

Slitiny jsou určeny pro silně redukční prostředí. Tyto slitiny odolávají korozivnímu praskání, bodové korozi v prostředí vysoce koncentrované kyseliny chlorovodíkové, a to i za zvýšených teplot. [1] [2]

### **Nikl-chrom + (křemík, molybden, železo) slitiny**

Slitiny nikl-chrom odolávají vysokým korozním potenciálům a korozivnímu praskání pod napětím. Jsou určeny pro použití v oxidačním prostředí, jako je slaná voda, kyselina sírová a hydroxid sodný. [2]

Tab. 2 Vlastnosti vybraných slitin niklu při pokojové teplotě [2]

Slitina	Mez kluzu (MPa)	Mez pevnosti (MPa)	Tažnost (%)	Modul pružnosti (GPa)	Tvrдость
Nikel 200	148	462	47	204	109 HB
Duranickel 301	862	1170	25	207	30-40 HRC
<b>Ni-Cu</b>					
Alloy-400	240	550	40	180	110-150 HB
Alloy R-405	240	550	40	180	110-140 HB
Alloy k-500	790	1100	20	180	300 HB
<b>Ni-Cr-Fe-Mo</b>					
Alloy 600	310	655	40	207	75 HRB
Alloy-718	1036	1240	12	211	36 HRC
Alloy 800	295	600	44	193	138 HB
Alloy 925	815	1210	24	-	36,5 HRC
<b>Ni-Al-Cr superslitiny</b>					
Inconel 718	1100	1375	25		
Haynes 230	390	860	47,7	211	
Nimonic 80A	780	1250	30		
Inconel 600	310	655	45		

## 4 PŘEHLED PROGRESIVNÍCH MATERIÁLŮ

### 4.1 VYSOKOPEVNÉ MATERIÁLY

#### 4.1.1 Titan a jeho slitiny

##### 4.1.1.1 Čistý titan

Titan je jedním z nejdůležitějších technický materiálů a to jak v technicky čistém kovu nebo slitiny. Titan byl objeven v roce 1791 a je desátý nejrozšířenější prvek v přírodě. Jeho hustota je  $4500 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ , pevnost 400 MPa a teplotu tání  $1668 \text{ }^\circ\text{C}$ . Má výbornou odolnost vůči chloru a jeho sloučeninám. Použití titanu je omezené pro jeho velkou schopnost slučovat s nekovy. Výjimku tvoří vzácné plyny. Má velmi dobrou odolnost proti korozi, protože stejně jako hliník vytváří pasivační vrstvu (pokrývá povrch oxidační vrstvou). Díky těmto vlastnostem se používá pro výrobu nářadí pro chemický průmysl, zařízením které pracují dlouhodobě s mořskou vodou a pro lékařské implantáty. Také se využívá v leteckém a vesmírném průmyslu. [2] [5]

*Tab. 3 Hodnoty hustoty, pevnosti a specifické pevnosti pro slitiny Ti a ocelí při  $20 \text{ }^\circ\text{C}$  [2]*

Kov, slitina	Hustota ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )	Pevnost v tahu (MPa)	Specifická pevnost (pevnost/hustota) ( $\text{Mpa}\cdot\text{cm}^3/\text{g}$ )
Cp titan	4,51	400	89
Ti-6Al-4V	4,43	895	202
Ti-4Al-3Mo-1V	4,51	1380	306
Vysokopevnostní ocel (4340)	7,9	1980	251

#### 4.1.2 Slitiny titanu

Titan se objevuje ve dvou krystalografických soustavách. Čistý titan při pokojové teplotě má hexagonální mřížku, která se nazývá  $\alpha$ -fáze. Při teplotě  $882,5 \text{ } [^\circ\text{C}]$  a vyšší se hexagonální mřížka mění na plošně středěnou kubickou mřížku označovaná jako  $\beta$ -fáze. Legující prvky se v obou případech rozpuštění úplně nebo částečně. Legující prvky také tvoří tyto fáze a mají zachovat jejich krystalické mřížky. [2]

$\alpha$  – stabilizátory - Stabilizující prvky  $\alpha$  - fáze jsou hliník, kyslík, dusík a uhlík. Avšak prvky kyslík, dusík, uhlík jsou nečistoty a proto je nutné udržet je co nejmenším poměru. I velmi malé množství značně zvyšuje tvrdost a křehkost slitin. Významný stabilizační prvek je tedy pouze hliník [2]

$\beta$  – stabilizátory - Stabilizující prvky  $\beta$  – fáze jsou prvky vanad, niob, molybden, tantal [2]

Podle konečné struktury, vytvořené při pomalém ochlazování z teploty žíhání dělíme slitiny na:

1. Slitiny  $\alpha$
2. Slitiny pseudo  $\alpha$  (s obsahem maximálně 5 % fáze  $\beta$ )
3. Slitiny  $\alpha + \beta$
4. Slitiny pseudo  $\beta$  (s obsahem malého množství fáze  $\alpha$ )
5. Slitiny  $\beta$

#### **4.1.2.1 Slitiny $\alpha$**

Jako stabilizující prvek se používá hliník. Pokud hliník převyšuje 6 % obsahu, klesá jejich tvářitelnost. Kromě hliníku se také ve slitinách objevují cín a zirkon, které však na slitinu působí neutrálně. Kyslík, dusík, uhlík jsou nečistoty a proto je nutné udržet je co nejmenším poměru. I velmi malé množství značně zvyšuje tvrdost a křehkost slitin. Tyto slitiny jsou velmi tepelně stabilní, mají dobrou pevnost a odolnost proti křehkému porušení i za nízkých teplot a žárupevnost do 300 °C. Slitiny s obsahem přibližně 5 hmot. % hliníku a 2 až 3 % cínu mají optimální vlastnosti. [2]

#### **4.1.2.2 Slitiny pseudo $\alpha$**

Do titanu-hliníku jsou přidány prvky, které stabilizují a zpevňují fázi  $\beta$ . Obsah fáze  $\beta$  bývá 2 až 6 %. Dalšího zpevnění se dosáhne pomocí neutrálně působících prvků zirkonu a cínu. Tyto slitiny mají o 10 až 20 % vyšší pevnost než slitiny  $\alpha$ . Jsou také lépe tvářitelné za pokojové teploty, díky přítomnosti fáze  $\beta$ . [2]

#### 4.1.2.3 Slitiny $\alpha + \beta$

Tyto slitiny se vyznačují širokou škálou struktur tedy i vlastností, které závisejí na podmínkách tváření a tepelného zpracování. Patří mezi nejpoužívanější slitiny. Jsou lépe tvářitelné v žíhaném stavu než slitiny  $\alpha$  a pseudo  $\alpha$ . Také mají lepší odolnost proti únavovému namáhání a lze je vytvrdit. Svařitelnost a odolnost proti tečení je horší než u předchozích slitin. Používají se pro silně zatížené součástky, jako jsou lopatky turbín a kompresorů, spojovací součástky, sportovní nářadí a u součástek v leteckém průmyslu. Nejčastěji používaná slitina Ti-6Al-4V dosahuje pevnosti v tahu až 1125 MPa. [2]

#### 4.1.2.4 Slitiny $\beta$ a pseudo $\beta$

Tyto slitiny jsou doposud ve vývoji. Vynikají pro svoji vysokou odolnost proti korozi a velmi dobrou tvářitelností za pokojové teploty. Nevýhodou je vyšší hmotnost a cena, než u jiných slitin titanu, protože legující prvky mají větší měrnou hmotnost a vysokou teplotu tání. Pevnost v tahu u některých slitin po vytvrzení dosahuje až 1 400 MPa.

#### Vybrané slitiny Ti a jejich použití v letectví [2]

Jmenovité složení (Komerční názvy)	Dodávané produkty	Všeobecný popis	Typické použití
Čistý Ti (CP Ti)	Tyče,ingoty,plechy,protlačené výlisky,tenké plechy, pásy,dráty, pruty,roury,trubky,odlitky	Pro protikorozi ochranu v chem. a námoř.průmyslu	
Ti-8Al-1Mo-1V (UNS R54810, 8-1-1)	Tyče,ingoty,plechy, protl.výlisky, tenké plechy,dráty, výkovky	Nízká hustota, výborná svařitelnost, vysoká pevnost	Lopatky plynových turbín
Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (Ti-6242,UNS 54620)	Tenké plechy, pásy, tyče, ingoty, dráty,výkovky	Vysoká pevnost, tažnost, výborná creepová odolnost	Do 540°C; plynové turbíny, součásti konstrukce letadel
Ti-6Al-4V (UNS R56400, AECMA Ti-P63, 6-4)	Tyče,ingoty,pruty,dráty, plechy, pásy,průlisky	Nejrozšířenější slitina Ti; Aplikace do 315°C	Disky a lopatky turbín, součásti konstrukce draku letadel, protézy, implantáty
Ti-6Al-6V-2Sn (UNS T56620, 6-6-2)	Tyče,ingoty,průlisky,plechy, tenké plechy,dráty	Vysoká pevnost do 315°C	Konstrukce draku letadla
Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo (Beta C)	Tenké plechy, plechy, tyče, ingoty, dráty, roury, průlisky, odlitky		Spojovací prvky, zařízení pro geotermální vrty
Ti-10V-2Fe-3Al (10-2-3)	Tenké plechy, plechy, tyče, ingoty, dráty,výkovky	Vysoká pevnost a tažnost; Jen do 315°C	Pro požadavky na homogenní tahové vlastnosti na povrchu i v objemu materiálu
Ti-15V-3Al-3Cr-3Sn (15-3-3-3)	Tenké plechy,pásy,plechy	Vysoká pevnost, tvařitelnost za studena, dobrá svařitelnost	Spony, konzoly, péra, láhve hasicích přístrojů,...
Ti-15Mo-3Al-2,7Nb-0,2Si		Výborná odolnost proti oxidaci do 650°C a creepu	Části kabin a výfuků
Ti-5Al-2Sn-2Zr-4Mo-4Cr (Ti-17)	Výkovky		

Obr. 7 Vybrané slitiny Ti a jejich použití v letectví[2]

### 4.1.3 Superslitiny

První generace superslitin byli navrženy pro teploty do 700 °C, čtvrtá generace se připravují a používají jako monokrystalické materiály a jsou legovány zvláštními prvky jako ruthenium, a mohou se používat až do teploty 1100 °C. [2]

Podle použitého hlavního prvku, můžeme superslitiny rozdělit do těchto skupin:

1. Na základě niklu
2. Na základě železo-nikl
3. Na základě kobaltu

Hustota superslitin závisí na příměsových prvcích, které byly ve slitině použity. Prvky jako je hliník, titan, chrom hustotu snižují. Tantal, rhenium, wolfram naopak hustotu slitiny zvyšují. Modul pružnosti u polykrystalické slitiny může dosahovat 172 – 241 GPa, u posměrové krystalizaci 124 -310 GPa. Elektrická, tepelná vodivost a tepelná roztažnost jsou ovlivněny přechodovými kovy a na přítomnosti vysokotavitelných kovů. Maximální teplota použití slitin, závisí na teplotě rozpouštění zpevňující složky. Superslitiny na základě železo-nikl a niklu jsou relativně dobře tvářitelné oproti superslitinám na základě kobaltu. [2]

Tab. 4 Obsahy základních prvků v superslitinách [2]

Na základě Fe-Ni										
Prvek	Ni	Fe	Ti	Al	Mo	Co	Cr	Nb	W	C
hm. %	9-44	29-67	0-3	0,3-1	0-3	0-20	0-25	0-5	0-2,5	<0,35
Na základě Co										
Prvek	Co	Ni	Ti	Al	Fe	Co	Cr	Nb	W	C
hm. %	Do 62	0-35	0-3	0-0,2	0-10	0-21	19-30	0-4	0-15	0-1
Na základě Ni										
Prvek	Ni	Ti	Al	Mo	Co	Cr	Nb	W	C	
hm. %	37-79,5	0-5	0-6	0-28	0-20	5-22	0-5,1	0-15	<0,3	

#### **4.1.3.1 Superslitiny na základě niklu**

Niklové superslitiny jsou používány při teplotách 760 až 890 °C. Do této teploty si zachová dobrou pevnost, odolnost vůči oxidaci a korozi. [2]

#### **4.1.3.2 Superslitiny na základě nikl-železo**

Tyto superslitiny se používají při teplotách 650-815 °C, protože část niklu je nahrazena železem. Podíl železe ve slitině se pohybuje od 18 do 55 %. Jako vysokoteplotní materiál se pohybují v rozmezí mezi martenzitickými oceli a superslitinami na základě niklu nebo kobaltu. [2]

#### **4.1.3.3 Superslitiny na základě kobaltu**

Tyto superslitiny mají výborné odolnosti proti vysokoteplotním korozi a svoji pevnost si udržují až do teplot 980-1100 °C. Záměrně se někdy používají na místo niklových superslitin, které se používají při nižších teplotách, protože výroba niklové superslitiny je dražší na rozdíl od kobaltové superslitiny, která se může odlévat na vzduchu nebo pod přívodem argonu. [2]

Superslitiny na základě kobaltu mají výbornou odolnost vůči na šíření, vysokoteplotní korozi a svoji pevnost si zachovávají při vysokých teplotách. Nejsou však tolik používané při vysokých teplotách jako superslitiny na základě železa-niklu nebo niklu. Superslitiny kobaltu, které mají vysokoteplotní pevnost, obsahují 10 a více % niklu.

Slitiny MP35N a MP159 jsou tepelně zpracovávány, obsahují právě větší procentuální zastoupení niklu a železa, takže slitiny je možné tvářet zastudena. Tyto slitiny nacházejí uplatnění jako spojovací prvky v letectví a kosmonautice pro svou vysokou pevnost, houževnatost a odolnost vůči korozi včetně vůči koroznímu praskání pod napětím.

Korozní a oxidační odolnost těchto superslitin závisí na obsahu chromu ve slitině, který je ve srovnání s niklovými superslitinami mnohem vyšší. Přídavek lanthania, yttria nebo thoria mohou zvýšit soudržnost povrchového ochranného povlaku, a tím i odolnost vůči oxidaci a korozi. Rozpustnost legujících prvků v Co superslitinách je nižší než u niklových superslitin. [2]

#### 4.1.3.4 Použití superslitin

Superslitiny jsou určeny pro použití při vysokých teplotách a v různých agresivních prostředích. Používají se jako součásti leteckých motorů, reaktivních motorů, spalovací systémy, turbíny v energetice, námořní konstrukce, součásti pecních systému, reaktory a čerpadla v jaderné energetice, nádoby pro chemický průmysl, tlakové nádoby, ochranná pouzdra termočlánku a jsou používána i u turbín turbodmýchadel ve spalovacích motorech. Vlastnosti vybraných některých superslitin jsou uvedeny v tab. 5. [2]

Tab. 5 Mechanické vlastnosti v závislosti na teplotě u vybraných superslitin na základě Fe, Ni a Co [2]

Slitiny	Mez pevnosti (Mpa)			Mez kluzu (Mpa)			Prodloužení v tahu (%)		
	při teplotě			při teplotě			při teplotě		
	21 °C	540°C	760°C	21 °C	540°C	760°C	21 °C	540°C	760°C
<b>Na bázi Ni</b>									
Astroloy	1415	1240	1160	1050	965	910	16	16	21
Inconel 587	1187	1035	830	705	620	605	28	22	20
Inconel 600	660	560	260	285	220	180	45	41	70
Inconel 718	1435	1275	950	1185	1065	740	21	18	25
Nimonic 942	745	675	310	285	200	160	40	40	67
Nimonic 75	1405	1300	900	1060	970	860	37	26	42
René 95	1620	1550	1170	1310	1255	1100	15	12	15
Udimet 720	1570	-	1455	1195	-	1050	13	-	9
<b>Na bázi Fe-Ni</b>									
A-286	1005	905	440	725	605	430	25	19	19
Alloy 901	1205	1030	725	895	780	635	14	14	19
Incoloy 801	785	660	325	385	310	290	30	28	55
Incoloy 909	1310	1160	615	1020	945	540	16	14	34
<b>Na bázi Co</b>									
Haynes 188	960	740	635	485	305	290	56	70	43
MP 159	2025	-	-	1620	-	-	10	-	-



#### 4.1.4 Práškové nástrojové oceli

Od nerezových ocelí se liší svou jedinečností, bývají považovány za nerezové oceli. [11]

Při této technologii jsou polotovary nebo hotové výrobky spojování kovů nebo kovů s nekovy práškem působením tlaku a tepla, teplota tavení je u jedné ze spojovaných složek nižší. [11]

Slouží například k výrobě japonských nožů. [11]

## 4.2 KOMPOZITNÍ MATERIÁLY

Kompozitní materiál se skládá ze dvou nebo více rozdílných materiálů, a to jak chemickým složením tak i fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Vhodným výběrem materiálu matrice a výztuže a správnou volbou poměru mezi nimi je možné získat kompozity s neobvyklou kombinací tuhosti, pevnosti, hustoty, odolnosti proti korozi, žárupevnosti apod. Tvrdší, tužší a pevnější materiál se nazývá výztuž. Materiál, který zastává funkci pojiva výztuže, se nazývá matrice. Matrice má nižší pevnostní vlastnosti, větší plasticitu a houževnatost oproti výztužím. Jednotlivé materiály působí společně, aby se dosáhlo žádané vlastnosti, Společnému působení materiálů se říká synergický efekt. [1] [2]

Podle tvarů výztuže můžeme rozdělit kompozity na vláknové a částicové.

- **Vláknové kompozity** se dělí na s kontinuálními vlákny a s krátkými vlákny. Délka vláken u kompozitu s kontinuálními vlákny může být srovnatelná s velikostí materiálu. Vlákna u kompozitu s krátkými vlákny jsou dlouhá v řádu stonásobku jejich tloušťky a v matrici jsou rozložena buď náhodně, nebo s předností orientací délka vláken může být srovnatelná s velikostí materiálu. [2]
- **Částicové kompozity** se používají s náhodně orientovanými částicemi a kompozity s přednostní orientací, jenž se dělí na sférické částice (izometrické) a destičkové částice (anizometrické) [2]

Výhodou vláken je vždy větší pevnost materiálu, než kdyby byl v celistvé formě. Pevnost vláken se bude zvětšovat se zmenšujícím se průřezem, protože přirozené vady struktury u malých budou také malé. Také délka vláken má vliv na pevnost. Vláknové kompozity mají skvělé nechanické vlastnosti ve směru osy vláken. Skoro většina vláken se vyrábí o kru-

hovém průřezu s průměrem od 5 do 20  $\mu\text{m}$ . Pro kompozity se používají vlákna skleněná, uhlíková, polymerní, kovová, keramická. Tato vlákna se vyrábějí navinutá na cívce nebo v podobě folií. [2]

Částicové se přidávají do matic za účelem zvýšení tuhosti. Částice by neměly být přesáhnout určitou velikost, jinak by mohli záporně ovlivnit pevnost anebo bychom nemohli dosáhnout rovnoměrného rozptýlení. Většinou jsou to částice tvrdé jako karbidy, nitridy, oxidy a boridy. Nejvýhodnější jsou částice o rozměrech 1 až 10  $\mu\text{m}$ . Anizometrické částice, to jsou částice ve tvaru destiček, jehlic, disků, mohou vyztužovat a zpevňovat kompozit. [2]

Podle použité matrice materiálu můžeme kompozity rozdělit:

- **Kovová** – Největší význam pro kovové matrice mají lehké slitiny hliníku, hořčíku, titanu ale také i slitiny železa, kobaltu, nebo mědi. Výztuže u kovových matic tvoří keramické, jako je například vlákna z karbidu křemíku, tak i kovové jako je wolframové vlákno. [2]
- **Uhlíková** – Matrici tvoří uhlík v různém strukturním uspořádání. Jako výztuže se používají uhlíková vlákna. [2]
- **Keramická** – U keramickým matic se nejčastěji používají karbidy a nitridy křemíku, oxidy křemíku a zirkonu. Jako výztuže se používají keramická nebo uhlíková vlákna. [2]
- **Polymerní** – Funkci matric u polymerních kompozitu tvoří termoplast, reaktoplast a sesíťovaný elastomer. U Termoplastu se používají materiály jako je například polypropylen, polyamid, polykarbonát. Za Matrice z reaktoplastu se používá například nenasyčený polyester nebo epoxid a u se síťovaných elastomerů se používají například materiály ze styren-butadienu nebo akrylonitri-butadienu. Jako vláknové výztuže se používají materiály ze skla, uhlíku nebo aramidu. Aramid je polymer na základně aromatických polyamidů.

Úkolem matric je spojovat výztuže kompozitu a chránit ji před okolními vlivy. Tuto úlohu by si měla zachovat i po první poruše výztuže. Matrice musí zabezpečovat přenos mechanických napětí působící na kompozitní materiál. Aby mohla přenášet napětí, musí dobře přilnout k vláknům a posunutí vláken musí být co nejmenší. Také nesmí být příliš tuhá, aby nezabraňovala práci vláken. Musí být i snadná příprava kompozitu, a to při míchání, aby se částice dobře zavedli částice nebo vlákna. [2]

Podle druhu použití musejí kompozitní materiály zajišťovat vlastnosti vysokou pevnostní úroveň, vysoký modul pružnosti, vysokou mez únavy, vysokou úroveň rázové pevnosti a vysokoteplotní pevnost. [2]

Při navrhování kompozitu musíme brát v potaz jejich hlavní vlastnosti. Kompozity nikdy nejsou univerzální, jsou navrhovány pro konkrétní použití při maximálním využití hmoty, mají lepší vlastnosti než jednotlivé materiály. Základním hlediskem pro vlastnosti a chování kompozitu jsou mechanické vlastnosti. [2]

Kompozitní materiály musejí zajišťovat podle typu použití následující charakteristiky:

- vysoká pevnostní úroveň
- vysoký modul pružnosti
- vysoká mez únavy
- vysoká úroveň rázové pevnosti
- vysokoteplotní pevnost

#### **4.2.1 Použití částicových kompozitů**

Tyto kompozity se používají v různých kombinacích kovů, polymeru, keramiky a uplatňují se při výrobních procesů a použití. [1]

##### **4.2.1.1 Slinuté karbidy**

Slouží pro výrobu nástrojových materiálů. Jsou tvořeny keramickými částicemi a kovovou maticí. Tvrdou výztuží slinutých karbidů jsou částice wolframu, titanu a tantalu. Tyto materiály mají vysokou tvrdost, tuhost a teplotu tání. Částice jsou uloženy v kobaltové matici. Při obrábění břitovými destičkami dojde k vylomení nebo vytržení z matrice otupěných částic karbidů a na řeznou hranu vystoupí ostré částice. Pro dokončovací procesy se volí nástroje, které mají nižší obsah kobaltu. To má za následek snazší vylomení částic. U hrubovacích operací se zase používají nástroje, které mají vyšší podíl kobaltu. [1]

##### **4.2.1.2 Brusiva**

Pro nástroje určené pro broušení a řezání se používají tvrdé částice oxidu hlinitého, karbidu křemíku, kubického nitridu bóru nebo diamaty. Tyto částice jsou uloženy v polymerní matici. Stejně jako u slinutých karbidů, tak i u brusiv dochází ke stejné obnově řezné hrany.

Vlastnosti jsou ovlivněny druhem, zrnitostí brusiva a druhem a množstvím pojiva. Kotouče pro broušení nahrubo se používají s větší pórovitostí, aby se zabránilo přehřátí. [1]

#### **4.2.1.3 Materiály pro elektrické kontakty**

Tyto kompozity slouží pro kontakty v vypínačů a relé. Musí mít dobrou odolnost proti opotřebení a elektrickou vodivost. Pokud tyto vlastnosti nejsou splněny, může dojít ke vzniku elektrického oblouku. Kompozit s matricí stříbra a výztuže wolframu tyto podmínky splňují. [1]

#### **4.2.1.4 Polymerní kompozity**

Příkladem této skupiny je pryž, která obsahuje částice uhlíku (saze) a matrici vulkanizovaného kaučuku. Kulovitá zrna o průměru 5 až 500 nm zvyšují pevnost, tuhost, tvrdost a odolnost proti opotřebení pryže. [1]

### **4.2.2 Použití kompozitů s vystužujícími vlákny**

#### **4.2.2.1 Vyztužený beton**

Patří mezi nejznámější kompozitní materiály. Matrice je tvořena betonem, který je tvořený cementem a pískem, popřípadě šterkem a ocelové tyče tvoří výztuže. Tyče zvyšují pevnost betonu a brání rozpadnutí betonové konstrukce. [1]

#### **4.2.2.2 Pneumatiky**

Pro výrobu pneumatik se jako výztuže používají za studena tažené ocelové dráty nebo nylonová a kevlarová vlákna. Výztuže zvyšují pevnost a životnost pneumatik. [1]

#### **4.2.2.3 Sklolaminát**

Tyto kompozitní materiály jsou založené na skleněných výztužích v polymerních matricích. Pro zvýšení odolnosti proti vlhkosti a zlepšení vazby mezi výztuží a matricí se vlákna pokrývají organickými povlaky. [1]

## 5 SPECIÁLNÍ SKUPINY MATERIÁLŮ

### 5.1 Materiály s tvarovou pamětí

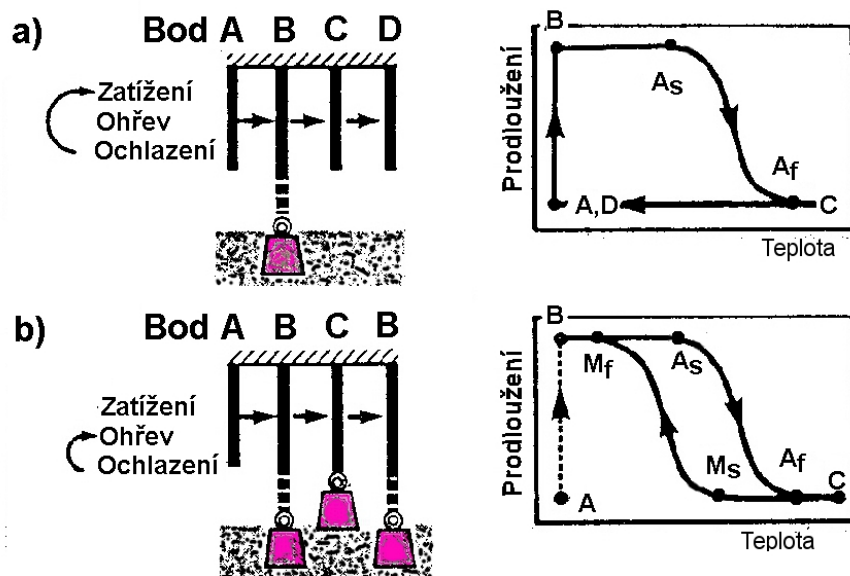
Tyto slitiny jsou označovány pod zkratkou SMA, které pochází z anglického názvu shape memory alloys. Materiály s jevem tvarovou pamětí mají schopnost se vrátit do předem určitého tvaru nebo velikosti poté co byli tepelně zpracované. Tvarová paměť se projevuje tím, že plasticky deformovaný materiál při určité nízké teplotě zahřejeme na určitou teplotu a materiál se vrací do tvaru, než byl deformován. [2] [12]

Když se materiály s tvarovou pamětí vrátí do tvaru, než byl deformován pouze po ohřevu, jedná se o materiály s jednocestnou tvarovou pamětí. Součástky vyrobeny s materiálu s jednocestnou tvarovou pamětí jsou schopny vyvinout značnou sílu a to až několik set Mpa, pokud jim je bráněno k vrácení do původního stavu. [2] [12]

Příkladem jednocestné tvarové paměti je, že drát o určitém rozměru tahově zatížíme při pokojové teplotě a drát se trvale prodlouží. Ohřevem na určitou teplotu se drát vrátí na původní rozměr před deformací. Při ochlazení na pokojovou teplotu se už rozměr nezmění. Pokud tento proces potřebujeme opakovat, musíme materiál znovu tahově deformovat, protože slitina si pamatuje tvar pouze před deformací. [2] [12]

Pokud u materiálu s tvarovou pamětí dojde ke změně i po ochlazení na výchozí teplotu, jedná se o materiál s tvarovou pamětí dvojcestnou. [2] [12]

Příklad dvojcestné tvarové paměti je skoro stejný jako u jednocestné tvarové paměti s tím rozdílem, že materiál po ochlazení se vrátí zpět na rozměr, který získal tahovým zatížením. Díky této vlastnosti může nějaké pohyblivé dílo zaujímat dvě různé polohy pouze změnou teploty. Materiál z dvoucestnou pamětí může ztratit svůj efekt, pokud se mu bude příliš bránit při změně tvaru. Na obr. 8 je srovnání obou typu tvarové paměti. [2] [12]



Obr. 8 Srovnání chování materiálů s jevem tvarové paměti při  
a) jednocestné, b) dvoucestné tvarové paměti [2]

V dnešní době už je známo hodně materiálů s tvarovou pamětí, ale nejvíce se používají materiály, které vytváří velkou silu při změně tvaru nebo zotavují významné množství deformace. V dnešní době se používají materiály na základě niklu a titanu spolu s dalšími prvky jako je měď, zinek, železo, hafnium. Další materiály na základě mědi spolu s dalšími prvky jako zinek, hliník, nikl, stříbro, mangan. Některé materiály s tvarovou pamětí se používají v kombinaci s magnetickými vlastnostmi. Zkoumají se také materiály na základě kobaltu, titanu a železa. [12]

Výhodou slitin tvarovou pamětí je použití pro různé výrobky ať už se jedná o letecky a vesmírný průmysl nebo v lékařství a také pro výrobu dekorálních předmětů. Jejich použití závisí na jejich vlastnostech a požadavcích pro jejich funkci. Nevýhodou těchto materiálů je velká cena na výrobu oproti materiálům na bázi mědi, hliníku nebo ocelím. Také nejsou schopny snést zatížení v tlaku, krutu a ohybu jako ocelové materiály. [12]

### 5.1.1 Využití materiálů s tvarovou pamětí

Materiály s jednocestnou tvarovou pamětí se využívají pro spoje vysokotlakých hydraulických kontrolních potrubích ve vojenských letadlech, spojky u potrubí v námořních lodí, u potrubních systému v chemickém a petrochemickém průmyslu, upevňovací kroužky a pásy v elektrotechnice u zařízeních u raketoplánu pro odpojení raket. [2] [12]

Materiály s dvoucestnou tvarovou pamětí se využívají pro předpjaté propojovací prvky, přerušovače elektrického obvodu, bezpečnostní systémy v rozvodech plynů a kapalin, uzávěry

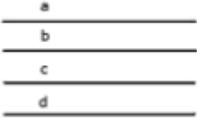
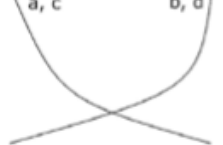


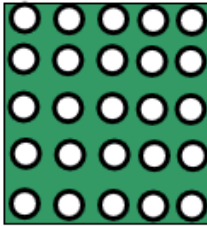
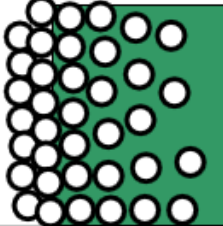
horké vody v termostatických regulátorech, spojovací systémy v letectví a vesmírných konstrukcích, dekorační předměty. [2] [12]

## 5.2 Funkčně gradientní materiály

### 5.2.1 Definice a princip funkčně gradientních materiálů

„Funkčně gradientní materiály (FGM) jsou skupina heterogenních multifázových systémů s konstituční gradací složení a mikrostruktury v makroskopickém měřítku, tedy bez zřetelného rozhraní charakteristického pro tradiční materiály.“ [2]

Srovnání změn vlastností:

	Homogenní materiál	Funkčně gradientní materiál
<b>Vlastnost</b> a) odolnost proti vysokým teplotám b) lomová houževnatost c) mechanická pevnost (v tlaku), příp. tvrdost d) tepelná, příp. elektrická vodivost		
<b>Struktura</b> Keramika  Kov 		

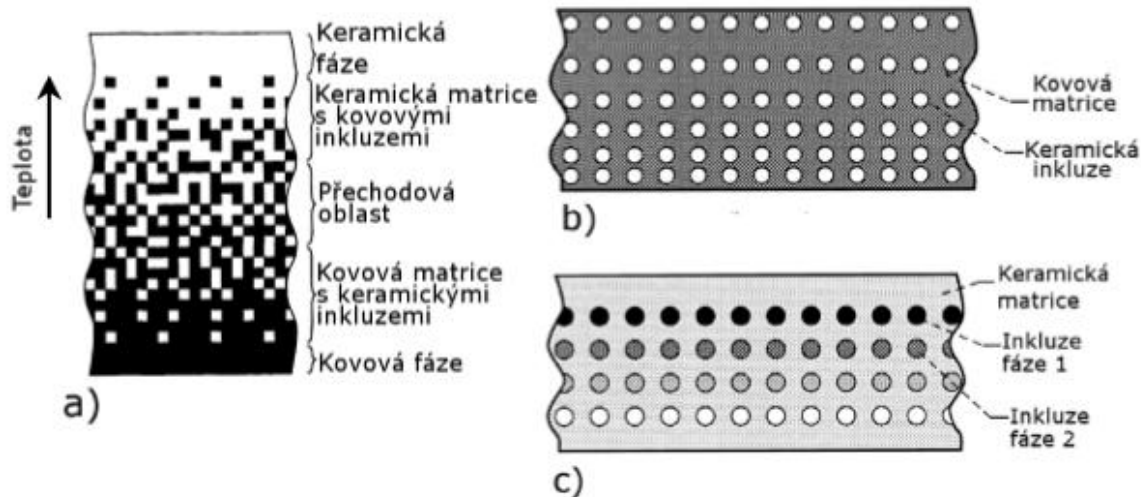
Obr. 9 Charakteristické rozdíly ve vlastnostech homogenních a funkčně gradientních materiálů např. v případě povlaků pro tepelnou bariéru [2]

Jsou zde používány žárovečné materiály, jako např. niklové superslitiny nebo titanové slitiny, mohou být také chráněny povlakem. Slitina i povlak se některými vlastnostmi mohou výrazně lišit, díky těmto rozdílům v tepelné vodivosti, tepelné roztažnosti, pružnosti a rozložení prvků, které vedou ke vzniku zbytkových pnutí a k následnému poškození, praskání, odlupování apod. na rozhraní substrát/povlak. Postupný přechod jednoho materiálu v druhý zajišťuje změnu tepelných vlastností. [2]

Mezi požadavky vysokoteplotních materiálů patří:

- žáruvzdornost a korozivzdornost materiálu - povrch je vystaven vysokým teplotám a oxidační atmosféře
- mechanická pevnost na straně nízkých teplot
- účinné uvolnění tepelného pnutí materiálu

Příklady různých konceptů FGM a kombinací materiálů, viz. Obr. 9:



Obr 10. Tři různé příklady konceptu FGM a možných mikrostruktur

a) kontinuální změna složení,

b) diskrétní změna mikrostruktury a c) multifázová změna mikrostruktury[2]

Tři různé příklady konceptu funkčně gradientních materiálů a možných mikrostruktur

- kontinuální změna složení
- diskrétní změna mikrostruktury
- multifázová změna mikrostruktury

Prvním příkladem je již výše zmiňovaná kontinuální změna složení a mikrostruktury v systému keramika/kov pro vysokoteplotní aplikace. Gradient mikrostruktury může být pro vybrané aplikace zaveden i v tradičních kompozitních materiálech pomocí diskrétní změny objemového zastoupení zpevňujících částic v kompozitním materiálu. Složitější kombinace více různých materiálů v keramické matrici způsobují postupné změny vlastností vlivem gradientu typu a podílu zpevňujících fází v keramické matrici. [2]



„Přehled metod přípravy FGM Můžeme-li konstatovat, že v současnosti neexistuje omezení v kombinaci materiálů a v aplikacích FGM, pak to platí dvojnásob technologie používané pro přípravu takových materiálů s gradací složení nebo mikrostruktury. Používané metody závisejí pouze na kombinacích typů materiálů a zamýšleném použití.“

V podstatě si tyto metody můžeme rozdělit do následujících skupin:

1. Prášková metalurgie (lisování, slinování)
  - Reakční slinování (Self-Propagating-HighTemperatureSynthesis)
  - Vrstvení tenkých fólií a slinování
  - Vrstvení materiálu pomocí centrifugy a slinování
  - Slinování laserovým ohřevem
2. Chemická vylučování z plynné fáze (CVD) (rozměry v  $\mu\text{m}$ ) Chemická infiltrace Kombinace slinování a infiltrace
3. Fyzikální vakuové napařování (PVD) (rozměry v  $\mu\text{m}$ ) EB PVD  
Magnetické napařování
4. Plazmatický nástřik (APS nebo LPPS) (rozměry  $> 0,1\text{mm}$ ) Kombinace dvou hořáků Kombinace s CVD
5. Difuzní spojování pomocí izostatického lisování za tepla (HIP)
6. Galvanické a bezproudé nanášení povlaků
7. Tepelné zpracování (gradient mikrostruktury)[2]

Příklady kombinace materiálů a metod přípravy

Fáze	Proces přípravy	Kombinace materiálů
Plynná	CVD lontové nanášení Plazmový nástřik lontové mísení	SiC/C, SiC/TiC, TiC/C, C/C, C/keramika TiN/Ti, TiC/Ti, ZrO <sub>2</sub> /Cu, C/Cr YSZ/NiCrAlY, YSZ/Ni-Cr Diamant/WC, YSZ/Cu
Kapalná	Elektrodepozice Plazmový nástřik Eutektická reakce	Ni/Cu YSZ/NiCrAlY, YSZ/Ni-Cr Si/ZrSi <sub>2</sub>
Pevná	SHS Prášková metalurgie Difuze	TiB <sub>2</sub> /Cu, TiB <sub>2</sub> /Ni, TiC/Ni, MoSi <sub>2</sub> -SiC/TiAl, ZrO <sub>2</sub> /Ni, PZT/Ni, PZT/Nb YSZ/SS304, YSZ/Mo, YSZ/Nb, SiC/AlN/Mo Si <sub>3</sub> N <sub>4</sub> /Ni, W/Cu, Ni/Al

Obr. 11 Příklady kombinace materiálů a metod přípravy[2]

Tyto materiály se využívají k výrobě kovových nástrojů, ložisek, elektronických součástí, biokompatibilních materiálů, filtrů, chladících součástí, apod.

V letectví a kosmonautice jsou používány k výrobě povlaků tepelných bariér, pro turbínové motory, kompresory, spalovací komory atd. [2]

### 5.3 Kovová skla

*„Kovová skla, nazývána též amorfní kovy či amorfní slitiny nejsou krystalické jako běžné kovové materiály, zachovávají si však vzhled kovů a mají charakteristické fyzikální, mechanické a chemické vlastnosti, jimiž předčí kovové krystalické materiály podobného složení.“* [6]

U kovových skel platí, že u nich pravidelné uspořádání atomů a vzdálenosti mezi nejbližšími atomy nejsou přesně určeny a jsou až o 5 % větší než u krystalické struktury.

Normální kovové materiály mají rovnoměrné uspořádání atomů v krystalické mřížce. Proto obvykle vykazují dobré plastické vlastnosti, jsou dobrými vodiči tepla a elektrického proudu a jsou náchylné na korozní prostředí. [2] [6]

U normálních skel se v podstatě všechny vlastnosti od normálních kovových materiálů, protože neexistuje pravidelné prostorové uspořádání atomů. Jsou tedy křehké, odolné proti korozi a dobrými izolanty. [2] [6]

Pro kovová skla je typická kovalentní vazba a tato vazba určuje jejich vlastnosti. Pro kovalentní vazbu platí, že je silně směrová a elektrony jsou silně vázány na atomy. Oproti tomu kovová vazba je naopak nesměrová, kolektivní a valenční. To znamená, že elektrony se snadno uvolňují a jsou v podstatě společné pro všechny atomy materiálu. [2] [6]

V určitém smyslu se vlastnosti kovů a skel spolu slučují ale i díky neuspořádání atomů se objevují nové vlastnosti.

Kovová skla lze určit pomocí těchto kritérií:

- Jsou strukturně jednodušší než silikátová nebo polymerová skla, protože jejich složení je ze stejných nebo skoro stejných atomů.
- Jsou stejnorodější než krystalické kovy, protože neobsahují vady jako jsou hranice zrn, dvojčata a vrstvené chyby
- Jsou krystalograficky izotropní
- Skla si udržují kovové vlastnosti

- Vynikají díky mechanickými, magnetickými vlastnostmi a také vysokou odolností proti korozi.
- Odolávají vyšším dávkám záření

Ze zkušeností vyplývá, že z přípravy amorfních kovových materiálů se snadněji připravují slitiny v amorfním stavu, jenž jsou složeny z jednoho či více kovových prvků, podobnými vlastnostmi kovům, patří sem prvky IV. Nebo V. skupiny metaloidy. [2] [6]

V dnešní době se kovová skla vyrábějí tříložková, čtyřložková až pětisložková, U těchto skel se dodržuje poměr 70-80% kovových prvků ku metaoidů.

Také mohou být kovová skla typu kov-kov a v tomto případě mohou být:

- oba kovy přechodové - například: měď – nikl
- přechodový kov a nepřechodový kov – například: hliník-měď
- oba kovy nepřechodné - například: hořčík – zinek

K tomu ,aby mohlo vzniknou kovové sklo, musíme dodržet tyto podmínky:

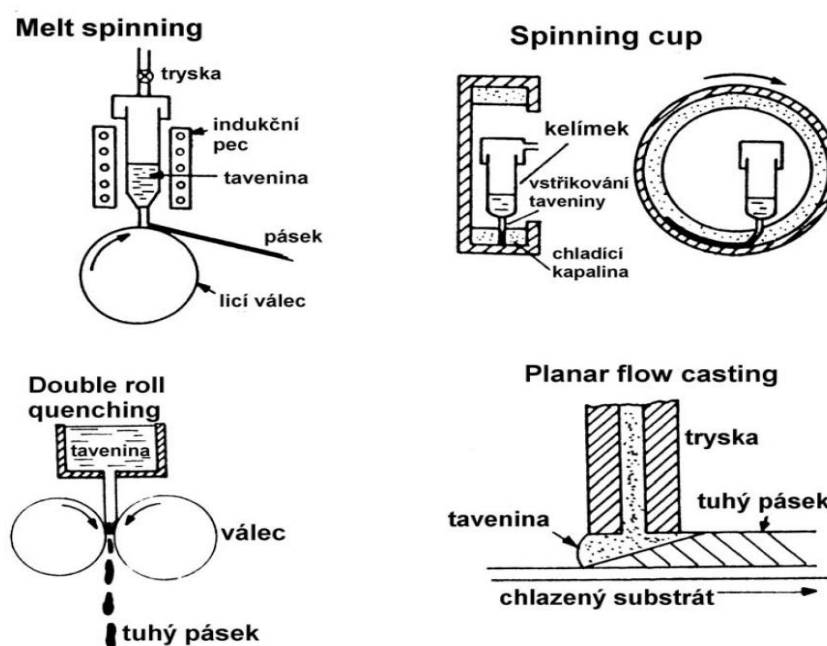
- Rychlost ochlazování
- Vzájemné působení atomů
- Poměr poloměrů atomů, které se společně vyskytují vedle sebe
- Pokud bude slitina obsahovat více složek, tím snadně ji bude vznikat.
- Složky nesmějí být vzájemně rozpustné
- Pro vznik kovových skel pomáhá přítomnost kovalentních vazeb

### 5.3.1 Výroba kovových skel

Pro výrobu kovových skel je mnoho metod. Za zmínku však stojí tyto tři metody, díky kterým bylo připraveno více než stovky slitin:

- 1) Zakalení taveniny
- 2) Iontová mísení
- 3) Mechanické legování

Na obr 12. jsou způsoby výroby kovových skel z taveniny. Jedná se o výrobu tenkých pásků zakalením taveniny na chlazeném substrátu, to na jednom válci nebo mezi dvou mi rotujícími válci, vstřikováním taveniny do chladicí kapaliny v bubnu anebo na rovinou chlazenou desku [2]



Obr. 12. Čtyři různé způsoby přípravy kovového skla zakalením taveniny[2]

### 5.3.2 Využití kovových skel

Vývoj kovových skel a jejich materiálů, je neustále ve vývoji a na své potencionální použití čeká. Slouží pro výrobu součástek přesných měřidel tlaku, průtoku. Také slouží k výrobě mikro pružin a nanovláken. Také slouží jako katalyzátory. Součástí slitin pro lékařské účely a sportovních potřeb. [2]

## 5.4 Technická keramika

Vlastnosti vyžadují dodržení přesného a neměnného složení. Strukturu keramických materiálů, lze charakterizovat jako heterogenní, polykrystalickou, polyfázovou.

Technická keramika neboli též konstrukční je vyráběna převážně ze syntetických surovin. Vlastnosti vyžadují dodržení přesného a neměnného složení. Strukturu keramických materiálů, lze charakterizovat jako heterogenní, polykrystalickou, polyfázovou.

Je to novější typ keramiky, který je využíván zejména za extrémních podmínek. Má výbornou žáruvzdornost, chemickou odolnost, také odolnost proti opotřebení a pevnost v tlaku. Oproti keramice tradiční, odolává kolísání teplot a zatížení. [6]

Keramika je dělena na keramiku lidickou, neoxidickou a směsnou

### 5.4.1 Keramika oxidická

Vzniká jediným oxidem, obsahující především keramiku na bázi oxidu hlinitého. Základní látkou, je syntetický práškový oxid s určitými vlastnostmi. Patří mezi nejznámější a nepoužívanější typ keramických systémů. [6]

Nejvýznamnější keramika je na bázi oxidu hlinitého neboli zvaného slinutý korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) a oxidu zirkoničitého ( $\text{ZrO}_2$ ). Při zvyšování oxidu hlinitého ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) se zvyšuje mechanická pevnost a tvrdost, teplotní roztažnost a tepelná vodivost. Oxidická keramika se vyznačuje vysokou pevností, tvrdostí, odolností vůči korozi a je velmi dobrým elektrickým izolátorem. [6]

Nejčastěji je využívána při obrábění litiny, součást vysokoteplotních zařízení, jako řezní plátky k obrábění kovů, pro izolátory zapalovacích svíček motorů aj. [6]

### 5.4.2 Keramika neoxidická

Skládá se z více materiálů, které můžeme rozdělit na nekovové a kovové bez ostré hranice mezi skupinami. Mají velmi vysokou teplotu tání, až  $1800\text{ }^\circ\text{C}$  a převážně velmi dobrou tvrdost. Nejčastěji je tvořena materiály na bázi nitridů a karbidů. Do této skupiny řadíme např.  $\text{SiC}$ ,  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , můžeme zde ale zařadit polykrystalický diamant, nitrid anebo karbid bóru. [6]

#### 5.4.2.1 Keramické materiály na bázi karbidu křemíku ( $\text{SiC}$ )

Vlastnosti jsou závislé na typu, čistotě prášku, použitých přísadách a způsobu přípravy.

Připravuje se třemi způsoby:

- Žárovým lisováním
- Slinováním bez tlaku
- Reakčním slinováním

V současnosti je stále více využíván jako konstrukční materiál v energetických strojích. [6]

#### 5.4.2.2 Konstrukční keramika typu $\text{Si}_3\text{N}_4$

Je na bázi nitridu křemíku  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , ve fázích  $\alpha + \beta$ . Výchozí prášky se připravují jak v  $\alpha$ , tak v  $\beta$  fázi. Mohou se výrazně lišit čistotou, rozměry i tvary zrn.

Jejich vlastnosti jsou závislé především na technologii jejich přípravy a na druhu slinovací přísad. Jako slinovací přísady se používá několik desetin % až několik % MgO, Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> atd. [6]

Příprava: žárové lisování, slinování bez užití tlaku, reakční slinování, tuhými roztoky oxidů kovů jako Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgO, BeO a Y<sub>2</sub>O<sub>3</sub> v mřížce β – Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>, tzv. SIALON [6]

Slouží k výrobě součástí plynových turbín, trysek tažení kovů, tavicích kelímků apod.

#### **5.4.2.3 Konstrukční keramika z karbidu, nitridu boru**

Karbid boru B<sub>4</sub>C je nejtvrďší materiál hned po diamantu a borazonu (BN). Je tvarován především žárovým lisováním. Nitrid boru má dvě modifikace a to **šestihranný BN**, který je velmi dobrým elektrickým izolantem s výbornou odolností vůči náhlým změnám teploty a **kubický BN**, jenž je připravován z vysokých tlaků a teplot. [6]

### **5.4.3 Využití technické keramiky**

#### **5.4.3.1 Keramika směsná**

Je kombinací konstrukční keramiky oxidové a neoxidové. Hlavní využití má na soustružení kalených ocelí, tvrzené litiny a dokončování obrábění např. frézování. Nejčastější přísadou je karbid titánu TiC, popřípadě nitrid titanu TiN. [6]

#### **5.4.3.2 Biokeramika**

Musí být splněny velmi vysoké nároky na pevnost, odolnost vůči vnitřnímu prostředí těla člověka a v hlavní řadě musí být zdravotně nezávadná. Její využití je převážně ve zdravotnictví k výrobě implantátů - např. hlavice kloubů. [6]

### 5.4.3.3 Řezná keramika

U této keramiky je využíváno zejména její vysoké tvrdosti, neboť zůstává zachována i při vysokých teplotách. Je využívána k výrobě řezné techniky, pro svou dobrou otěruvzdornost a tvrdost např. při rychlořezném obrábění. [6]

## 5.5 Nanomateriály

Nanomateriály představují nové, převratné možnosti rozvoje v mnoha oborech. Tyto nové materiály nesou revoluci především v medicíně, kde díky své velikosti vykazují nanomateriály schopnost vstupovat do jednotlivých buněk. Jsou využívány ke zlepšení jejich povrchových vlastností, jako je např. otěruvzdornost, trvanlivost, optické vlastnosti. [7]

Z anglického označení „Engineered nanomaterial – ENM“ bývá materiál, který byl vyroben buď za účelem, nebo neúmyslně. Jeho sležení je ze strukturních a funkčních částí, které jsou umístěny uvnitř nebo na povrchu daného materiálu. Různý počet částic může nabývat v jeden nebo více rozměrů v rozsahu 100 nm a méně. [7]

**Nanovlákn**o se skládá z průměru několika desítek až tisíc atomů, viditelné pouze elektronovým mikroskopem, Jeho váha je pouze 0,1 -1 gram na metr čtvereční. [8]

*„Pro některé aplikace se používají nanovláknenné materiály o plošných hmotnostech v řádech od setin gramů, které je možno zachytit pomocí podkladového materiálu, až po vrstvy v řádech desítek gramů, které jsou aplikovatelné samostatně.“ [8]*

### 5.5.1 Použití nanovláken:

#### Nanovláknna pro čištění a úpravu vody a vzduchu

Vláknna slouží pro výrobu membrán a filtrů, které umožňují záchyt ve vzduchu a ve vodě. [9]

### **Nanovláknna pro lékařské účely**

Používají se ke krytí ran, kde zajišťují průnik vzduchu, ale zároveň brání bakteriím vstoupit do rány. Mohou sloužit jako nosiče buněk, pro rekonstrukci kůže, kostí cév, svalů apod. [9]

### **Nanovláknna pro energetiku**

Hlavními výhodami pro použití v energetice je vysoká kapacita a výkonnost, vysoká rychlost nabíjení a vysoká účinnost přeměny energie. Používají se jako anody li-ion baterií, bateriové separátory, solární články, palivové články a fotokatalyzátory. [9]

### **Nanovláknna v automobilovém průmyslu**

Slouží pro pohlcování hluku, výrobu filtrů (palivových, výfukových, u sání motoru) a baterií pro hybridní a elektrické automobily. [9]

## **5.6 Degradabilní materiály**

Degradace během výroby je krátký a intenzivní proces probíhající při zpracování polymerní taveniny. [10]

Vyrábí se z biomolekul, které vznikají v přírodním prostředí anebo z minerálních zdrojů.

Jsou to všechny polymery, u nichž dochází k degradaci a následnému rozkladu působením mikroorganismů. Podmínkami rozkladu jsou vlhkost, teplota a přítomnost mikroorganismů.

Produkty rozkladu jsou oxid uhličitý (methan), voda, zbytek biomasy. [10]

Biodegradabilní plasty (Polymerní materiály) jsou využívány v zemědělství zejména při náhradě klasických skleníků, dále jako balicí fólie, jako komponenty potrubí pro zavlažování, mulčovací fólie, plastové květináče či velké kontejnery a jsou aplikovány v nových technologiích. Ve zdravotnictví se používají k výrobě chirurgických nití a obvazového materiálu. [10]



## 5.7 Zhodnocení poznatků

Uvedený soubor poznatků umožňuje posoudit jejich aplikaci v technické praxi. Využití jednotlivých materiálů lze obecně přiřadit dle silového působení, pracovní teploty, agresivity, elektrické vlastnosti prostředí i například pro využití jejich speciálních vlastností.

Podle užití lze uvedené materiály plošně popsat:

- **Pro vysoké namáhání:**

oceli – oceli tř. 14 – výroba strojů a nástrojů, parních turbín; oceli tř. 16 – výroba parních turbín a turbo kompresorů; oceli tř. 19 - strojové oceli rychlořezné – výroba protahováků, protlačováků a vrtáků.

slitiny titanu – součástí konstrukce a součástky letadel

technická keramika – oxidická keramika – výroba obráběcích nástrojů pro kovy; keramická směsná – nástroje pro obrábění kovů; řezná keramika – nástroje pro rychlořezné obrábění.

- **Pro vysoké pracovní teploty:**

Oceli – tř. 16 – výroba lopatek pro parní turbíny a turbokompresory; oceli tř. 17 – žárupevná a žáruvzdorné zařízení

slitiny titanu – výroba disků a lopatek u tryskových motorů

superslitiny – výroba leteckých, reaktivních, spalovacích motorů

Technická keramika – oxidická keramika – součástky vysokoteplotních zařízení; neo-oxidická keramika – výroba součástek plynových turbín, trysek tažení pro kovy, tavící kelímky

- **Pro agresivní prostředí:**

Slitiny niklu – slitiny monely – využití mírně redukční prostředí, výborná korozní odolnost při mořské vodě; slitina nikl-molybden – využití oxidační prostředí, výroba nádrží pro chemický průmysl, odolává korozi slané vody; alpaka – velmi dobrá korozní odolnost proti mořské vodě, výroba ventilů, armatur; kupronikl – určen pro provoz v mořské vodě, výroba chladičů, výparníků potrubí a námořní průmysl.

slitina nikl – molybden silně redukční prostředí, výroba armatury; slitina nikl – chrom – vysoké korozní prostředí a oxidační prostředí

slitiny titanu – protikorozní ochrana v chemickém a námořním průmyslu

superslitini- na základě niklu a kobaltu – výroba chemických nádob, reaktory a čerpadla v jaderné, ochrana pouzdra termočlánků

- **Pro elektrické**

slitiny niklu- Slitina konstantan - zachovává elektrický odpor při velkém teplotním rozptylu, výroba termočlánků; slitina nikelin – výroba topných drátů a těles a odporových článků

Technická keramika – oxidická keramika – výroba izolátorů svíček motoru

- **Pro jejich speciální vlastnosti:**

Degradační materiály – v zemědělství výroba skleníků, v průmyslu výroba balících fólií, ve zdravotnictví výroba šicích zdravotních materiálů a převazových materiálů

Nanomateriály – v lékařské medicíně k slouží výrobě cév, svalů, v průmyslu k výrobě filtrů, solárních článků, palivovým článkům a fotokatalyzátorům

## 6 ZÁVĚR

Konstrukční materiály jsou všude kolem nás, běžný život si již bez nich ani nelze představit. Studium kovů se zabývá obory fyziky, chemie i fyzikální metalurgie.

Její obsahem je vztah mezi vlastnostmi různých materiálů a jejich vnitřní strukturou v makro i mikro měřítku.

V bakalářské práci „Perspektivní konstrukční materiály“ se mi podařilo pouze velmi stručně shrnout část z nich. Snaha bakalářského projektu byla, co nejstručněji představit perspektivní konstrukční materiály, které jsou v současné rychle se měnící době v oboru na nejvyšší úrovni vědy a techniky.

Předložena bakalářská práce je prací kompilační a zahrnuje poznatky vývoje technických materiálů. Jedná se o teoretický přehled o možnostech využití nejnovějších materiálů v technické oblasti. Soubor získaných poznatků, umožňuje orientaci i méně technicky materiálově vzdělaného konstruktéra získat přehled o možnostech využití a uplatnění nejmodernějších materiálů.

## 7 LITERATURA A INTERNETOVÉ ZDROJE

- [1] PTÁČEK L. A kol, 1999: Nauka o materiálu II. Brno: CERM, 392 s. ISBN80-7204-130-
- [2] LOSERTOVÁ M., 2012: Progresivní materiály. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 266 s. ISBN 978-80-248-2575-5.
- [3] JANOVEC J., CEJP J., STEIDL J., 2008: Perspektivní materiály. Praha: České vysoké učení technické, 143s. ISBN 978-80-01-04167-3.
- [4] Ing. MÜLLER a Mgr. PETRŽELKA Z., STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE ČÁST I. – II. L. A kol, 1999: Nauka o materiálu II. Brno: CERM, 392 s. ISBN80-7204-130-4
- [5] VALEHRACH, 2012: Slitiny neželezných kovů, Maturitní práce
- [6] JONŠTA J., 2012: Technické materiály II. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 126s. ISBN 978-80-248-2574-8
- [7] ZUZANA F, JANA K, MIROSLAV M., Rizika nanomateriálů [online], dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/rizika.pdf>
- [8] MM PRŮMYSLOVÉ SPEKTRUM, Nanotextilie v průmyslové praxi [online]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nanotextilie-v-prumyslove-praxi.html>
- [9] JAROSLAV LEV, 2011 Disertační práce: Použití nanotextilií v zemědělství
- [10] CHEMPOINT, Degradabilní pouretany – pro průmysl i medicínu. [online]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/degradabilni-polyuretany>
- [11] JHAMERNIK, Prášková metalurgie. [online]. Dostupné z: <http://jhamernik.sweb.cz/Metalurgie.htm>

[12] ENGINEERING, Kovové materiály s tvarovou pamětí. [online]. Dostupné z:  
<http://www.engineering.sk/strojarstvo-extra/2742-kovove-materialy-s-tvarovou-pameti>

## 8 SEZNAM OBRÁZKŮ

<i>Obr. 1 Konstrukce konvektoru [4].....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 2 Výroba oceli v konvektoru [4] .....</i>	<i>13</i>
<i>Obr. 3 Schéma martinské pece [4].....</i>	<i>14</i>
<i>Obr. 4 Schéma elektrické obloukové pece [4].....</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 5 Schéma elektrické indukční pece [4].....</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 6 Schéma výroby oceli ve vakuu [4] .....</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 7 Vybrané slitiny Ti a jejich použití v letectví[2].....</i>	<i>29</i>
<i>Obr. 8 Srovnání chování materiálů s jevem tvarové paměti při a) jednocestné, b) dvoucestné tvarové paměti [2] .....</i>	<i>38</i>
<i>Obr. 9 Charakteristické rozdíly ve vlastnostech homogenních a funkčně gradientních materiálů např. v případě povlaků pro tepelnou bariéru [2] .....</i>	<i>39</i>
<i>Obr 10. Tři různé příklady konceptu FGM a možných mikrostruktur a) kontinuální změna složení, b) diskrétní změna mikrostruktury a c) multifázová změna mikrostruktury [2].....</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 11 Příklady kombinace materiálů a metod přípravy [2] .....</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 12 Čtyři různé způsoby přípravy kovového skla zakalením taveniny [2].....</i>	<i>44</i>

## 9 SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1 Zastoupení prvků [2]</i> .....	22
<i>Tab. 2 Vlastnosti vybraných slitin niklu při pokojové teplotě [2]</i> .....	26
<i>Tab.3 Hodnot hustoty, pevnosti a specifické pevnosti pro slitin Ti a oceli při 20 °C[2]</i> .....	27
<i>Tab.4 Obsahy základních prvků v superslitinách [2]</i> .....	30
<i>Tab.5 Mechanické vlastnosti v závislosti na teplotě u vybraných superslitin na základě Fe, Ni,Co [2]</i> .....	32