

NEKOVOVÉ MATERIÁLY A KOMPOZITY

Konštrukčná keramika

Sortiment keramických materiálov sa v období rokov tesne pred a po II. svetovej vojne podstatne rozšíril z pôvodne ohraničeného počtu druhov klasickej keramiky (fajansa, porcelán) na mnohonásobný počet nových keramických hmôt (ktoré často vôbec neobsahujú zlúčeniny kremíka), najmä v súvislosti s rozvojom priemyselnej elektrotechniky a zvlášť potom elektroniky. Prevažná časť hlavnej zložky je kryštalická, často však obsahuje i minoritnú sklenú fázu. Tieto materiály sa nazývajú *moderná technická keramika* (advanced ceramics). Moderná technická keramika sú teda polykryštalické materiály na báze anorganických zlúčenín nekovového charakteru, pripravované spekaním z práškov. Moderná keramika sa dnes využíva aj na náročné aplikácie - na vysokonamáhané súčiastky (aj ťahom, príp. aj pri zmenách teploty) v koróznom prostredí. Takúto keramiku, vrátane nástrojových keramických materiálov, označujeme konštrukčná keramika, na rozdiel od funkčnej keramiky, ktorou rozumieme materiály určené svojimi špecifickými (najmä fyzikálnymi) vlastnosťami pre elektrotechniku, elektroniku, optiku a pod.

Základné poznatky

Hlavnými prednosťami konštrukčnej keramiky je ich mimoriadne vysoká tvrdosť (ktorá im dodáva vysokú odolnosť proti opotrebeniu), vysoká korózna odolnosť a vysoká žiaruvzdornosť. Keramické konštrukčné materiály sú elektricky nevodivé a majú aj tepelno-izolačnú schopnosť. Možno ich vytvarovať s veľkou presnosťou, čo je veľmi dôležité vzhľadom na to, že sa dajú opracovávať len diamantovými nástrojmi. Keramiku možno vyrábať v pestrej škále farieb; výrobky si uchovávajú svoj lesk i farbu prakticky nekonečne dlho.

Hlavnou a prakticky jedinou nevýhodou konštrukčnej keramiky je jej krehkosť, ktorá vyplýva zo zložitej kryštálovej štruktúry a najmä kovalentnej alebo iónovej väzby medzi atómami hlavnej polykryštalickej zložky [2]. Táto vnútorná stavba prakticky vylučuje schopnosť plastickej deformácie dislokačnými mechanizmami.

Vedľajšou príčinou krehkosti keramiky je ich mikroštruktúra spekaného materiálu, charakteristická pórovitosťou, nehomogenitou a pod. Pri klasickej keramike je táto príčina zvyčajným zdrojom ich porušenia už pri nízkych zaťaženiach, pri modernej konštrukčnej keramike je z významnej časti potlačená.

Krehké materiály sa doteraz ako konštrukčné prakticky nevyužívali

a je preto s nimi pomerne málo skúseností. Rozvoj využívania konštrukčnej keramiky je preto nerozlučne spojený jednak s výskumom možností zvýšenia húževnatosti keramiky, jednak s vývojom prístupov ku konštrukčným výpočtom i skúšaní týchto materiálov.

Oxidová keramika

Ide o pomerne širokú skupinu materiálov na báze rôznych oxidov, z ktorej najväčší význam pre konštrukčné aplikácie majú materiály na *báze oxidu hlinitého a oxidu zirkoničitého*.

Materiály na báze $\alpha\text{-Al}_2\text{O}_3$ sú najznámejšou oxidovou keramikou pre rôzne aplikácie. Vyrába sa kalcináciou $\text{Al}(\text{OH})_3$ v rotačných peciach. Vzhľadom na existenciu silných chemických väzieb medzi iónmi Al a O má Al_2O_3 dobrú chemickú stabilitu, vysoký bod tavenia (2050 °C) a najvyššiu tvrdosť zo všetkých druhov oxidickej keramiky. Pri izbovej teplote má vysokú pevnosť v ohybe, ktorá však nad teplotou 1000 °C prudko klesá. Ich tepelná vodivosť je relatívne vysoká, majú vysoký koeficient teplotnej rozťažnosti, čo spôsobuje, že ich odolnosť voči tepelným rázom je nižšia než akú majú materiály Si_3N_4 a SiC .

Materiály na báze oxidu zirkoničitého, používané na konštrukčné účely, využívajú na zhúževnatenie napätovo indukovanú martenzitickú premenu $t\text{-ZrO}_2$ (stredno-teplotná tetragonálna

modifikácia) na m-ZrO₂ (nízkoteplotná monoklinická modifikácia) pri tzv. čiastočne stabilizovanom oxide zirkoničitom. Premena t-ZrO₂ na m-ZrO₂ je spojená s objemovou zmenou asi 3 %. Výrobky z čistého ZrO₂ sa preto často rozrušia už pri vypaľovaní a sú prakticky nepoužiteľné. Prídavkom vhodných oxidov, napr. CaO alebo Y₂O₃ je však možné docieľiť to, že sa ZrO₂ prevedie na pevný kubický roztok, stály v celom teplotnom rozsahu. Takto upravenú keramiku označujeme ako stabilizovanú. Čiastočne stabilizovaný ZrO₂ má znížený obsah stabilizačných prísad, tepelným spracovaním je v kubickej matici vyvolaná precipitácia veľmi malých útvarov (rozmer 50 - 100 nm) metastabilnej tetragonálnej fázy [5]. Priaznivý- účinok sa dosahuje, ako sme už uviedli, tým, že vysoké napätia v okolí koreňa trhliny pri zaťažení vyvolávajú transformáciu tetragonálnej fázy do stabilnej monoklinickej formy. Uvedená fázová transformácia nastáva i pri mechanickom opracovaní povrchu, kedy vznikajú tiež pomerne vysoké napätia. Na rozdiel od bežnej keramiky, kde sa mechanickým opracovaním, napr. brúsením, pevnosť zníži vznikom početných povrchových trhlín, v čiastočne stabilizovanom ZrO₂ sa naopak v dôsledku vyvolania transformácií a tlakového pnutia v povrchovej vrstve pevnosť zvýši.

Napätovo indukovaná martenzitická premena t-ZrO₂ na m-ZrO₂ sa v súčasnosti využíva pri troch druhoch materiálov, na ktoré sa súčasne aj sústreďuje ďalší výskum:

- 1) *PSZ - Partially Stabilized Zirconia - čiastočne stabilizovaný oxid zirkoničitý*. Má kubickú maticu s tetragonálnymi precipitátmi. Donedávna keramický materiál s najlepšimi mechanickými vlastnosťami pri nižších teplotách. Využíva sa na prievlaky v metalurgickom priemysle, pre extrémne namáhané súčiastky Dieselových motorov (časti piestov, vložky valcov, vodítka a sedlá ventilov pod.) a v spotrebnom priemysle (nože, nožnice, plášte hodiniek, kávové filtre a pod.).
- 2) *TZP - Tetragonal Zirconia Polycrystals - tetragonálny polykryštalický oxid zirkoničitý*. Má jednofázovú štruktúru, tvorenú jemnými zrnami metastabilného t-ZrO₂. Tento materiál je teda schopný vo všetkých miestach mikroštruktúry sa transformovať na m-ZrO₂. Dosahuje pevnosť v ohybe 1000 - 2500 MPa a lomovú húževnosť 10 - 15 MPam^{1/2} čo sú najvyššie hodnoty dosahované v súčasnosti pri konštrukčnej keramike.
- 3) *ZTA - Zirconia Toughened Alumina - oxid hlinitý spekaný oxidom zirkoničitým*. Pripravuje sa z Al₂O₃ (korund) a 10-30 % jemných častíc ZrO₂ čiastočne stabilizovaných napr. Y₂O₃ alebo MgO. Jemnozrnný korund s prísadou 20 % ZrO₂ má pevnosť v ohybe až 1200 MPa, lomovú húževnosť až 8 MPam^{1/2}. V zásade je možné uvažovať i o iných oxidoch spevnených ZrO₂ (vo všeobecnosti sa preto používa aj označenie ZTC - Zirconia Toughened Ceramic).

Nitridová keramika a keramika na báze SiC

Keramika na báze nitridu a karbidu kremíka sú perspektívne materiály na súčiastky strojov pracujúcich pri vysokých teplotách (do 1500 °C) a už komerčne využívané materiály na rezné nástroje. Ak materiály na báze Si_3N_4 porovnávame so superzliatinami niklu a materiály na báze SiC so zliatinami vysokotavitel'ných kovov je prednosťou keramických materiálov nižšia hustota (na úrovni Al-zliatin), vyššia žiaruvzdornosť i možnosť aplikácie pri ešte vyšších teplotách. Jedinou nevýhodou je krehkosť.

Nitrid kremíka je anorganická zlúčenina, ktorá sa vyskytuje v dvoch štruktúrnych modifikáciách: $\alpha - \text{Si}_3\text{N}_4$ (ktorá má defektu ú mriežku v tom, že jeden zo základných atómov dusíka nahrádza kyslík) a $\beta - \text{Si}_3\text{N}_4$ (zastúpenie atómov plne zodpovedá stechiometrickému vzorcu). Po spekaní pri teplote 1700 - 2000 °C je vhodné, aby štruktúra $\beta\text{-Si}_3\text{N}_4$ mala vláknitý charakter (má väčšiu lomovú húževnatosť), pričom sú tieto kryštalinity obklopené spojitým sieťovým sklovitých alebo kryštalických fáz, vznikajúcich z prísad a SiO_2 . Tieto fázy zhoršujú mechanické vlastnosti materiálu, preto sa veľká pozornosť venuje výskumu možností ich odstránenia.

Sialony sú keramické materiály odvodené od nitrídu kremíka náhradou niektorých atómov kremíka hliníkom a niektorých atómov dusíka kyslíkom. Dnes je známych asi 400 takýchto materiálov sústavy Si-Al-O-N (z chemických značiek zložiek sústavy je odvodený názov sialon).

Nitridová keramika (nitrid kremíka a sialony) je predurčená na vysokoteplotné aplikácie. Uvažuje sa s ňou na súčiastky tepelných strojov namáhaných ťahovými napätiami nad 100 MPa pri teplotách až okolo 1500 °C. Ich pevnosť pri vysokých teplotách, ako dokumentuje tab., preyšuje i niklové superzliatiny. Nitridová keramika sa ďalej vyznačuje odolnosťou proti tepelným rázom, nízkou tepelnou vodivosťou, nízkou tepelnou rozťažnosťou, vysokou tvrdosťou a koróznou odolnosťou. Priaznivejšie charakteristiky sialonu vyplývajú z toho, že výhodne kombinuje vlastnosti Si_3N_4 a Al_2O_3 .

Porovnanie pevnosti nitridovej keramiky so superzliatinami niklu

Materiál	Si_3N_4	β -sialon	Inconel 713LC
Teplota, °C	20°C	20 °C	20 °C
Medza pevnosti, MPa	800	1000	700
Teplota, °C	1300°C	1300°C	1000°C
Medza pevnosti, MPa	340	700	300

Karbid kremíka sa vyrába žiarovým lisovaním, reakčným spekaním, alebo spekaním bez použitia tlaku. Karbid kremíka, pripravený žiarovým lisovaním (2000 °C, 35 MPa) sa vyznačuje vysokou hustotou a pevnosťou, ale neľahkým opracovaním a tvarovaním. Tento problém viedol k vývoju SiC pripraveného reakčným spekaním. Veľkou výhodou tohoto spracovateľského postupu sú malé rozmerové zmeny počas procesu. Reakčne spekaný SiC sa najčastejšie získava zo zmesi SiC, grafitového prášku a kremíka. Kremík, ktorý je počas spekania tekutý, reaguje s grafitovým práškom a vytvára sklenú fázu SiC, pôsobiacu ako spojivo. Po spracovaní obsahuje materiál obvykle 10 - 15 % zvyškového kremíka. Spekaný SiC bez použitia tlaku je pripravovaný spekaním prášku SiC s prídavkom bóru, uhlíka alebo hliníka.

Pevnosť SiC je nižšia než Si_3N_4 , rovnako tak i odolnosť proti tepelnému šoku. Vyznačuje sa vysokou tvrdosťou a vysokou tepelnou vodivosťou, ktorá sa využíva pri konštrukcii tepelných zariadení. Pri teplotách do 1300 °C má výhodnejšie vlastnosti Si_3N_4 , pre teploty 1300- 1500 °C sa javí výhodnejší SiC.

Plasty

Základné poznatky

Plasty sú materiály na báze makromolekulárnych látok. *Makromolekulárne látky* sú organické zlúčeniny, ktoré sa skladajú z makromolekúl. t.j. molekúl s vysokou molekulovou hmotnosťou [7]. Jednoduché zlúčeniny, z ktorých možno pripraviť makromolekulárnu látku, nazývame *monomér*. Makromolekulárne látky (polyméry) vznikajú z monomérov polyreakciami (opakujúcimi sa chemickými reakciami), pri ktorých chemickými väzbami vzniká reťazce makromolekuly. Základné polyreakcie sú **polymerizácia, polyadícia a polykondenzácia**.

Polymerizácia je polyreakcia. pri ktorej sa molekuly monoméru spájajú reťazovým mechanizmom do makromolekúl bez toho, že sa odštiepuje voda alebo iná jednoduchá látka.

Polyadícia je polyreakcia, pri ktorej sa molekuly monoméru, neobsahujúce dvojne väzby $C=C$ navzájom spájajú bez odštiepovania vody, alebo iných jednoduchých molekúl.

Polykondenzácia je polyreakcia, pri ktorej sa molekuly monoméru spájajú za súčasného odštiepovania vody alebo iných molekúl.

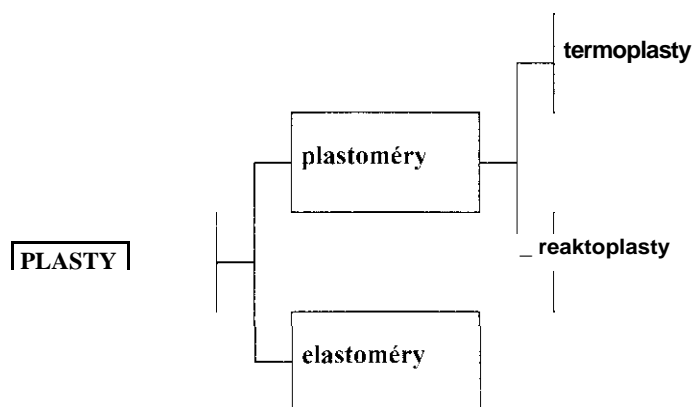
Príklady polyreakcií:

- Polymerizácia: $n \text{ CF}_2=\text{CF}_2 \rightarrow -[\text{CF}_2-\text{CF}_2-]_n$
tetrafluóretylén polytetrafluóretylén (teflón)
- Polyadícia: $n \text{ OH}-(\text{CH}_2)_4-\text{OH} + n \text{ CO}=\text{N}-(\text{CH}_2)_6-\text{N}=\text{CO} \rightarrow$
1,4 butadiól hexametyléndizokyanát
 $-\text{O}(\text{CH}_2)_4-\text{O}-\text{CO}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-\text{CO}-]_n$
polyuretán
- Polykondenzácia: $n \text{ COOH}-(\text{CH}_2)_4-\text{COOH} + n \text{ NH}_2-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}_2 \rightarrow$
kyselina adipová hexametyléndiamín
 $\text{OH}-[\text{CO}-(\text{CH}_2)_4-\text{CO}-\text{NH}-(\text{CH}_2)_6-\text{NH}-]_n \text{ nH} + 2n-1 \text{ H}_2\text{O}$
polyhexametylénadipamid (polyamid 6,6)

Veľkosť makromolekúl (molekulová hmotnosť) pri bežných polyméroch nie je konštantná (obsahujú makromolekuly s rôznym počtom monomérnych jednotiek, čiže s rôznym polymerizačným stupňom).

Celkom špecifické správanie pri statickom namáhaní majú *elaslométy*. Čiže vysokoelastické látky, a to pri bežných aj pri nízkych teplotách. Ide o kaučuky so zosietenou štruktúrou (gumy), pre ktoré je typická *kaučukovitá pružnosť*. Táto vysoká elasticita súvisí s tým, že úseky makromolekulárneho reťazca

môžu zaujať iné konformácie. Pretože zosietené molekulové reťazce sa nemôžu navzájom posúvať, nenastane viskózný tok a po odľahčení sa úseky reťazcov vrátia do pôvodnej polohy. *Kaučukovitá deformácia* sa od pružnej deformácie kovov odlišuje tým, že je asi tisíckrát väčšia, je časovo závislá (oneskoruje sa za napätím), objem vzorky pri pretiahnutí sa nemení (pri elastickej deformácii sa zväčšuje) a pri jej pôsobení sa teleso zohrieva (pri elastickej deformácii sa ochladzuje). Kaučuky sú *elastoméry*, t.j. látky, ktoré sa rýchlo vracajú do pôvodného tvaru a rozmerov, z ktorých boli podstatne deformované malým napätím.



Termoplasty

Vybrané typické termoplasty (ich skratky podľa STN 64 0002. typická polyreakcia, ktorou vznikajú, charakteristika ich stavby a vybrané mechanické charakteristiky) uvádza tab.

Termoplasty majú najčastejšie lineárne makromolekuly. Preto ľahko mäknú pri ohreve. Rozpadajú sa sekundárne väzby medzi

mikročasticami a polymér sa správa ako viskózna kvapalina, čo umožňuje jeho tvarovanie.

Polyetylén je najširšie používaným termoplastom vo forme rúr, fólií, nádob, elektrických izolácií a obalov.

Polypropylén má podobné použitie ako PE, ale je ľahší, tuhší a odolnejší na slnečné žiarenie.

Vybrané termoplasty (*vysokotlaký PE, **polyamid 6)

Termoplast	Skratka	Polyreakcia	Stavba	Hustota, kg.m ⁻³	R _m MPa	Ťažnosť %
Polyetylén	PE	polymerizácia	čiasť.	950	10*	80-100*
Polypropylén	PP		kryšt.	900	30	700
Polytetrafluóretylén	PTFE		2200	30-40	20-200	
Polystyrén	PS		1050	28-50	8-35	
Polyvinylchlorid	PVC		amorf.	1400	40-90	5-53
Polymetymetakrylát	PMMA		1180	40-84	3-7	
Polyamid	PÁ	polykondenzácia	čiasť.	1120	60**	300**
Polyuretán	PUR	polyadícia	kryšt.	50-200	15-35	300-600

Polytetrafluóretylén, známy tiež pod označením *teflon*, je odolný na zvýšené teploty a má malý koeficient trenia. Používa sa na klzné ložiska a na pokrytia kuchynských panvíc.

Polystyrén sa používa na lacné predmety, formované vstrekaním; v penovej forme (spenený pomocou CO₂) na obaly.

Polyvinylchlorid sa používa v stavebníctve (okenné rámy) a v textilnom priemysle (umelé vlákna).

Polymetylmetakrylát, známy tiež ako *organické sklo*, *plexisklo*, *Perspex*, sa vyrába a používa vo forme priehľadných dosák a výrobkov tvarovaných vstrekaním okenné tabule lietadiel, ochranné vrstvomé okenné tabule a pod.

Polyamid je typický materiál na vlákna a na výrobky tvarované vstrekaním.

Polyuretán sa používa na vstrekané a lisované súčiastky (ozubené kolesá, cievky v elektrotechnike ap.) a predovšetkým v penovej forme ako čalúnenie (molitan) v nábytkárstve a vo výrobe dopravných prostriedkov, kde nachádza uplatnenie aj na tepelné a hlukové izolácie.

REAKTOPLASTY

Vybrané typické reaktoplasty (ich skratky podľa STN 64 0002, typická polyreakcia, ktorou vznikajú a charakteristika ich stavby) sú uvedené v tab. Reaktoplasty majú najčastejšie husto zosietené makromolekuly. Zosietenie nastáva počas reakcie medzi tekutou živicom a vytvrdzovacím činidlom, kedy sa tvoria priečne väzby a vznikajúci produkt má amorfnú štruktúru. Pri ohreve sa rozpadajú sekundárne väzby, preto sa znižuje modul pružnosti. Pretože však priečne väzby bránia taveniu, nemôže byť

reaktoplast pri vysokých teplotách tvarovaný, pretože má pri týchto teplotách vlastnosti gummy. Pri ešte vyšších teplotách nastáva jeho chemický rozpad.

Epoxydy a nenasýtené polyestery sa všeobecne používajú ako matrice v kompozitoch spevnených vláknami. Epoxydy sú drahšie; používajú sa aj ako lepidla.

Fenolformaldehydové živice sú používané ako matrice v kompozitoch spevnených práškovým plnivom (bakelit) na lisované výrobky a tvrdé povlaky.

Vybrané reaktoplasty

Reaktoplast	Skratka	Polyreakcia	Stavba
epoxidová živica	EP	polyadícia	amorfná
nenasýtené polyestery	UP	polymerizácia	amorfná
fenolformaldehydová živica	PF	polykondenzácia	amorfná

Elastoméry

Elastoméry sú prevažne lineárne polyméry, s malou hustotou zosietenia, v ktorých sa už pri izbovej teplote sekundárne väzby rozpadli. Základné elastoméry nazývame *kaučuky*. Zosietením makromolekúl získava elastomér vďaka priečnym väzbám "pamäť tvaru", tj. vracia sa po odstránení zaťaženia do pôvodného tvaru. Takéto materiály nazývame *gummy*.

Kaučuky môžeme podľa pôvodu rozdeliť na *prírodné a syntetické*. Prírodný kaučuk sa vyrába z kaučukového mlieka (latexu), ktoré sa vyskytuje v mliečnych bunkách niektorých tropických stromov (napr. *Hevea Brasiliensis*), z ktorých po narezaní kôry vyteká. Podstatou je polyizoprén, sprevádzaný malým množstvom nekaučukovitých látok.

Surový kaučuk je plastický a má veľmi malú pevnosť v ťahu. Zahrievaním na vzduchu mäkne, pri 160 °C je lepkavý a okolo 220 °C sa topí. Svetlo, najmä ultrafialové, spôsobuje rýchle starnutie kaučuku, ktoré je vyvolané fotochemickou oxidáciou. Kaučuk stráca svoju elasticosť, stáva sa nerozpustným a krehkým. Technický význam nadobúda až po odstránení nevýhodných vlastností vulkanizáciou.

Syntetické kaučuky sa vyrábajú vo väčšom počte druhov, z ktorých každý vyniká niektorými špecifickými vlastnosťami. Podobne ako prírodný kaučuk je možné syntetické kaučuky vulkanizovať. Rozdeľujeme ich na kaučuky pre všeobecné použitie a na kaučuky špeciálne. Kaučuky pre všeobecné použitie sa blížia svojimi vlastnosťami prírodnému kaučuku a väčšinou sa používajú ako jeho náhrada. Najdôležitejším z nich je *polybutadién*. Kaučuky špeciálne sa vyrábajú v menších množstvách ako predchádzajúce, niektorými vlastnosťami predčia prírodný kaučuk. Napr. *polychloroprén* je odolný proti účinkom olejov a používa sa na

tesnenia.

Guma je vulkanizovaná kaučuková zmes. Vulkanizáciou rozumieme proces sietenia lineárneho polyméru (elastoméru), pri ktorom dochádza pôsobením vulkanizačného činidla (síry) alebo energie k štruktúrnym zmenám, ktoré menia kaučuk s prevažne plastickým charakterom na gumu s prevažne elastickým charakterom. Vulkanizáciou sa zvyšuje mechanická pevnosť kaučuku, odolnosť proti zmenám teploty, účinkom svetla a rôznych chemikálií. Podľa množstva síry, ktoré sa použije k vulkanizácii, dostaneme gumu mäkkú (obsah síry do 3 %) alebo gumu tvrdú (obsah síry až 3,6 %).

Mäkká guma sa vyznačuje nízkou tvrdosťou a vysokou elasticitou. Má veľmi rozsiahle použitie. Používa sa na výrobu pneumatík, ako tesnenie, izolácia elektrických zariadení, na obklady podláh, na výrobu dopravných pásov, v spotrebnom priemysle (hračky a pod.) a iné.

Tvrdá guma (ebonit) sa vyznačuje vyššou tvrdosťou, dobrými mechanickými a elektrickými vlastnosťami a výbornou chemickou odolnosťou. Používa sa na zhotovovanie armatúr, nádrží, chirurgických nástrojov a pod.

Kompozity

Spôsob namáhania, tvar a konštrukcia dielca a predpokladaná technológia jeho výroby kladú na materiál rad požiadaviek. Často ide o požiadavky protichodné a nesplniteľné vlastnosťami jedného homogénneho materiálu. Voľba materiálu znamená potom kompromis, ktorý vychádza z prvoradej vlastnosti (alebo niekoľkých prvoradých vlastností) a nedostatok ostatných vlastností rieši napr. pripustením nižšej životnosti súčiastky, zväčšením prierezu, prechodom na inú technológiu atď. Niekedy je pritom potrebné zmeniť konštrukciu dielca alebo dokonca celú koncepciu riešenia. Kvalitatívnu zmenu v riešení protirečenia medzi požadovanými vlastnosťami a možnosťami homogénnych materiálov **predstavujú združené materiály, čiže kompozity, ktoré boli vytvorené spojením dvoch jednoduchých materiálov (kov-kov, ale aj kov-keramika a pod.), ktoré plnia jednotlivé, v jednom materiáli nezlučiteľné požiadavky.**

Medzi kompozitné materiály možno zaradiť širokú, rôznorodú skupinu materiálov. Najčastejšie sa chápe ako kompozit len taká látka, ktorá splna tieto podmienky:

- *bola vytvorená umelo,*
- *skladá sa najmenej z dvoch, chemicky výrazne odlišných zložiek,*
- *zložky majú z makroskopického hľadiska rovnomerné rozloženie v celom objeme,*

- *výsledné vlastnosti kompozitov sa odlišujú od vlastností zložiek.*

Tieto podmienky vylučujú združené prírodné materiály (napr. drevo ako združený materiál s ligninovou matricou, vystuženou celulóзовými vláknami), plátované materiály a i.

V závislosti od vlastností možno rozdeliť kompozity na:

- *kompozity s vysokými mechanickými vlastnosťami;*
- *kompozity so špeciálnymi fyzikálno-chemickými vlastnosťami.*

Prvá skupina sa používa ako konštrukčný materiál, druhá skupina predovšetkým ako funkčný materiál, napr. v meracích prístrojoch.

Základné poznatky

Kompozity sú teda materiály, ktoré vznikli fyzikálnou kombináciou existujúcich jednoduchých materiálov. Základná hmota, čiže *matrica*, má funkciu spojiva. Druhá zložka, vložená fáza, plní funkciu výstuže, ktorá má spevňujúci účinok. Na vlastnosti kompozitu zloženého z fáz A (matrice) a B (vloženej fázy) majú vplyv najmä tieto parametre:

- a) objemový podiel zložiek V_A , V_s ;
- b) geometria systému, ktorá môže byť charakteristická:
 - jednorozmernou kontinuálnou fázou (vlákno, tyčinka),
 - dvojrozmernou kontinuálnou fázou (doska, lamela),
 - trojrozmernou kontinuálnou fázou (priestorová sieť),

- c) stupeň kontinuity (od úplnej kontinuity po diskkrétne častice);
- d) usporiadanie fáz (extrémami sú usporiadania paralelné a sériové).

Kompozity na báze polymérov

Skoro všetky biologické systémy sú zložené z polymérov, ktoré spĺňajú buď funkcie mechanické (drevo, kosti, koža), alebo vplývajú v prírode na chemické reakcie (lístie, bunky). Po tisícročia využíval človek prírodné polyméry, ale až v tomto storočí sa vyvinuli polyméry syntetické. Jednoduché syntetické polyméry majú menšiu tuhosť ako kovové materiály, ale aj menšiu ako drevo či kosti. Je to preto, že drevo aj kosti sú v podstate kompozitmi; ich polymérová matrica je spevnená vláknami alebo časticami. Preto sa neskorší vývoj aj v oblasti plastov sústredil na kompozity. V súčasnosti existuje veľký počet kompozitov na báze polymérov, ktorý sa každoročne zvyšuje.

Makroskopické kompozity sú tie, v ktorých makromolekulárna látka vytvára makroskopický spojitú fázu. Najvýznamnejšími makroskopickými kompozitmi sú vrstvené materiály (lamináty), lepené spoje, peny a sendviče.

Vrstvené materiály (lamináty) vznikajú spojením viacerých vrstiev polyméru a vlozenej fázy. Vložená fáza nie je voľne uložená v matrici, ale jej jednotlivé vlákna sú navzájom spojené formou tkanín s rôznymi väzbami alebo formou rohoží, prípadne rovingov (zväzkov vlákien). Výrobky z laminátov sa zhotovujú vrstvením tkanín alebo rohoží tak, aby sa dosiahla požadovaná pevnosť a tuhosť so zreteľom na

podmienky namáhania výrobku. Jednotlivé vrstvy sa nasycujú kvapalnými alebo práškovými živcami (UP, PF a pod.), ktoré sa v ďalšom štádiu vytvrdzujú. Medzi najpoužívanjšie vrstvené plasty podľa druhu výstuže možno zaradiť *sklené lamináty*. Sú to vrstvené materiály, zložené z vrstiev sklenej výstuže (roving, tkanina) a spojiva (PF, UP, EP a pod.). K vrstveným plastom patrí aj *tvrdený papier* (napr. umakart) a *tvrdené tkaniny* (napr. textgumoid) vyrábané z papiera, resp. z bavlnených tkanín impregnovaných živcami (napr. PF) a spracované lisovaním pri zvýšených teplotách. Lamináty sa používajú na stavbu Častí karosérií niektorých automobilov (karoséria starších malých automobilov Trabant z Pvystuženej rohožami z krátkych bavlnených vlákien). Sklené lamináty sa uplatňujú aj pri výrobe športových a turistických lietadiel (trupy a krídla). Tvrdené tkaniny sa používajú na klzné ložiská a tesnenia.

Lepené spoje sú kompozity charakteristické tým, že sa plasty pri nich využívajú na trvalé spájanie rôznych materiálov. Napr. *vrstvené bezpečnostné sklo*, zabraňujúce rozptýleniu črepín pri rozbití, sa vyrába zlepením dvoch alebo viacerých tabúl skla plastom.

Peny, čiže ľahčené materiály, sú polyméry, obsahujúce dutinky rôznych tvarov a veľkostí. Vyrábajú sa z plastov aj z kaučukov. Prísadu do ľahčených materiálov nazývame *nadúvadlo*. Nadúvadlá pri výrobe ľahčených materiálov uvoľňujú plyny alebo pary a vplyvom tohto procesu majú výrobky bunkovú štruktúru. Poznáme ľahčené

materiály s bunkami navzájom prepojenými (pórovité) alebo uzatvorenými (penové). Ľahčené materiály majú okrem nízkej hustoty aj dobré tepelné, elektrické a akustické izolačné vlastnosti. Technicky najvýznamnejšie ľahčené materiály sú **PS, PVC a penové reaktoplasty**. Používajú sa o. i. vo vnútornom vybavení dopravných prostriedkov (sedadlá).

Špeciálnym prípadom vrstvených plastov sú *sendviče*. Ide o laminátové alebo hliníkové potahy s jadrom z ľahčených plastov, určené napr. na výrobu karosérií chladiarenských vozov a obytných prívosov).

Vystužené polyméry sú materiály vytvorené spojením vlozenej fázy (plniva) a makromolekulárnej látky, väčšinou s cieľom zlepšiť mechanické vlastnosti. Polymérna zložka tvorí základnú spojitú maticu kompozitu. Plnivom je neprchavá prísada organického aj anorganického pôvodu. Podľa tvaru plniva môžeme vystužené plasty rozdeliť na *kompozity s práškovitým plnivom* (sadze, minerálne látky ako SiO_2 alebo CaCO_3 , kovy ako Al, oxidy kovov) a na *kompozity s vláknitým plnivom* (vlákna sklené, borové, azbestové, bavlnené, celulózoové, sisalové, grafitové, kovové). Základom vystužených polymérov sú najmä reaktoplasty. Plnivami sa však modifikujú aj termoplasty, napr. PTFE plnený grafitom a práškovým bronzom sa používa na pohybové, nemazané tesnenia a klzné ložiská.

Impregnované pórovité materiály sú kompozity na báze keramiky,

betónu a dreva. Tieto materiály sa plnia polymérmi, ktoré majú v týchto prípadoch charakter vloženej fázy. Makromolekulárna látka pritom nevytvára spojitú fázu. Ako príklad uveďme zošľachtené drevo, pri ktorom sa spracovaním, pridaním syntetickej živice tlakom pri vysokej teplote, zlepši jeho pevnosť, odolnosť proti vlhkosti a pod.

Kompozity s kovovou maticou

Najdôležitejšie druhy kompozitov s kovovou maticou môžeme rozdeliť na:

- disperzne spevnené materiály (kovová matrica + nekoherentné disperzné častice),
- vláknové kompozity (kovová matrica + tenké drôtičky alebo monokryštalické vlákna),
- eutektické kompozity (usmernene kryštalizujúce eutektiká v ktorých jedna fáza tvorí maticu a druhá vystužujúcu fázu).

Disperzne spevnené materiály sú kompozity s maticou spevnenou disperzne diskontinuálnou fázou. Vyrábajú sa prevažne technológiami práškovej metalurgie. Majú polykryštalickú maticu, do ktorej sú vovedené disperzné častice najčastejšie typu oxidov, karbidov a nitridov. Polykryštalická matrica sa vytvára z kovových alebo nekovových práškov, ktoré sú vyrábané mletím, redukciou kysličníka, karbonylovým spôsobom, rozstrekovaním rôznymi

médiami a spôsobmi. Vlastnosti disperzne spevnených sústav zásadne ovplyvňuje metóda prípravy zmesi matrica-disperzoid.

Kompaktizácia zmesi sa realizuje tvárniacimi procesmi s vysokým stupňom plastickej deformácie.

Podstata spevňujúceho účinku disperzoidov je priama a spočíva v brzdení pohybu dislokácií matrice, ako aj nepriama tým, že pri tvárnení sústavy disperzoidy zvyšujú hustotu dislokácií a zjemňujú zrnovú a subzrnovú štruktúru.

Disperne spevnené materiály na báze hliníka predstavujú najmä *hliník SAP (Sintered Aluminium Powder)* a *Dispall*. Hliník SAP je označenie pre hliník spevnený časticami Al_2O_3 a ide o vôbec najstarší disperzne spevnený materiál. Pri jeho príprave sa využíva povrchová oxidácia hliníkového prášku počas mlecieho procesu. Tvrdé oxidy, vznikajúce na povrchu hliníkových častíc praskajú, odlupujú sa a kovovo čisté zrná sa zvárajú. Prednosťou SAP sú veľmi dobré mechanické vlastnosti za tepla, nízka hustota, dobrá odolnosť proti korózii a dobrá tepelná vodivosť. *Dispall* je novší materiál s podobnými vlastnosťami ako SAP. V tomto prípade ide o hliník spevnený časticami Al_4C_3 , pripravovaný mechanickým legovaním zmesi hliníkového a grafitového prášku. Podobne ako SAP je aj Dispall používaný ako konštrukčný materiál, najmä v automobilovej a leteckej technike. Vyznačuje sa vysokou odolnosťou voči rekryštalizácii a vysokou žiarupevnosťou v rozmedzí 300 - 500 °C.

TD Nickel Disperzne spevnené žiarupevné zliatiny možno rozdeliť na *TD Nickel* a *disperzne spevnené superzliatiny*. V prvom prípade ide o nikel spevnený oxidom thoričitým (98 % Ni, 2 % ThO₂), čo je ďalší, dnes už klasický disperzne spevnený materiál, ktorý sa vyznačuje vysokou pevnosťou za tepla a je vhodný pre aplikácie pri teplotách 1100 °C, príp. vyššie. Superzliatiny typu NiCrAl-Y₂O₃ pripravované mechanickým legovaním, sú spevňované Y₂O₃, nakoľko ThO₂ je rádioaktívny. Používajú sa pri stavbe plynových turbín leteckých motorov. Vyznačujú sa vysokou žiarupevnosťou do teploty 1200 °C a krátkodobé až do 1350 °C.

Disperzne spevnené antikoročné a žiaruvzdorné ocele austenitické a feritické ocele (spevnené oxidmi Al, Ti, príp. Th majú zvýšenú odolnosť voči krehnutiu pri radiácii a používajú sa preto v stavbe reaktorov. Pre svoju vysokú pevnosť (i za tepla, krátkodobé použiteľné až do 1200 °C) pri prijateľnej húževnatosti a koróznej odolnosti sa používajú aj v leteckom priemysle a raketovej technike. Medzi ich nevýhody patrí vysoká cena, náchylnosť na tepelné krehnutie, problematickosť dodržovania vysokej pevnosti vo zvaroch, častá anizotropia vlastností a náchylnosť ku koróznemu praskaniu pod napätím.

Vláknové kompozity s kovovou maticou môžu mať dva základné typy vložených fáz (výstuží) :

- vlákna, t.j. krátke, tenké (Ø 2 až 250 μm) drôty s pevnosťou v ťahu

2000 až 4000 MPa;

- whiskery, T.j. krátke monokryštály s priemerom rádovo 1 μm s pevnosťou v ťahu rádovo 15000 MPa.

Materiály vystužené vláknami sú väčšinou usmernené, preto združený materiál má výraznú anizotropiu vlastností. Vyrábajú sa práškovou metalurgiou, zalievaním vlákien základným materiálom alebo valcovaním kovových fólií matrice, ktoré sú prekladané vláknami.

Pevnosť vybratých vlákien a whiskerov

Vláknó	R _m , MPa	Whisker	R _m , MPa
B	3500	Al ₂ O ₃	21 000
W	2800	B ₄ C	14000
Bé	1400	SiC	21 000
C	2 100	C	20 000
Borsic (B+SiC)	3 150	Fe	13 400

Medzi najpoužívanéjšie vlákna patria *borové, kovové a uhlíkové*.

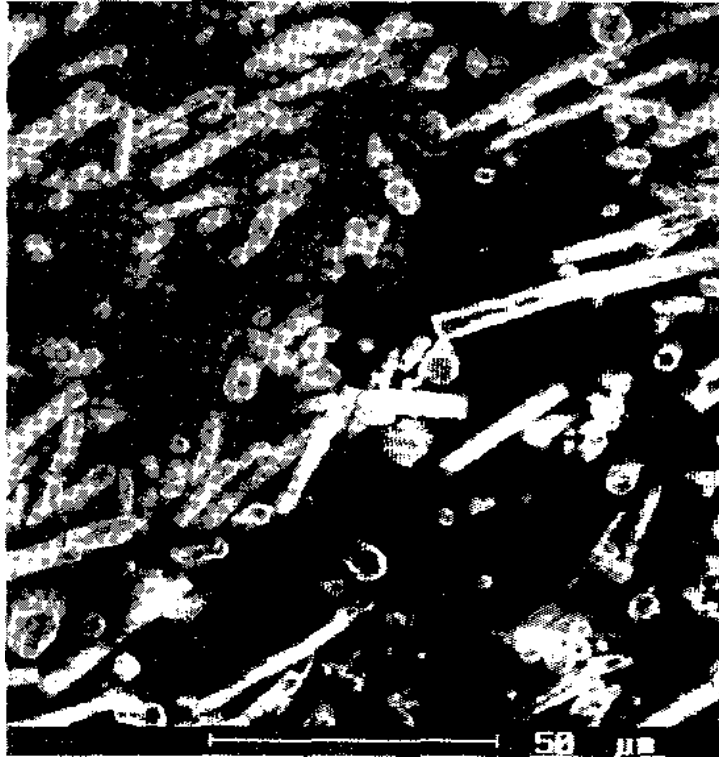
Nevýhodou whiskerov je ich extrémne vysoká cena.

Kompozity s hliníkovou maticou patria k najrozšírenejším materiálom vystuženým vláknami. Najbežnejším armovacím materiálom sú uhlíkové vlákna, ktoré sa buď zalisovávajú medzi hliníkové fólie, alebo sa pokrývajú vrstvou Ti a B, a potom hliníkom. Hliníkové kompozity majú priaznivý pomer pevnosti k hustote, a preto sú vhodné najmä pre letecký priemysel.

Kompozity s titánovou matricou sa takisto uplatňujú najmä v leteckom priemysle (lopatky ventilátora leteckých motorov). Na armovanie titánu sú osobitne vhodné borsicové a berýliové vlákna. Pri kompozitoch s matricou titánovej zliatiny typu VT6 sa dosahuje pozdĺž vlákien pevnosť 1 000 až 1 400 MPa.

Ziarupevne kompozity sú predovšetkým na báze superzliatin niklu s volfrámovými a korundovými vláknami, ale aj s grafitovými. Podiel vlákien je od 20 do 70 %, pevnosť pri teplote 20 °C je 1 400 až 2 100 MPa, časová medza tečenia (1 000 h) pri teplote 1 100 °C je však 200 až 300 MPa, čiže omnoho väčšia ako pri konvenčných žiarupevných zliatinách. Možno ich použiť až do teploty 1 650 °C.

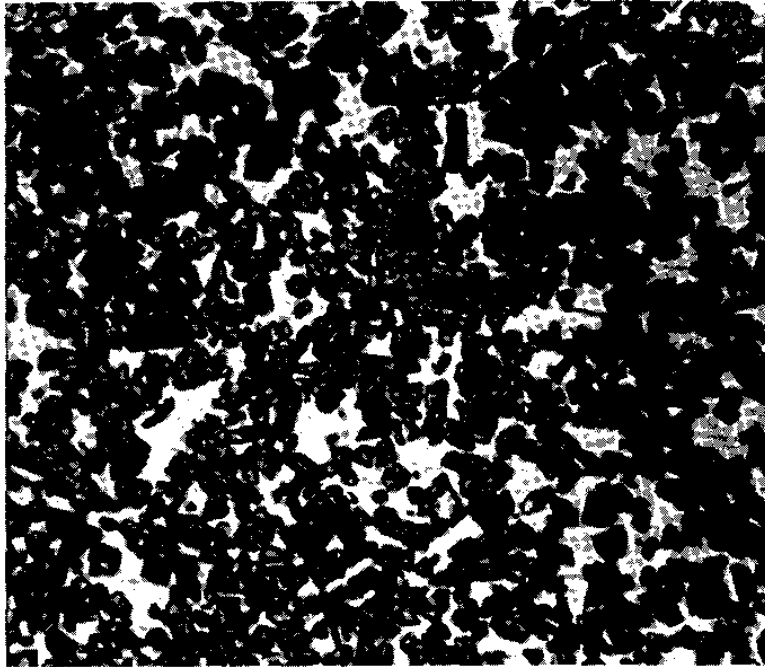
Kompozity armované whiskermi sú ľahko tváriteľné a dosahuje sa pri nich vysoká pevnosť. Napr. hliník s whiskermi SiC má pevnosť v ťahu až 600 MPa. Boli vyvinuté aj whiskery Al_2O_3 alebo B_4C v striebre a nióbe. Kompozity s nióbovou matricou sa ukázali byť mimoriadne vhodnými materiálmi pre namáhanie pri 1 100°C.



Kompozit MgAl₉Zn₁ - Al₂O₃, REM [19]

Spekané kovokeramické materiály

Prášková metalurgia umožňuje vyrábať viaceré principiálne nové materiály, ktoré nemožno získať klasickými technologickými postupmi. Patria medzi ne aj spekané materiály zo zmesí kovových a keramických práškov. Sú to predovšetkým spekané karbidy na rezné nástroje a trecie materiály na brzdové obloženia.



Mikroštruktúra spekaného karbidu G2, lept. Muracami, zv. 1000 x

Spekané karbidy patria do skupiny spekaných mikroheterogénnych materiálov. Predstavujú vysoký vývojový stupeň tvrdých nástrojových materiálov. Práškovou metalurgiou sa získali materiály, pri ktorých sa využíva vysoká tvrdosť stálych tvrdých karbidov, ktoré sú v liatom stave značne krehké. *Základom v súčasnosti používaných spekaných karbidov sú čiastočky vysokotvrdých karbidov volfrámu a titánu, ktoré sa spájajú prostredníctvom kobaltu.* Dostatočná pevnosť a zníženie krehkosti spekaných karbidov sa dosiahne vtedy, ak jednotlivé karbidické čiastočky nepresiahnu veľkosť niekoľko μm . S rastúcim obsahom kobaltu klesá tvrdosť a vzrastá pevnosť v ohybe. Výsledná štruktúra (obr.) je heterogénna a jednotlivé zložky sa uplatňujú ako samostatné fázy. Prehľad spekaných karbidov na nástroje je v tab. Tvrdosť (bez ďalšieho znižovania húževnatosti) možno ďalej zvýšiť

nanášaním tvrdých povlakov na platničky zo spekaného karbidu. Ako povlakový materiál sa najčastejšie používa karbid titánu alebo nitrid titánu a karbonitrid titánu. Tvrdý povlak vzniká väčšinou vylučovaním karbidu titánu z plynnej fázy. Použitím vymeniteľných platničiek zo spekaných karbidov s tvrdým povlakom sa trvanlivosť nástrojov zvyšuje na viac ako trojnásobok.

Označenie a zloženie spekaných karbidov

Označenie		Chemické zloženie (%)					Použitie
ISO	STN	WC	Co	TaC	TiC	Cr ₃ C ₂	
P01	F1	76	6	-	20	-	obrábanie materiálov s dlhou trieskou pri vysokých rezných rýchlostiach
P10	SI	78	6	-	16	-	
P20	S2	78	8	-	14	-	
P30	S3	84	8	-	8	-	
P40	S4	85	9	2	4	-	
P50	S5	85	12	3	3	-	
M10	U1	86,5	7	1	5	0,5	pre ťažko obrobiteľné materiály
M20	U2	81	10	3	5	1	
M30	U3	78,5	15	3	2	1,5	
KOI	H3	97	8	-	-	-	pre materiály s krátkou trieskou
K10	H1	95	5	-	-	-	
K20	G1.1	92	8	-	-	-	
K30	G2	89	11	-	-	-	