

Redakční rada:
Ing. Karel Balík, CSc.
Tel. +420 2 66009 212

RNDr. František Kolář
Ing. Jaroslava Svítlová
Ing. Zuzana Weishauptová, DrSc.

Adresa redakce:
RNDr. František Kolář
Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR
V Holešovičkách 41
182 09 Praha 8

tel.: +420 2 66009 343
fax.: +420 2 6880105
e-mail: kolar@irms.cas.cz

Spolupracoval:
Ing. Tomáš Suchý
e-mail: suchyt@irms.cas.cz

Číslo 1/2006 - Obsah	strana
<u>Česká společnost pro kompozitní a uhlíkové materiály</u>	3
<u>Šárka Rýglová</u>	
<u>Částicové kompozitní materiály a některé jejich</u>	4
<u>bioaplikace</u>	
<u>I. Gofman et al.</u>	
<u>Thermally stable polyamide films modification by</u>	32
<u>hydrosilicate and karbon nanoparticles of different</u>	
<u>morphology</u>	
<u>Informace o konferencích</u>	38
<u>Instrukce pro publikování v časopise Acta Montana</u>	43

Česká společnost pro kompozitní a uhlíkové materiály

Záměry a cíle

podporovat kontakty mezi odborníky zabývajícími se
kompozitními a uhlíkovými materiály
podporovat studenty
vytvořit osobní databázi odborníků
organizovat semináře a konference

Kontakt

Česká společnost pro kompozitní a uhlíkové materiály
ÚSMH AV ČR
V Holešovičkách 41
182 09 Praha 8
Česká republika

Ing. Karel Balík, CSc.

balik@irsm.cas.cz

telefon: (+420)-2-66009212

fax: (+420)-2-6880105

www.irsm.cas.cz

Částicové kompozitní materiály a některé jejich bioaplikace

Šárka Rýglová

Ústav struktury a mechaniky hornin AV ČR, V Holešovičkách 41,
Praha 8, 182 09, ČR

ryglova@irms.cas.cz

1. ÚVOD

Částicové kompozity jsou materiály, u kterých je diskontinuální výztuž tvořená buď částicemi, zejména nevláknenného tvaru nebo whiskery. Teoreticky bychom mezi ně mohli zařadit i kompozity s krátkovláknovou výztuží. Na rozdíl od kompozitů s kontinuální vláknovou výztuží je objemový podíl částicové výztuže menší, bývá od několika procent až do několika desítek procent, přičemž výztuž je častěji orientovaná nahodile. Hodnoty mechanických vlastností těchto kompozitů bývají, ve srovnání s příslušnými kompozity vyztuženými kontinuálními vlákny, nižší, vlivem nespojitosti výztuže. Úloha matrice je většinou v těchto kompozitech převažující, záleží ovšem i na jejím objemovém podílu.

Částicové kompozity se liší podle:

- spojitosti či nespojitosti jedné či obou fází
- podle tvaru dispergované fáze
- zda jsou částice v systému segregovány či agregovány.

Obvykle se částicové kompozity používají na modifikaci určitých vlastností materiálu nebo matrice jako je např:

- zvýšení tuhosti (někdy i za cenu snížení houževnatosti)
- stabilnější chování materiálu za vyšší teploty např. tvarová stálost (lepší creepová odolnost)
- vyšší odolnost vůči abrazi, opotřebení
- zlepšení obrobitelnosti
- zvýšení povrchové tvrdosti
- snížení tření
- na snížení smrštění kompozitu např. při ochlazování
- úpravu tepelné a elektrické vodivosti
- a v neposlední řadě i na snížení ceny materiálu při zachování fyzikálně-mechanických vlastností.

Výběr částic závisí na tom, jaké vlastnosti kompozitu chceme získat či zlepšit. V praxi se nejčastěji používá [1]:

- olovo do měděné slitiny pro snazší opracovatelnost
- křehké kovy jako wolfram, chrom apod. včleněné do tvárného kovu zlepšují jeho vlastnosti při vyšších teplotách při zachování tažnosti za pokojové teploty
- elastomery v křehkém polymeru zlepšují houževnatost a odolnost vůči náhlým změnám zatížení a teploty, díky snížení jejich citlivosti ke trhlinám.

- kovy do keramiky (cermety) pro vysokoteplotní aplikace
- slídivé vločky v polymerní matrici, díky svým vlastnostem mají široké využití v automobilovém a elektronickém průmyslu, stavebních konstrukcích, obuvnictví, domácích potřebách apod.

Poslední dva uvedené příklady můžeme považovat za pravý částicový kompozit, v ostatních příkladech mají částice spíše funkci plniv-aditiv na zlepšení vlastností materiálu, ale nemají vyztužující charakter.

Částicové kompozity můžeme zhruba rozdělit do 3 skupin [2]:

- kompozity I. typu – matrice je spojitá, prakticky bez pórů, plnivo je segregované
- kompozity II. typu – dalším snižováním množství matrice v kompozitu vznikají uzavřené póry, hlavně mezi zrny mimo kontaktní plošky
- kompozity III. typu – s dalším snižováním množství matrice vznikají otevřené póry, původně uzavřené póry se propojují za vzniku spojitých.

Každý typ se navzájem odlišuje svým chováním od ostatních typů. Hranice kompozitu I. typu končí tam, kde zrna plniva jsou v nejtěsnější možné vzdálenosti. To závisí na velikosti částic, tvaru částic, vzdálenosti částic (tloušťka obalové vrstvy), dále na viskozitě matrice, povrchovém napětí a smáčivosti částic.

Dělení částicových kompozitů podle typu matrice:

kompozity I. typu:

- kovové matrice
- polymerní matrice:
 - o elastomery
 - o termoplasty
 - o termosety (reaktoplasty)
- minerální matrice (keramické)

kompozity II. a III. typu:

- kovové matrice
- polymerní matrice
- minerální a smíšené matrice

Částice mohou být:

- kovové – práškový kov, bronz
- minerální (anorganická) – hlinitokřemičitnany, uhličitan.
Výhodou je jejich poměrně malá teplotní roztažnost a větší povrchová energie než u matrice, což snižuje riziko tvorby trhlin při smrštění tuhnoucí taveniny nebo při vytvrzování polymeru, dále zvyšují povrchovou tvrdost matrice, omezují tvorbu krevíků při napětí v matrici, snižují hořlavost, ovlivňují vzhled a zabarvení, často redukuje náklady při výrobě.
- případně organické
Jen některé kombinace matrice a plniva se využívají v průmyslu (např. žárovzdorná keramika s částicemi na oxidové nebo karbidové bázi = cermety), ostatní kombinace jsou více méně ve fázi výzkumu a vývoje.

Dále se budeme zabývat kompozity s polymerní matricí.

2. KOMPOZITY S POLYMERNÍ MATRICÍ

Přyskyřice v kompozitech mají funkci pojivové matrice a slouží k přenosu vnějšího napětí na výztuž. Důležitá je dobrá kompatibilita s výztuží. Vliv na to má struktura a vlastnosti hraničních fází mezi matricí a výztuží.

Dle zpracovatelnosti a případně i specifického použití dělíme přyskyřice na:

- termoplasty – lze je opakovaně zahřát a ochladit. Jsou snadno recyklovatelné. Často i levnější. Nevýhodou je jejich creep při vyšších teplotách a dlouhodobém zatížení. Proto jsou tyto plasty použitelné při teplotách pod teplotou skelného přechodu. (polypropylen, polyethylen, polyamidy, PVC apod.)
- termosety – lze je pouze jednou zpracovat, s teplotou se síťují a tím tvrdnou. Obvykle mají příznivější mechanické vlastnosti, vyznačují se rozměrovou stabilitou, tedy i nízkým creepem při vyšších teplotách než termoplasty, proto se více používají do kompozitů. Nevýhodou je jejich menší houževnatost než u termoplastů (epoxidy, nenasycené polyester, fenolické přyskyřice, animoplasty, polyuretany, polysiloxany apod.).
- termostabilní přyskyřice – mají vysokou tepelnou stabilitu, kompozity z nich se využívají v letectví a kosmonautice, (polymery s tuhým oligomerním řetězcem obsahujícím aromatické nebo heterocyklické skupiny v síti polymeru, dobré výsledky byly dosaženy s aromatickými polyimidy, např. bismaleinimidy)
- elastomery – nejčastěji polymery kaučukovitého typu. Používají se často na zvýšení houževnatosti jinak křehkých termosetů, případně termoplastů. Je nutno je zabudovat do termosetové sítě tak, aby elastomery zůstaly dokonale separované a nezpůsobily podstatné snížení i modulu celé sítě.

2.1 PLNIVA A ADITIVA

Plniva a aditiva se používají na zlepšení vlastností pryskyřice jak fyzikálních a mechanických, tak i opracovatelnosti pryskyřice, plniva se též využívají jako výztuž. Plniva tvoří až několik desítek % objemu kompozitu. Většinou pro běžné aplikace stačí 5-30%, ale někde, např. pro některé elektronické aplikace, bývá plnění až 75% [3]. Aditiva tvoří už jen maximálně několik %.

PLNIVA – PŘIBLIŽNÉ ROZDĚLENÍ

z hlediska fyzikálních vlastností:

- nevyztužující
- vyztužující
 - o izometrická (sférická) – vyznačují se rozměry stejnými zhruba ve všech směrech, jsou charakterizována průměrnou velikostí d , maximální velikostí nebo velikostí, pod kterou je 97% částic d_{97} . Příkladem je CaCO_3 .
 - o neizometrická (nesférická)
 - vrstevnatá – např. slída, mastek. Poměr průměru k tloušťce $d/h > 10$
 - vláknitá – př. skleněná, uhlíková vlákna, whiskery, charakterizována poměrem délky k průřezu l/d .
 - částice nepravidelného tvaru atd.

Morfologické rozdíly mezi částicemi se obvykle charakterizují tvarovým (aspektivním) poměrem, který je definován jako poměr největšího a nejmenšího rozměru částice. U kulových částic nabývá hodnotu jedna, u destiček řádově nabývá jednotek a u krátkých vláken řádově desítek. Čím delší vlákna, tím vyšší hodnoty aspektivního poměru až ke kontinuálním vláknům.

Z chemického hlediska; podle chemického charakteru povrchu:

- báze
 - kyseliny
 - povrchové volné radikály
- pozn.: kyselá a bazická centra mohou vedle sebe existovat.

Důležité parametry plniv – ovlivňující strukturu a vlastnosti polymerního kompozitu [4]:

- složení plniva
- velikost plniva
- distribuce velikostí
- průměrná mezičásticová vzdálenost
- aspektní poměr a tedy i tvar (sférický, vláknitý, destičkovitý..)
- povrch částic (typ vazby, navlhavost, nukleární a katalytická aktivita)

- tvrdost, abrazivní chování během zpracování směsi
- disperzní chování
- závislost na zpracování

Polymerní kompozit se neskládá jen z matrice a výplně, nýbrž i ze stabilizátorů, kompatibilizátorů a pigmentů. Přítomnost výplně ovlivní přímo hustotu, tuhost a viskoelastické chování polymeru.

2.1.1 Vyztužující plniva

Sférická plniva [1]

Sférický tvar omezuje soustředění napětí a tedy i náchylnost k praskání matrice ve srovnání s nesférickými plnivými. Mohou být plně i duté, často i mikrosféry. Obvykle mají rozměry v průměru 1-150 μm . Neměly by být příliš velké na úkor pevnosti polymeru. Nejčastějším materiálem je sklo, dále mohou být z uhlíku nebo organických sloučenin jako třeba epoxidy, fenoly nebo polystyren.

Duté skleněné kulové částice

Jejich výhodou je jejich nízká hustota, která zvyšuje specifický modul plněné pryskyřice a zároveň snižuje hustotu celého kompozitu, dále jako plněná pryskyřice vykazuje lepší chování pod tlakem např. při lisování.

Plně skleněné kulové částice

Mají sice vyšší hustotu než duté, ale umožňují pracovat s pryskyřicemi za většího tlaku.

Nesférická plniva

Jsou nejčastěji jehlicovitého či destičkovitého příp. nepravidelného tvaru – tzv. acikulární částice, ty mohou polymer nejen vyztužovat, ale i zpevňovat. Jsou to tzv. aktivní částice.

Z nich se nejčastěji používají pro polymery syntetické nebo přírodní minerály jako např. destičky (vločky) slídy, dále mastek, kaolin (i do termosetů), karbonáty, $\text{Mg}(\text{OH})_3$, dále uhlíkové částice, např. speciální saze jako vodivé plnivo. Patří mezi ně i krátká vlákna a whiskery. Podrobněji je o nich zmiňováno v příslušných kapitolách. Zajímavé možnosti nabízejí „tenké vločky“, díky svému tvaru účinně zpevňují matici ve všech směrech ve své rovině. U acikulárních částic se udává tzv. aspektivní poměr. Obvykle se nesférické částice přidávají do termosetů a termoplastů pro elektrické a elektronické aplikace (slídové, stříbrné vločky), některé na laky, povlaky (hliníkové vločky). Z nanočástic se používají např. destičky jílu do folií na potraviny.

Přítomnost malých částic u kovových nebo keramických maticí může též významně zvýšit tvrdost, mez kluzu, pevnost, únavovou a creepovou odolnost, ale lomová houževnatost je menší (při objemovém podílu krátkých vláken 40% v kovové matici je kompozit zcela křehký). Do těchto typů matrice se přidávají oxidy kovu u kovové matrice a SiC u obou typů matic. Do keramiky jsou vhodné pouze acikulární částice.

2.1.2 Nevzdušňující plniva

Používají se hlavně na redukci ceny při zachování kvality. Nemají vzdušňující charakter.

Levná plniva

Vmícháním plniv z mletých hornin a minerálů do pryskyřice se zlepšuje:

- viskozita matrice
- Youngův modul E
- tvrdost
- prostorová stabilita
- odolnost k tažení a ohýbání

Nejčastěji jsou to silikáty, karbonáty a oxid křemíku SiO_2

Plniva zabraňující hoření

Přidávají se do termosetů na snížení hořlavosti. Jsou to např. oxid hlinitý nebo oxid antimonu.

Plniva na zlepšení vodivosti

Organické pryskyřice jsou tepelné a elektrické izolanty. Jejich vodivost získáme přidáním:

- kovového prášku nebo vloček
- kovoskleněných kuliček
- kovových mikrovláken
- uhlíkových částí

2.1.3 Aditiva

Pouhé přidání aditiv do polymeru z něj nedělá polymerní kompozit, aditiva nemají vzdušňující funkci, ale mohou v určitých směrech omezit nežádoucí vlastnost nebo vylepšit nějakou nebo dokonce získat novou vlastnost matrice/kompozitu.

Podle účelu použití je můžeme dělit takto:

- separační činidla – na lepší oddělování od forem při výrobě
- pigmenty a barviva – na získání určité barvy nebo odstínu
- prostředky na snížení smrštění a snazší tvarování – je to jakási prevence, těmito prostředky se vyplní trhlinky.
- světelné stabilizátory – např. UV stabilizátory, absorpcí UV záření se zamezí degradaci pryskyřice v tomto prostředí.

2.2 PROSTOROVÉ ROZMÍSTĚNÍ PLNIV, VELIKOST PLNIV

Plniva mohou být v kompozitu dispergovány či agregovány. Pro praktické účely je žádoucí, aby plnivo bylo co nejrovnoměrněji dispergováno, čímž se omezí tzv. koncentrátoři napětí, které jsou velmi pravděpodobnou příčinou defektů v kompozitu, způsobující snížení lomové houževnatosti. Koncentrátoři napětí mohou být velké primární částice plniva nebo agregáty malých částic. Kritická hranice velikosti částic nebo agregátů je individuální pro konkrétní polymer a je určena morfologií polymeru. K prudkému růstu agregátu dochází při překročení tzv. kritické objemové koncentrace plniva. Shlukování částic významně zvyšuje vnitřní lokální koncentraci napětí [5]. Překročení kritické lokální koncentrace plniv dochází k prudkým změnám fyzikálních vlastností kompozitu, např. elektrické vodivosti, modulu pružnosti apod. Napěťový koncentrační faktor nemá přímou souvislost s objemovým podílem. Napětí kolem sledované částice je ovlivněno nejbližším sousedem – částicí [5]. Vlastní proces dispergace závisí na velikosti částic a na viskozitě polymeru, tedy při nízkých viskozitách a malých částicích bude dispergace obtížná. Dále závisí na interakci mezi plnivem a polymerem a v neposlední řadě na dokonalé homogenizaci částic.

2.3 ADHEZE, POVRCHOVÉ ÚPRAVY PLNIV

Podmínkou úspěšného adhezního spojení je smáčení povrchu (zamezí se vzniku vzduchových bublin, které jsou posléze iniciátory lomu). Kromě velikosti povrchové energie, závisí i na viskozitě polymeru, výhodnější je nižší viskozita. Dále u hydrofilních plniv je nutno odstranit zbytky povrchové vody, blokující možná vazebná místa pro matrici, jinak by vznikaly nekvalitní kompozity. Smáčející polymer by měl mít podstatně menší povrchovou energii než plnivo. U semikrystalických termoplastických kompozitů se může přidáním amorfního podílu zlepšit adheze [4]. Pokud povrch plniva obsahuje nějaké funkční skupiny, lze využít zakotvení polymeru na tomto povrchu pomocí vazebného činidla. Např. na povrchy se skupinami –OH se osvědčila silanová vazebná činidla, organické sloučeniny Ti (typicky využíváno u skleněných výztuží). Na bazických plnivech se používají úpravy mastnými kyselinami.

U krátkovláknových kompozitů se často používá apretura (např. u skleněných vláken). Jsou to specifické látky, je známo jen přibližné chemické složení a používají se na zvýšení adheze vlákna k pojivu. Pokud toto nepostačí, přidává se ještě vazebné činidlo.

Konkrétní úprava povrchu plniva podporuje přednostní formu krystalizace u termoplastické matrice, následně pod vlivem převládající určité formy krystalů v matrici se ovlivňují deformační mechanismy a tedy i výsledné napětí a houževnatost. Např. u PP v přítomnosti plniva upraveného CaCO_3 (uhličitan vápenatý) je podporována β -krystalizace [4].

Z toho pohledu lze říct, že plniva mají odlišné efekty na termoplastické a termosetické matrice. Všeobecně platí, že pevná vazba mezi matricí a vláknem snižuje pohyblivost struktury matrice v závislosti na objemovém zastoupení vláken, což se projevuje prodloužením střední relaxační doby soustavy, omezením rozvoje deformací. Jinými slovy vykazují některé vnější projevy síťování jako u termosetových matric.

2.4 HRANIČNÍ FÁZE PLNIVA A POLYMERU

Někdy jsou povrchové úpravy plniva nedostačující pro dostatečně silnou adhezi mezi polymerem a plnivem, hlavně ty, které jsou založeny pouze na mezimolekulárních interakcích jako např. Londonovy síly - slabé přitažlivé síly nekovalentního charakteru působící mezi těsně interagujícími atomy. Jsou vyvolány tím, že pohyb elektronů se vzájemně synchronizuje a interagující atomy jsou k sobě slabě elektrostaticky přitahovány indukovanými dipóly. Tyto zcela nespecifické všudypřítomné interakce hrají významnou roli při sbalování a stabilizaci struktur mnoha biopolymerů. Klesá možnost přenést napětí z matrice na plnivo a při vyšších napětích klesá creepová odolnost kompozitu. Dále by hraniční fáze měla být schopna absorbovat mechanickou energii a tím přispět ke zvýšení lomové houževnatosti. Proto je důležité vytvořit rozhraní optimální struktury. Toho se v podstatě dosahuje dvěma hlavními způsoby:

- použitím kopolymerů s kyselými nebo bazickými skupinami – na jednom konci se vytvářejí acidobazické vazby s plnivem a na druhém konci se napojují na matrici.
- použitím kapalných reaktivních nánosů, kde funkční skupina již dříve naneseného vazebního činidla reaguje s kapalným polymerem nebo taveninou polymeru obsahujícím vhodné funkční skupiny.

Poslední dobou se rozvíjí snaha vytvářet hraniční fázi na základě tzv. fyzikálních sítí na rozdíl od výše uvedených sítí s kovalentními vazbami [6]. Jejich výhodou je, že jsou snadněji recyklovatelné. Nutno poznamenat, že pevná mezifázová vazba může v některých případech vyvolat potřebu co nejhouževnatějšího pojiva. Lze shrnout, že optimalizace složení termoplastického a také termosetického kompozitu je vždy řešením s několika kompromisy.

2. 5 MECHANICKÉ VLASTNOSTI ČÁSTICOVÝCH KOMPOZITŮ

Výhodou plněných polymerních materiálů je skutečnost, že mohou být „šití na míru“. Volba skladby se musí přihlížet nejen ke výsledkům krátkodobých mechanických zkoušek, ale i ke konkrétním provozním podmínkám. Při znalosti skladby a fyzikálních i chemických vlastností složek kompozitu lze některé mechanické vlastnosti poměrně přesně vypočítat. V praxi je to u většiny kompozitů složitější a teoretické výpočty ani nemohou zahrnout všechny materiálové a technologické vlivy. Proto se užívají různé semiempirické a empirické vztahy.

Vzájemné ovlivňování fází při mechanickém i tepelném namáhání závisí na:

- chemické konstituci plniva a matrice
- způsobu povrchové úpravy částic
- velikosti specifického povrchu částic
- tvaru částic
- objemovém podílu částic V_f

Všechny výše uvedené faktory ovlivňují v různé míře mechanické vlastnosti u konkrétních kompozitů. Objemový podíl lze přepočítat ze známých hmotnostních podílů w_f a hustoty jednotlivých složek kompozitu. Možný je přepočet i v opačném směru.

Částice o větších modulech pružnosti než matrice, způsobují „vytlučení“ matrice, kdy celý kompozit má v souladu s V_f větší modul pružnosti než samotná matrice. Při výhodné interakci matrice s částicemi a zároveň vhodně voleném podílu V_f se může zvýšit pevnost nebo houževnatost celého kompozitu. Ale zavádění tuhých a pevných vláken, částic nemusí vždy zlepšit mechanické vlastnosti, často se užívají jen ke snížení ceny, někde jako kompenzace nepříznivé anizotropie struktury ve výrobku.

Při toku tavenin s částicemi, zejména s anizometrickými nebo krátkovláknitými dochází k různé orientaci částic v podélném i příčném směru tělesa. Navíc se objemové podíly částic mohou na různých místech lišit, což komplikuje stanovení mechanických charakteristik celého tělesa. Obvykle se orientace částic a V_f v různých oblastech vyhodnocují stereometrickými metodami podobně jako u polykrystalických kovů.

2.5.1 ELASTICKÉ DEFORMAČNÍ CHOVÁNÍ

V elastické oblasti (do meze pružnosti σ_E) lze popsat deformační chování kompozitu s kulovitými částicemi do $V_f 0,3$ pomocí Einsteinovy rovnice [6] popisující vazký tok newtonské kapaliny s dispergovanými tuhými částicemi.

$$\eta = \eta_m (1 + \alpha V_f)$$

kde η_m je viskozita matrice a V_f je objemový podíl dispergovaných koulí, α je konstanta ($= 2,5$).

Pro jiné případy jako např. pro velký V_f koulí, jiný tvar částic nebo přítomnosti vzájemné interakce částic se užívají různé modifikace této rovnice nebo empirické vztahy.

Elastické vlastnosti kompozitů jsou též ovlivněny technologickými vnitřními napětími, vyplývající z rozdílných koeficientů teplotní roztažnosti částic i matrice (obvykle větší), tedy při ochlazování dochází v tenké vrstvě v okolí částic ke vzniku zbytkových napětí, které pak ovlivňují modul pružnosti kompozitů při různých teplotách.

Nelineární deformační chování

Při zvýšení modulů pružnosti pomocí částicových plniv se u některých kompozitů s tvárnou matricí nezvýší hodnota napětí na mezi pružnosti σ_E . U některých kompozitů, např. s destičkovými plnivy se ale díky usměrnění částic zvýší i σ_E . Příčinou vzniku této nelinearity je, kromě teploty a rychlosti deformace, vznik mikroductin a puklin, případně smykových pásů. Ke ztrátě soudržnosti mezi fázemi dochází až nad σ_E . Naopak u kompozitů s křehkou matricí a tuhou částicí je příčinou odklonu od linearity ztráta soudržnosti. Creep u částicových kompozitů závisí především na viskoelastických vlastnostech matrice a na vzájemné soudržnosti složek, která je závislá na hlavních i vedlejších přechodových teplotách, při kterých mění termoelastické charakteristiky. K popisu deformačního chování za různých teplot a napětí těchto kompozitů dobře vyhovují semiempirické vztahy.

2.5.2 PEVNOST

Částice se podílejí na přenosu namáhání v kompozitu, ale už ne tak účinně jako u kontinuální vláknové výztuže. Účinek částicových plniv na chování matrice je velmi rozmanitý. Závisí na jejich konkrétních vlastnostech a kombinaci s vlastnostmi matrice. Proto je důležité při navrhování výrobku s použitím kompozitu s částicovým plnivem přihlížet k:

- tvárnosti matrice
- schopnosti plniva vytvářet špičky lokálního napětí v okolí částic
- velikosti částic (specifickém povrchu)
- objemovém podílu plniv
- orientaci anizometrických částic
- vzájemné soudržnosti fází

Při namáhání tahem je důležitá dobrá adhezní pevnost fází, jinak dochází k oddělování částic od matrice už při nízkém napětí a tedy k předčasnému spojování vzniklých defektů do nebezpečné, rychle se šířící trhliny. Neplatí ale automaticky, že čím vyšší pevnost, tím lepší houževnatost, spíše naopak. Lze říci, že u částicových kompozitů zvýšení pevnosti rozhraní nevede obvykle ke zlepšení mechanických vlastností, na rozdíl od (krátko)vláknových kompozitů [7]. Křehké matrice, např. epoxidy, s tuhými částicemi mívají velmi dobrou soudržnost i při vysokém objemovém podílu částic, jsou tedy velmi pevné, ale vyznačují se křehkým lomem.

Zpevňující účinek velmi malých částic plniv spočívá ve vlivu vlastní tvrdosti na blokádu růstu submikroskopických defektů vzniklých z lokální koncentrace napětí v jejich okolí, hlavně u aglomerovaných částic, jinými slovy omezují rozvoj plastických deformací matrice v okolí částic (vlivem disipace deformační energie spotřebované jak na skluz polymerních segmentů na povrchu částic, tak i tvorbou kavit pospojováním mikrotrhlin).

2. 5. 3 HOUŽEVNATOST

Houževnatý materiál se vyznačuje vyšší hodnotou lomové energie, lom materiálu je postupný, „houževnatý“. Hodnota lomové houževnatosti závisí na soudržnosti fází, na objemovém podílu, ale i na průměru a vzdálenosti částic. U termoplastů je snaha zlepšovat houževnatost podporováním mikroplastických deformací. K tomu je ale potřeba dobré adheze mezi plnivem a matricí, dále zachování optimální velikosti částic a objemového podílu. Nelze říci, že čím pevnější spojení mezi fázemi, tím houževnatější materiál. Naopak např. u výše zmíněných epoxidových maticí s tuhými částicemi dochází ke křehkému lomu. První příznaky poškození se vyskytují, když kompozit obsahuje slabě nebo vůbec vázané částice, pak dochází k odtržení od matrice vedoucí, buď k tvorbě relativně stabilních dutin nebo přímo k lomu [4].

Pokud jsou dutiny vytvořeny od větších částic nebo agregátů, je velká pravděpodobnost vytvoření kritické velikosti trhliny. Větší částice působí jako defektory, nastává křehký lom za mnohem většího napětí než u nevázaných částic. Také malé částice, zejména agregáty mají možnost zamezit tvorbě dutin, tím se nahromadí napětí až se poruší vazba s matricí a nastává křehký lom.

Na druhé straně velké množství malých, rovnoměrně rozptýlených a slabě vázaných částic iniciuje vznik většího množství malých stabilních dutin, které umožní matrici se dále deformovat. Obecně nejhouževnatější materiál získáme z kompozitu obsahujícím téměř monodispergované rozptýlené částice střední velikosti. Malé částice s dobrou adhezí se také podílí na procesu zlepšování houževnatosti. Při zátěži v kompozitu nejprve nastane deformace matrice na mikroskopické úrovni (připomíná strukturu elastomeru v termoplastu) pak nastane deformace ve větším objemu matrice. Nevázané částice v houževnaté matrici mají malý vliv na mez kluzu a lomové chování. Tvorba dutin u dobře vázaných částic vyžaduje větší napětí a energii

na deformaci a chování při lomu. Je sice jednoznačné, že např. při zvyšování deformační rychlosti při rázové zkoušce hodnocený parametr - energie klesá, ale zatím nelze vyvodit jednoznačný závěr při zkoumání účinku zátěžové rychlosti na houževnatost, na rozdíl od zjištěného účinku teploty a napětí. Toto jednoznačné stanovení komplikuje někdy značný rozsah změn lomových charakteristik během času. Příčinou zdrojů defektu mohou být:

- dutiny na fázovém rozhraní a kolmo k působící síle. Velikost a způsob deformace závisí na rychlosti deformace.
- při rychlé deformaci se získá rychle dostatek energie na propojení malých defektů v makroskopickou trhlinu.
- při pomalé deformaci roste omezený počet defektů do značné až kritické velikosti. Při procesu porušování vzniká buď dilatace objemu, což zapříčiňuje tvorbu některých dutin a puklin, nebo vznikají lokální smykové deformace [8].

Chování plněných termoplastů [9] je určováno lomovým chováním matrice, hlavně její houževnatostí. Zhruba lze říct, že závislost na rychlosti deformace u kompozitu je určena závislostí na rychlosti deformace matrice. Při středních rychlostech deformace a nižších teplot převládá tvorba dutin a trhlin. Tvorba dutin se ale většinou dá potlačit buď snížením rychlosti deformace a vyšší teploty (přichází smykové deformace) nebo za působení rázové rychlosti i za pokojové teploty, při rázu se předá dostatečná energie na tvorbu nestabilní trhliny s vyústěním v křehký makroskopický lom [8].

Za přechod mezi křehkým a houževnatým chováním je zodpovědná kritická vzdálenost částic [10]. Tato vzdálenost je pro danou matici specifická. Při nadkritických hodnotách objemového podílu částic (např. oblasti agregovaných částic), kde jsou částice blízko sebe, dochází k poklesu houževnatosti, což se vysvětluje vzájemným překrýváním napěťových polí v okolí částic a zvýšením napětí nad kritickou mez. Při optimalizaci houževnatostních charakteristik je nutno znát vzájemné korelace mezi morfologií a houževnatostí. S rostoucí koncentrací částic přitom klesá modul E a mez kluzu σ , to ovšem záleží, o jaký typ částic se jedná (tuhé versus kaučukovité), ale na druhou stranu roste i odpor vůči iniciaci trhliny, také i množství energie spotřebované na růst trhliny. Klesající teplota mění přechod mezi křehkým a houževnatým chováním a to především u samotné matrice. Řízením podmínek při syntéze lze měnit vzdálenost mezi částicemi a tím ovlivňovat výsledné vlastnosti kompozitu.

Tzv. aktivní plniva – částice velmi malých rozměrů, ale s velkým povrchem též zvyšují pevnost a houževnatost polymeru. Jsou to např. saze, SiO_2 . Houževnatost můžeme ovlivnit buď vhodně zvolenými parametry při skladbě kompozitu nebo modifikací matrice přidáním vhodného elastomeru nebo použitím vhodného kopolymeru.

3. KOMPOZITY S KRÁTKÝMI VLÁKNY

Patří do skupiny kompozitů s diskontinuální výztuží. Platí pro ně stejné vztahy, popsané výše pro částicové kompozity obecně (prostorové rozmístění, adheze, povrch, hraniční fáze atd.). Hlavní rozdíl je ve tvaru jejich výztuže a tedy z toho vyplývající aspektivní poměr, jenž dosahuje obvykle desítky až stovky. Díky svému podlouhlému tvaru jsou velmi anizotropní a vlastnosti kompozitů z nich jsou velmi závislé na orientaci vláken, na rozdíl od některých částicových kompozitů s víceméně symetrickými/kulovými plnivem. Tyto kompozity se připravují podobným způsobem jako kompozity s částicovými plnivem jiného tvaru. Jejich vyztužující charakter závisí na aspektivním poměru. Důležitá je volba správné délky vláken [11, 12]. Některé druhy vláken např. skleněných se upravují apretací, aby se usnadnila manipulace s vlákny a nepoškodil se jejich povrch. Ke zvýšení přilnavosti vláken k pojivu je třeba použít vhodnou apreturu nebo vazební prostředky.

O krátkovláknovém kompozitu se mluví, když délka vlákna (přesněji změna délky vlákna) ovlivňuje vlastnosti celého kompozitu. Rozhraní mezi krátkým a kontinuálním vláknem je tedy neostré, vlákna s velkým poměrem l/d se svým chováním blíží ke kontinuálním vláknům. Účinek krátkých vláken se v podstatě neliší od účinku částicových plniv. S rostoucí koncentrací tuhé nepoddajné fáze také roste přechodová teplota.

3.1 MECHANICKÉ VLASTNOSTI KRÁTKOVLÁKNOVÝCH KOMPOZITŮ

3.1.1 TEORIE PŘENOSU NAPĚTÍ

Namáhání se přenáší z matrice do vláken smykovým napětím τ na povrchu vláken přes konce vláken a válcovým povrchem vláken v okolí konců. Velikost τ je největší na koncích vlákna a směrem ke středu se zmenšuje. Naopak tahové napětí σ_v vzrůstá od nulových hodnot na koncích vlákna směrem ke středu vlákna a dosáhne, buď maximální hodnoty, nebo mezní hodnoty – je úměrné hodnotě smykových sil na rozhraní. Je-li vlákno dlouhé, koncové účinky jsou zanedbatelné, vlákno se chová spíš jako spojitě. U krátkých vláken koncové účinky nelze zanedbat, chování, zpevňující účinky kompozitu jsou funkcí délky vlákna. Maximální tahové napětí se nemůže zvyšovat donekonečna, ale dosáhne tzv. mezní pevnosti vlákna, což je možné pouze u vláken s délkou $l \geq l_c$, pak je vlákno optimálně využito a plní svou vyztužovací a zpevňovací funkci. Mezní pevnost je hodnota napětí, kterou by přeneslo spojitě vlákno při zatěžování kompozitu. Kritická délka vlákna může být definována jako hodnota, kde se již dosáhne mezní pevnosti vlákna (maximálního napětí). Těž je to i maximální hodnota přenosové délky – možno chápat jako délku přebírající redukované průměrné napětí. Kritická délka vlákna je důležitá vlastnost systému, ovlivňuje mezní vlastnosti kompozitu.

Krátký úsek na konci vláken je zatěžován nižší hodnotou napětí než je maximální napětí, tedy je ovlivněna pevnost, modul pružnosti

kompozitu. Přenos napětí na konci vláken je prakticky bezvýznamný, i když se matrice přetváří, smykové napětí τ není konstantní. Proto jsou konce vláken méně namáhány a nepodílí se tolik na přenosu napětí. Proto vliv konců vláken na pevnost, modul pružnosti (snížení) kompozitu je výrazný právě u krátkých vláken a s rostoucím poměrem l/d se zmenšuje.

Dojde-li ke zkrácení vláken pod kritickou délkou vlákna, pak ta vlákna ztrácejí schopnost přenášet vnější napětí napříč kompozitem, a tudíž přestávají plnit svou vyztužovací funkci. Vláknem se sice neporuší bez ohledu na zatěžovací napětí, veškeré napětí přebírá často slabší matrice a lom kompozitu nastává po porušení matrice či rozhraní. Kompozit jako takový se pak stává prakticky bezcenný.

3.1.2 MODUL PRUŽNOSTI A PEVNOSTI

Podélný a příčný modul jednosměrných kompozitů lze analyticky snadno vyjádřit pomocí rovnice Halpin-Tsai. Ta lze použít i pro výpočet modulu usměrněných krátkovláknových kompozitů. Příčný modul usměrněných krátkovláknových kompozitů není ovlivněn poměrem l/d , má stejnou hodnotu jako u dlouhých vláken. U kompozitů s náhodně orientovanými vlákny je určení vlastností v různých směrech složitější. Lze použít empirickou rovnici pro náhodně orientovaná vlákna v rovině [12].

$$E_N = \frac{3}{8} E_L + \frac{5}{8} E_T$$

E_N je modul kompozitu, E_L je podélný modul a E_T je příčný modul. E_L a E_T mohou být zjištěny buď experimentálně nebo výpočtem. Zde je nutno zachovat stejné podmínky jako je parametr l/d a objemový podíl počítaného kompozitu. S rostoucím obsahem vláken roste tuhost kompozitu, ale víceosá napjatost roste nevýrazně, odpovídá tuhosti ve směru nejmenší tuhosti (příčné), nikoliv střední hodnotě modulů E ve směru příčném a podélném [13]. Se zvyšující se pevností na rozhraní roste i tuhost v kolmém směru (tedy i víceosá napjatost), ale nijak se nezvýší v podélném směru, pravděpodobně díky menším skutečným přenosovým délkám vláken. Proto je výhodné rovnoměrné rozdělení orientace vláken, získá se tím vyšší tuhost vůči rázovému namáhání.

V souladu s tuhostí pevnost v podélném směru bývá vyšší než v příčném. Dále závisí na pevnosti rozhraní, v případně silnější vazby na rozhraní se projevuje větší vyztužovací účinek díky zkracující se l_k . U slabého rozhraní se pevnost s obsahem nadkritických vláken téměř nemění. V příčném směru je pevnost dokonce menší než u samotné matrice, protože příčná vlákna nevyztužují a navíc svým vrubovým účinkem zeslabují matrici. Se snižující teplotou roste pevnost kompozitu, zde je patrný vliv matrice.

3.1.3 LOMOVÁ HOUŽEVNATOST, ÚNAVA, RÁZ

Vyztužovací mechanismus u krátkých vláken je odlišný než u vláken dlouhých. Zvýšení pevnosti je dosahováno jak rozdělením zatížení mezi vlákna a matrici, tak i omezením přetváření matrice mezi vlákny. Kdybychom chtěli srovnat obě skupiny kompozitů dle účelu použití, pak:

- dlouhovláknové (spojité) kompozity jsou lehké, vysoce pevné konstrukční materiály, plně konkurenceschopné v soutěži s konvenčními materiály, často i lepší.
- krátkovláknové kompozity jsou spíše chápány jako zesílené náhrady plastů, proto často srovnávány s nevyztuženými plasty nebo kovy na vstřikování apod. V některých případech jsou schopny konkurovat konvenčním materiálům pro konstrukční účely.

Pravděpodobné mechanismy způsobující houževnaté chování jsou: vytahování vláken z matrice pod napětím a případně štěpení matrice podél vláken.

V místě trhliny, tam kde je působící napětí největší, se vlákno během otvírání trhliny napíná, klouže podél matrice a tím koná práci. Po porušení se vlákno může stáhnout zpět do matrice, uvolní se dosud uchovaná elastická energie. Některá vlákna jsou schopna se oddělit od matrice v blízkosti čela trhliny. Po separaci, musí napětí zůstat konstantní podél vlákna, pak se vlákno poruší v místě nedokonalosti a vytáhne se. To pak redukuje průměrné napětí ve fragmentu, ten pak může disipovat větší množstvím energie během vytahování [14].

Uvolňování vláken může právě houževnatost zlepšit.

V případě štěpení podél vlákna se redukuje napěťová koncentrace na špičce trhliny a tím silně inhibuje další šíření trhliny. Nevýhodou materiálů náchylných ke štěpení jsou špatné vlastnosti ve smyku.

3.1.3.1 Stanovení lomové houževnatosti

Ke stanovení se používá více koncepcí, základní výběr je podle chování tělesa s trhlinou [15]:

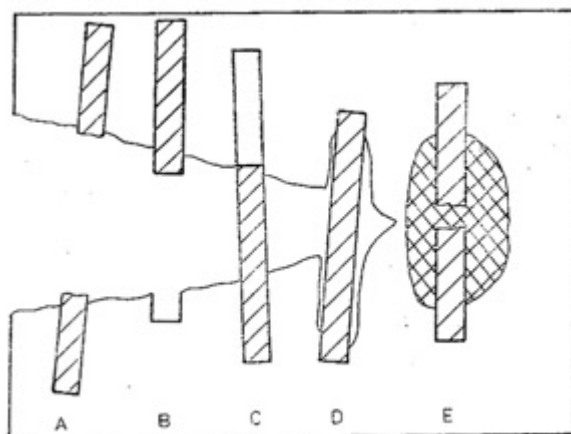
1. koncepce LEFM – předpokládá se, že materiál se chová lineárně elasticky až do lomu, nemůže být aplikována pro příliš malé vzorky, neboť vyžaduje, aby deformační zóna u čela trhliny byla mnohem menší než délka trhliny a rozměry vzorku.
2. koncepce elastoplastické lomové mechaniky FBM – předpokládá se, že v kořeni trhliny vzniká nezanedbatelná plastická zóna. Též se používá na určení kritérií selhání pro elastoplastické chování před vznikem lomu. Podobně lze použít koncept „bridging-law“³² (definován v kapitole o kompozitech s termosetickou matricí).
3. koncepce COD (u houževnatého materiálu) – šíření trhliny je kontrolováno kritickou plastickou deformací v kořeni trhliny. Měřítkem je otevření v kořeni trhliny CTOD (σ).

4. koncepce J-integrálu (rozšířený FBM). J-integrál je křivkový integrál nezávislý na integrační cestě, která je uzavřená kolem kořene trhliny. Růst trhliny nastane tehdy, jestliže hodnota J-integrálu pro daný materiál přesáhne kritickou hodnotu. Často se používá jednoduchého vztahu [15]:

$$J = 1/B \cdot (dU/da)$$

B – tloušťka tělesa, dU – změna deformační práce, da – změna délky trhliny

5. R-křivky (u vysoce houževnatých materiálů) – na stanovení odporu materiálu proti šíření trhliny. Zde se používají parametry J, případně σ v závislosti na prodloužení trhliny.
6. $J_i - T_j - J_i$ je kritická hodnota J-integrálu a T_j modul trhání. Dle této koncepce vzniká stabilní růst trhliny tehdy, jestliže přebytek disipované energie v plastické zóně je kompenzována růstem trhliny. Je to vlastně citlivý indikátor změny houževnatosti u mnoha materiálů. Na Obr. 2 [15] jsou uvedeny mechanismy selhání u kompozitů s krátkými vlákny.



Obr. 2.: Mechanismy selhání u kompozitů s krátkými vlákny. A – lom vlákna, B – trhlina obcházející vlákno, C – vytahování, D – odtrhávání, E – plastická deformace a selhání matrice.

Většina plastů při běžných rychlostech zkoušky a normální teploty se chová víceméně houževnatě. V závislosti na provozních podmínkách se i houževnaté plasty mohou porušit křehkým způsobem, proto je nutno stanovit K_{ic} , popř. dynamické K_{icd} . Pro křehké materiály jsou známy vztahy, které dávají kompatibilitu obou kritérií. U kvazikřehkých a houževnatých materiálů není kompatibilita zaručena ani u homogenních materiálů. Přesto dříve uvedené metody (vruby, K_{ic} , J-integrál) lze použít pro hodnocení soustav termoplast-plnivo. Kompatibilitnost jednotlivých kritérií je diskutabilní, někde je závislost na geometrii, někde se musí splnit podmínky pro např. rovinnou deformaci apod. Houževnatost závisí na podmínkách měření, tedy i na velikosti vzorku, především jeho tloušťce – malé vzorky vykazují houževnatější chování, i když takové nejsou, než přirozeně křehké velké vzorky [16]. Proto je nutno závěry ze záznamů vyvozovat opatrně.

4. WHISKERY, DESTIČKY (PARTICULATES), NANOTUBES

Whiskery a destičky spadají do skupiny diskontinuální výztuží. Od nich se odlišují především tím, že to jsou monokrystaly, na rozdíl od jinak polykrystalických vláken a částic. Vykazují výborné mechanické vlastnosti, ve srovnání s částicemi. Díky své monokrystalické struktuře nejsou hranice mezi zrny, z čehož vyplývá:

- malá defektnost
- lepší creepová odolnost
- vyšší teplotní kapacita
- teoretická pevnost je v blízké shodě s pevností v praxi.

4.1 WHISKERY

Whiskery obvykle dosahují rozměrů 0,01-10 μm , mají velký povrch, často mají nekruhový průřez – tvar bývá dle konkrétní krystalické struktury, může být trojúhelníkový, šestiúhelníkový, rhombický i jiného tvaru. Průměr monokrystalu je definován jako odmocnina plochy nekruhového průřezu. Tvar whiskeru ovlivňuje mezifázovou oblast, což má vliv na fyzikální a mechanické vlastnosti kompozitu. I u whiskeru se udává aspektní poměr. Obvykle dosahují poměru více než 10, stejně jako u destiček.

Whiskery mohou v kompozitu existovat jako samotná výztuž nebo se používá v kombinaci s vlákny, nejvíce na zlepšení houževnatosti. Nečastější mechanismy porušení jsou: vytažení whiskerů z matrice a vytváření můstků. Nedávné výzkumy objevily, že whiskery mohou fungovat jako dokonce supervodivé plnivo [3]. Výroba whiskerů bohužel se potýká s potížemi. Často je riskantní pro zdraví, další potíž je v dosažení rovnoměrné distribuce, proto probíhají výzkumy na syntézu whiskerů in-situ [3].

Whiskerů existuje mnoho druhů, zde jsou uvedeny jen nejznámější, či nejvíce používané [3]:

C-whiskery

Mají nejvyšší specifickou pevnost a modul E mezi ostatními existujícími výztužemi. Vyznačují se též vysokou elektrickou vodivostí, nevodivý polymer se po přidání C-whiskerů stane vodivým až dokonce supervodivým. Jeden ze způsobů výroby C-whiskerů je depozice par obsahující C_2H_4 , s katalyzátorem Cu-Ni při 400-330°C. Stupeň grafítizace stoupá s teplotou, při 330°C má whisker lepší vlastnosti jako např. větší průměr, větší aspektní poměr, je méně zkroucen než při grafítizaci při 400°C.

Keramické whiskery

Existují ve více krystalických formách, často se používají do keramických maticí, např.. SiC. Jako další příklad lze uvést Si₃N₄.

Al, mullite whiskers

Vyznačují se nízkou tepelnou vodivostí, používají se tedy jako izolátory tepla.

Ti whiskery

Používají se na bílou oxidovou keramiku, do hliníkových maticí. Např. TiC, TiN whiskery.

Další whiskery mohou být Al-B whiskery, nebo SiO₂ whiskery – jsou amorfní, pro polymerní matrice. Mají vysokou vyztužovací schopnost díky jejich extrémně vysoké pevnosti vzhledem k jejich velikosti .

4.2 VLOČKY A DESTIČKY

Jejich výhodou je jejich velmi hladký povrch, neorientují se ve směru toku jako whiskery. Jsou méně anizotropické než whiskery, kompozity z nich mají nižší tendenci k deformaci než kompozity s whiskery. Také umožňují dosáhnout relativně vyššího objemového podílu u keramické matrice, díky nižšímu útlumu zhutňování matrice. V keramických maticích existuje několik mechanismů efektu zhouževnatění – jako je uvolnění vazby mezi maticí a whiskery, odklon trhliny, prasknutí můstků a vytažení výztuže. Všechny mechanismy mohou existovat v různé míře, závisí na aspektním poměru a morfologii vyztužující fáze a v neposlední řadě i na vlastnostech mezifáze.

Do polymerních maticí se nejčastěji používají slídové vločky jako levná a přitom výborná výztuž. Zvláště efektní je v polárních termoplastech, ale taky je účinná v nepolárních termoplastech a v termosetech. Může zaujmout až 80% objemového podílu. Slídové vločky mívají vrstevnatou strukturu, vyznačují se vysokou pevností a tuhostí, tepelnou vodivostí, nízkým koeficientem teplotní roztažnosti, dobrou teplotní a chemickou odolností, nízkým koeficientem tření, výbornou dielektrickou konstantou [3].

Van der Waalovy síly mezi vrstvami jsou slabé, proto se destičky snadno štěpí na tenké ohebné plátky (vlastně se tím odlišují od ostatních silikátů), štěpením podél tenkého plátku vznikají právě slídové vločky.

4.3 NANOTUBES [17]

Podobně jako whiskery, jsou také acikulární monokrystaly s vysokým aspektním poměrem, mají málo defektů. Jejich vlastní pevnost nebývá nižší než nejvyšší pevnosti a moduly u ostatních existujících whiskerů.

Uhlíkové nanotuby

Vyznačují se vynikajícími mechanickými vlastnostmi, jejich nevýhodou mohou být problémy při výrobě. Mají slabou adhezi k matrici, nízký frikční koeficient. Slabší adheze k matrici je spíše výhodou u houževnatění kompozitu, při porušování se spotřebuje více energie. Délka nanotub musí být delší než kritická, podobně jako u krátkých vláken. Jejich většímu rozšíření zatím brání jejich vyšší cena, vyřešení technologie produkce výrobků s vysokou čistotou a možná, v poslední době diskutovaná, toxicita [18, 19, 20, 21].

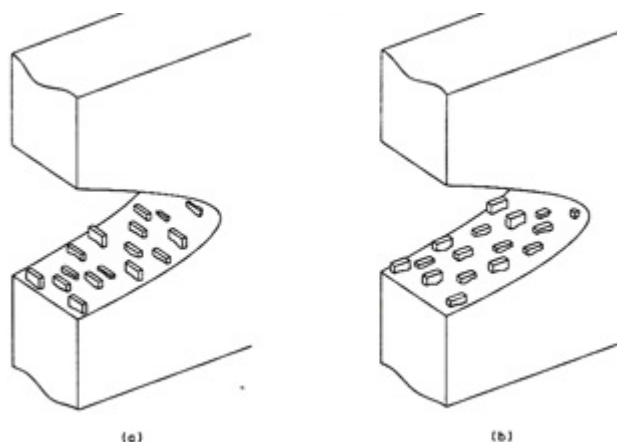
5. KOMPOZITY VYZTUŽENÉ PÁSKAMI

Zde je jako výztuž páska, kterou můžeme chápat jako vlákno s pravoúhlým průřezem, kde šířka je mnohem větší než tloušťka. Z jiného pohledu je můžeme zařadit mezi destičky. Dle tvaru a způsobu uspořádání výztuže můžeme kompozity z nich rozdělit do dvou skupin [14]:

- S pravoúhlými, příp. čtvercovými destičkami – můžou mít pravidelné, či nepravidelné uspořádání, dále symetricky či nesymetricky rozložené.. Nutno upozornit, že nelze zaměňovat pojmy pravidelné a symetrické uspořádání. Existuje uspořádání, které je pravidelné, ale přitom nesymetrické. Závisí na způsobu, jak jsou uspořádány překrývající konce pásek/destiček a velikost jejich překrývání, zda je všude stejná, či ne. Z toho pak vyplývá jejich symetrie a také rozložení napětí v jednotlivých částech výztuže. Jejich aspektní poměr se vyjadřuje poměrem délky strany destičky ku tloušťce.
- Kruhové destičky s nepravidelným uspořádáním anebo s pravidelným, jak v lineárním uspořádání, tak v hexagonálním uspořádání. Jejich aspektní poměr se vyjadřuje poměrem průměru kruhu ku tloušťce.

U různých způsobů kladení výztuže bývá různě složitě rozložené napětí ve výztuži, z toho vyplývající chování při zátěži, více v lit. [14].

Kompozity vyztužené páskami vykazují vysokou pevnost a tuhost ve 2 směrech v rovině kompozitu. Jsou téměř izotropní v rovině desky. Vykazují velkou odolnost vůči proražení ostrými předměty, zároveň vykazují sníženou propustnost plynů a kapalin ve srovnání s polymery, kompozity. Pásky mohou být orientovány buď napříč k směru šíření trhliny nebo podél směru šíření trhliny, viz Obr. 3 [14].



Obr.3.: Destičky orientované napříč (a) a paralelně (b) vůči směru šíření trhliny.

Aby kompozit vyztužený páskami vykazoval vysokou pevnost, musí být při jeho přípravě dodrženy určité postupy [12]:

- pásky musí mít dobrou adhezi k matrici, jinak rapidně klesá pevnost s koncentrací pásek
- matrice musí být houževnatá s vysokým mezním přetvořením
- je nutno zajistit pravidelné uspořádání, plochy jejich překrývání musí být nad kritickou hodnotou, což je technologicky náročné
- v kompozitu by se neměly vyskytovat téměř žádné bubliny a místa se špatnou adhezí.

Pro zlepšení houževnatosti se osvědčily 2 konfigurace destiček ve vztahu ke směru čela trhliny [14]:

- kolmo k laminátům – šíření v jinak poměrně tvrdém kompozitu inhibováno jednotlivými měkkými vrstvami laminátů.
- paralelně s laminátem – lamináty mají tendenci se rozdělovat přímo před trhlinou, tím se redukuje napěťová koncentrace a způsobí odchýlení trhliny.

6. DEFORMACE A LOMOVÉ MECHANISMY U KOMPOZITŮ S TERMOSETICKOU PRYSKYŘICÍ

Zatím jsme se zabývali, v obecném smyslu, chováním buď kompozitů s oběma typy matric (termoplastická, termosetická) nebo jen s termoplastickou matricí. Dosud bylo provedeno poměrně málo studií výlučně zaměřených na krátkovláknité kompozity s termosetickou matricí [22]. Termosety se díky své síťované struktuře, chovají odlišně od semikrystalických termoplastů, vykazují jiné deformační chování a uplatňují se u nich ve větší míře jiné lomové mechanismy. Obecně - tuhost, pevnost a houževnatost u termosetických matricí souvisí se stupněm vytvrzení (síťování). Zcela zesíťované matrice bývají poměrně tuhé a křehké. V předchozích kapitolách uvedené deformační a lomové mechanismy pro kompozity s křehkou matricí jsou v podstatě mechanismy platné i pro kompozity s termosetickou matricí. Zde převládají dva deformační mechanismy [4] – porušení vazby mezi matricí a částicemi a postupný vznik smykových pásů v mikroobjemu matrice. Dále podle citlivosti matrice na šířící se trhlinu může převládnout některý ze tří níže uvedených mechanismů [4]:

- pouhé porušení vazby vedoucí ke křehkému lomu, nejčastěji za nízké teploty,
- omezené porušování vazby před počátkem šíření trhliny, spojené s částečným poškozením matrice v objemu, převážně za středních teplot. Často je zde evidentní souvislost mezi intenzitou napětí a rychlostí šíření trhliny – z toho lze zhruba odhadnout životnost vzorku. Na lomové ploše vzorku po zkouškách se vyskytují poměrně hladké lomové zóny.
- za vyšších teplot, matrice je méně křehká, vznikají rozsáhlé deformace v objemu matrice před šířením trhliny. Vlastní šíření trhliny je způsobeno propojováním dutin, díky nim je umožněno matrici se dále plasticky deformovat postupnými smykovými mechanismy v mikroobjemu. Lomové plochy již porušených vzorků jsou hrubé.

Při namáhání v tlaku [4] jsou pozorovány smykové pásy v matici, porušení vazby mezi plnivem a maticí, porušení částic vedoucí k lomu částic, mikrotrhlíky v matici podél zóny porušených vazeb. Často jsou to nenávratné změny objemu těsně před mezí kluzu. Pod působením zatížení se většina plněných síťovaných termosetů a tuhých termoplastů poruší křehce před mezí kluzu. Porušení nastává po objevení, případně aktivování kritického defektu. Kritéria pro odhad síly, vedoucí ke křehkému porušení jsou [4]:

- napětí v matici ve směru působící síly
 - o v případě dobré adheze plniva k matici – napětí kompozitu i matrice většinou klesá s rostoucím obsahem a průměrnou velikostí částic
 - o pro případ špatné adheze – napětí se přenáší přes síťované pojivo kolmo na hlavní směr působícího síly.
- základní trhliny – velikost trhlín závisí na heterogenitách jako jsou velikost částic, špatně vázané slabé částice, trhliny vzniklé během procesu zpracování.

6.1 VLIV ČÁSTIC NA KIC TERMOSETICKÝCH PRYSKYŘIC [4]

Dobře vázané částice ovlivňují makroskopický lom a tím i často Kic. Pro mnoho systémů platí, že s rostoucím objemovým podílem částic roste i Kic, neplatí to ale vždy. Termosety s vláknitými plnivými mívají lepší Kic než s kuličkovými plnivými. V případě „slabých“ částic je Kic limitováno samotným porušením částic.

Pro stanovení lomových charakteristik u krátkovláknových kompozitů lze aplikovat „crack-bridging“ koncept, který kombinuje fyzikální popis poškození a chování makroskopického materiálu. Podstatnou část určuje tzv. bridging-law [23] – popisuje lomové chování materiálu v poškozené „přemostěné“ zóně, která u polymerních kompozitů bývá často rozsáhlá, ve smyslu velikosti porušovacího napětí jako funkce otevírání trhlíny. Také hledá spojitost mezi makroskopickým lomovým chováním a lomovými mikromechanismy pomocí tzv. law-bridging parametrů. Důležité jsou většinou tři, a to [24, 25]: maximální lokální napětí pro odtržení/síla σ_0 , maximální třecí síla τ a maximální posun/rozevření trhlíny δ_0 , kdy vlákna přestávají přenášet zátěž. Dle průběhu pull-out lze „bridging-law“ rozšířit na 4 parametry (např. σ_1 , σ_2 a δ_1 , δ_2) [24] nebo je zúžit na dva - σ a δ [25]).

S pomocí tohoto zákona v souvislosti s analýzou napětí lze určit mechanické vlastnosti závislé na geometrii, jako jsou pevnost, houževnatost, vrubová houževnatost apod. V popředí zájmu jsou dva typy použití „bridging-law“:

- zjednodušené, s několika parametry pro aplikace strukturního designu, aby se dosahovalo požadovaného lomového chování [26]
- podrobné pro mikromechanické studie.

6.2.1 LOMOVÁ ENERGIE

U krátkovláknových kompozitů, v některých případech K_c nebo G_c závisí na délce trhliny. Hodnoty s indexem c patří ke kritické hodnotě faktoru intensity napětí tedy lomové houževnatosti, což je materiálová konstanta. Pokud tedy je tato hodnota závislá na délce trhliny, tak zvolený vzorek neodpovídá podmínkám pro stanovení lomové houževnatosti, pak to nemůže být materiálová vlastnost. Lze se tomu vyhnout použitím dostatečně velkých vzorků.

S rostoucí trhlinou roste i velikost přemostěné zóny a otevírání trhliny, a tím i G do určitého bodu, kde dosáhne podmínky tzv. ustáleného stavu G_c . Ta je závislá na délce trhliny a tím i na V_f . S rostoucím V_f roste i napětí do porušení a G_c , poměrně úměrně. Mechanismus porušování je závislý na délce vláken. U velmi krátkých vláken (ale nad l_k) je dominantní vytahování vláken z matrice (pull-out), v řádu mm, se širší poškozenou zónou než u delších vláken, protože se trhlina více odchyluje od „vytyčené cesty“, vlákna se průběžně vytahují během otevírání trhliny, to se projeví na spojitosti závislosti G vs. otevírání trhliny. Dá se říci, že průběh pull-outu je v cca 3 etapách [24, 25]:

- elastic bonding- s rostoucím posunutím prudce vzroste odtrhovací síla až do vrcholu, kde nastává
- unstable debonding – s prudkým poklesem za současně malého posunutí
- frictional sliding – zde napětí pozvolna klesá až na nulu, přitom dochází k velkému posunutí trhliny, projeví se počáteční účinek vazby a tření na rozhraní.

Zjednodušeně řečeno, nejprve dojde k úplnému odtržení vazby na rozhraní a až pak k vytahování vláken. Bylo zjištěno, že se přednostně více vytahují vlákna z jedné strany matrice/laminátu, nejspíš díky dřívějšímu poklesu energie právě na této straně [24]. U delších vláken dochází k podstatně většímu množství porušování vláken, křivka vykazuje nespojitosti. Pokud jsou srovnávány dva vzorky o různé geometrii, G_c nemusí být stejné, už jen kvůli odlišným směrům vychýlení vláken z matrice. Díky odlišným lomovým mechanismům může být napětí do porušení vyšší než příslušná jednoosá pevnost.

6.2.1.1 Vliv délky vláken

S větším V_f klesá vliv modulu matrice, proto Youngův modul laminátu není citlivý na jednotlivé moduly matric. U kompozitů s:

- krátkými vlákny nebyl zjištěn podstatný rozdíl mezi houževnatou a křehkou maticí v pevnosti a napětí do porušení.
- u delších vláken, kompozit s houževnatou maticí vykazoval vyšší pevnost a napětí do porušení než u kompozitu s křehkou maticí.

Lomová energie u pull-outu i frakce sice stoupá s délkou vlákna, ale od určité délky prudce se zvýší energetická náročnost pull-out mechanismu natolik, že se začne postupně zvyšovat podíl mechanismu frakce vláken vyžadující přece jen menší energii, na úkor vytahování vláken (pull-out). Proto, i když je u delších vláken vyšší napětí do porušení, tak délka vlákna by neměla být o moc delší než přibližně dvojnásobek kritické délky, jinak se počne měnit mechanismus porušování. Optimální délka vláken, je délka, kdy je ještě maximální pull-out mechanismus za nejvyššího možného napětí, na křivce symkový modul vs. délka vláken je v tom místě vrchol. Lomová energie má ještě souvislost s vrubovou citlivostí [27], ta závisí na řádové velikosti vrubu. Vrubová citlivost se výrazněji projeví, když je vrubová pevnost změřená na tělese s vrubem asi menší než 85% pevnosti nevrubové. Vrubová citlivost závisí na délce vláken a na druhu matrice, s rostoucí délkou vláken a houževnatostí matrice se vrubová citlivost poněkud zvyšuje, také i velikost poškozené zóny.

Toto byl sice zjednodušený model pro kompozity s křehkou matricí, v reálných polymerech mohou probíhat i jiné mechanismy porušování. Nicméně mechanismus vytahování vláken bývá převládající. Celkově lze zhruba shrnout, že na „bridging“ (přemostění) a smykový modul mají vliv strukturní parametry jako jsou:

- objemový podíl V_f
- délka vláken
- průměr vláken
- mezifázové smykové napětí při vytahování vláken
- kritická délka vláken l_k (ta je ovlivněná konkrétní matricí).

Nutno poznamenat, že při působení mechanismu pull-out se vlákna vytahují po svazcích, zřídka jednotlivě. V tom případě se posuzuje nikoliv vliv délky (aspektivní poměr) jednotlivých vláken, ale aspektivní poměr svazku [22].

6.2.2 ÚNAVA

Při dlouhodobé cyklické zátěži dochází k materiálové únavě, ta se projevuje snížením mechanických vlastností, např. modulů. Nebo také náhlým katastrofickým únavovým lomem. Únavové selhání se projeví, když zbytková pevnost je rovna maximálnímu aplikovanému napětí. Ten nastává zejména u křehkých materiálů. Termosetické matrice kompozitů bývají většinou křehké, a proto je snaha předejít náhlému únavovému lomu. Do určité míry se tento nepříznivý jev dá zmírnit přidávkem flexibiliseru do matrice [28].

Přidávkem optimálního množství flexibiliseru, kdy se začne projevovat houževnatost matrice, se zvýší napětí před přetržením, pevnost v tahu nabývá maxima a sníží se elastický modul. Někdy se projeví prodlužování před přetržením, v řádu několika %.

Předpokládá se, že zvýšením napětí do porušení se může odsouvat, či „ztratit“ nepříznivý únavový efekt. Bylo ale zjištěno, že výhoda

houževnatějších matric mizí po dlouhé době zatížení (vysokém počtu zatěžovacích cyklů). Pravděpodobně je to „slabým“ odporem matric proti únavovému selhání. Bylo ale zjištěno, že se tím poněkud také může zkrátit životnost kompozitu (snížení počtu únavových cyklů před selháním) [29]. K tomuto tématu je třeba provést více studií [22]. V literatuře [28] se vyskytla informace, že křehké matrice dokonce zaručují lepší únavové vlastnosti. Proto v otázce životnosti kompozitu hraje matrice důležitou roli. Hlavním faktorem ovlivňující únavové chování je druh vyztužujících vláken [22]. Menší únavovou citlivost vykazovalo použití vláken s vyšším modulem. Např. kompozity se skleněnými vlákny, nebo Kevlarem 49 vykazují progresivní degradaci se zvyšujícím počtem cyklů a kompozity s uhlíkovými vlákny jsou poměrně stabilní po většinu doby své životnosti a pak najednou podlehnou náhlému únavovému lomu [29]. Chování krátkovláknitých kompozitů při únavě je podobné chování svých protějšků s kontinuálními vlákny [22, 29].

7. SHRNUÍ O KOMPOZITECH S DISKONTINUÁLNÍ VÝZTUŽÍ

Není vůbec jednoduché vyrobit ideální kompozit, respektive kompozit naprosto vyhovující všem náročným požadavkům na mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti. Zlepšení jednoho parametru mechanických vlastností často vede k zhoršení jiného. Proto výsledný kompozit je dílem kompromisu se zaměřením na určitou skupinu mechanických vlastností, které nejvíce vyžadujeme. Přesto nespočetné výhody převažují nad nevýhodami a jsou právoplatně smělou konkurencí k převážně jednosložkovým, často izotropním materiálům v řadě oblastí aplikací od průmyslu až po medicínu.

Hlavní výhody diskontinuálních plniv, jako jsou whiskery, částice různého tvaru, destičky, vločky a krátká vlákna, nad kontinuálními vlákny spočívají v tom, že:

- jsou často a také podstatně levnější (kromě whiskerů)
- umožňují použití obvyklých technologií zpracování (vstřikování, odlévání, práškové procesy, případně depozice par.).
- umožňují více možností modifikace parametrů výztuže a matrice, tím i ovlivnění výsledných vlastností kompozitů.

V polymerních maticích jsou nejčastěji používány minerální výztuže jako jsou vločky, destičky, částice – jsou to nejlevnější výztuže vůbec a při výrobě kompozitu je možno dosáhnout izotropních vlastností. V keramické a kovové matici zase destičky a whiskery – ty mají výborné specifické vlastnosti a vydrží vyšší teplotu než vlákna.

8. TECHNOLOGIE VÝROBY KOMPOZITŮ

V současné době se dle účelu dalšího použití nejčastěji používají tyto způsoby:

- RRIM – hlavně PUR matric, suspenze s nasekanými výztužnými vlákny je vstřikována do uzavřené formy.
- IM – vstřikování suspenze taveniny termoplastu (termosetu) a krátkých vláken nebo částic do uzavřené formy.
- SMC(R) – lisování prepregu s vlákny v podobě měkké a ohebné desky.
- Stříkání – na otevřenou formu se stříká směs katalyzované pryskyřice a krátkých vláken.
- Kontinuální laminování – na vrstvičku pryskyřice se sypou nasekaná vlákna, pak se vrstva tvaruje.
- Rotační odlévání – na výrobu potrubí, do ocelové trubkové formy je vlévána směs pryskyřice a sekaných vláken.
- Pultruze – u nahodile uspořádaných vláken
- Extruze – pro částicovou i krátkovláknovou výztuž, Vf 10-30%.
- Tlakové vstřikování – několik způsobů: SMC (plocha), BMC (v objemu), GMT (skleněná rohož + termoplast); nahodile uspořádaná krátkovláknová výztuž
- Tepelné formování – hlavně laminátů.

9. ČÁSTICOVÉ BIOKOMPOZITY

Z částicových výztuží jsou v biomedicínkách aplikací nejrozšířenější Al_2O_3 , SiO_2 , skla a bioaktivní skla, hydroxyapatit (HAp), obecně hlavně keramické částice.

9.1 HYDROXYAPATIT (HA, HAp) [30, 31]

Bioaktivní keramický materiál (zejména s tvrdými tkáněmi, také s kůží a svaly). Je schopen vytvářet přímé vazby s kostí. Bohužel má poměrně slabé mechanické vlastnosti, proto se jeho aplikace omezují na použití do nepříliš namáhaných aplikací. Vyskytuje se ve více formách.

9.1.1 ČISTÝ HAp

Vykazuje Kic menší než 1, což je méně než kost, z toho také vyplývá malá mechanická spolehlivost. Dále ohybová pevnost cca 200-1000 MPa, dle podmínek měření.

Lze připravit dvěma hlavními způsoby:

- mokrou cestou – srážením, hydrotermální technikou, hydrolyzou kalcium fosfátu
- reakcemi v pevném stavu – sintrováním.

9.1.2 HAp KERAMICKÉ KOMPOZITY

Keramické kompozity na bázi HApu mohou mít několik druhů výztuží – částice, destičky, whiskery, nanočástice, vlákna. V závislosti na druhu výztuže se dosahuje K_{IC} 1,4 – 3,9 u kovových vláken až přes 7 MPa.m^{1/2}. Výztuž v HAp kompozitech sice zvyšuje pevnost a houževnatost, avšak přidáním „cizího“ materiálu do HAp matrice může dojít k poklesu biokompatibility. Příměsi mohou také podporovat rozklad HAp na TCP vedoucí ke zvýšení biodegradability. Problematické je také zvyšování modulu přidáváním tužší výztuže. Hlavní výhodou keramických kompozitů je dobrá korozní odolnost, otěruvzdornost a minimální tkáňové reakce, nevýhodou je jejich obtížná příprava. Příkladem HAp keramických kompozitů jsou např. HAp/CaSO₄ nebo HAp/TCP [30].

9.1.3 HAp KOMPOZITY A BIOAKTIVNÍM SKLEM

Kombinace HApu s bioaktivním sklem vede ke zlepšení mechanických vlastností bez změny degradability a bez snížení bioaktivity. Nejčastěji se používají pro méně namáhané aplikace.

- bioaktivní sklokeramika – vzniká krystalizací z HAp a/nebo ostatních krystalických fází ze sklovité matrice za tepla. Vykazují vyšší pevnost než čistý HAp jak in vivo, tak i in vitro. K_{IC} je v rozmezí 1 – 2,6 MPa.m^{1/2} a pevnost dosahuje 100 – 200 MPa. Dají se připravit jednoduchou sintrací, reakce mezi HAp a sklem závisí na teplotě a složení skla.
- HAp keramika s malým množstvím skla – na zlepšení hustoty, pevnosti a/nebo mechanických vlastností. K_{IC} je v rozmezí 1,3 – 1,7. Bohužel přidání bioaktivního skla podporuje rozklad HAp a vznik TCP.

9.1.4 HAp/POLYMER KOMPOZITY

Používají se na zlepšení spolehlivosti, snížení tuhosti. HAp prášek může při nízkých V_f vyztužovat polymer. HAp s polymerní matricí bohužel vykazuje nižší mechanické vlastnosti než lidská kost, proto jejich aplikace se omezují do nepříliš namáhaných částí, jako je např. spodina očníce.

Dále jsou známy např.

- HAp/PE – s rostoucím obsahem HAp roste Youngův modul (1 – 8 MPa) a bioaktivita, naopak klesá houževnatost. Nejlepší lomové houževnatosti bylo dosaženo s HAp pod 40% a v rozmezí 45-50% [30]. Bohužel nejsou biodegradabilní, přítomnost bioinertního PE snižuje schopnost vazby s kostí.
- HAp/kolagen – podobné složení jako kosti, ale už ne s tak komplexní mikrostrukturou. Stále vykazuje slabé mechanické vlastnosti, ale vyšší osteokonduktivitu než samotný HAp nebo kolagen. Proto jsou považovány za efektivní výplně do větších defektů.

- HAp/poly(L-laktid) – některé mechanické vlastnosti zčásti se překrývající s mechanickými vlastnostmi kostí. Překážkou v jejich rozšíření jsou toxické účinky objevené u některých produktů biodegradace a tření [30].

9.2 KALCIUM FOSFÁT (CP) [32, 33]

TCP (trikalcium fosfát) je stechiometricky podobný amorfnímu biologickému prekursoru kosti. Žádný z uměle připravených CP neexistuje v přírodě, ale i tyto vykazují srovnatelné biologické chování [33]. Na rozdíl od HAp je TCP více degradabilní. Největší problém při výrobě je kontrola pórovitosti (vliv na vrůstání kostní tkáně).

Mechanické vlastnosti CP závisí na:

- vhodné hustotě – nemůže se zvýšit nad mez kvůli pórům; struktury s vyšší hustotou a krystalizací mají sice větší pevnost, ale podléhají pomalejší resorpci.
- vlastnostech základních materiálů - je nutno, aby byly biokompatibilní a bioresorbovatelné.
- architektuře uspořádání struktury – úpravou se dají jednoduše změnit mechanické vlastnosti, hlavně pevnost a nezávisle odolnost vůči defektům.

9.2.1 KOMPOZITY S CP JAKO MATRICÍ

V tomto případě se jako výztuž používají houževnaté kovy (Al_2O_3 , CoCr slitiny, Ag, Ti, nerez ocel). V částicové formě zlepšují pevnost a houževnatost až o 50% oproti monolitickým materiálům. I použitím křehké výztuže (např. ZrO_2 částice) vzroste pevnost až nad 500 MPa a houževnatost až 2,7 MPa.m^{1/2}, což jsou vyšší hodnoty než s použitím SiC whiskerů. Nutno připomenout, že zlepšení pevnosti a houževnatosti pomocí takové výztuže, vždy nevede ke zvýšení životnosti. Také musíme vzít v úvahu možné reakce s okolní tkání a narušováním osteogeneze (tvorby kostní tkáně).

10. POUŽITÉ SYMBOLY A ZKRATKY

τ	smykové napětí
σ	napětí
η	viskozita
σ_E	mez pružnosti (mez úměrnosti, mez elasticity)
σ_k	mez kluzu
σ_D	mez pevnosti
a	délka trhliny
a_0	počáteční délka trhliny
d	průměr vlákna
E	modul v tahu (Youngův modul)
E_f	Youngův modul vláken
E_m	Youngův modul matrice
G	modul ve smyku
G_c	kritický modul ve smyku
J_I	kritická hodnota J-integrálu
K_c	kritická hodnota lomové houževnatosti
K_{Ic}	kritická hodnota lomové houževnatosti
K_{Icd}	dynamická kritická lomová houževnatost
K_{Iq}	kvazidynamická lomová houževnatost
l	délka vlákna
l_y, l_c	kritická délka vlákna
T_g	teplota zesílnění
T_f	modul trhání
V_f	objemový podíl vláken
$V_{f,krit.}$	kritický objemový podíl vláken
W	deformační práce

CP	Kalcium fosfát
CPC	Kalcium fosfátový cement
HA, HAp	Hydroxyapatit - $Ca_5(PO_4)_3(OH)$
PA	Polyamid
PC	Polykarbonát
PE	Polyethylen
PEEK	Polyetheretherketon
PET	Polyethylentereftalát
PGA	Kyselina polyglykolová
PLLA	Kyselina poly (L – laktidová), kyselina (L-mléčná)
PMMA	Polymethylmethakrylát
PP	Polypropylen
PS	Polystyren
PTFE	Polytetrafluorethylen
PU	Polyurethan
SR	Silikonová pryž
TCP	Trikalciumpfosfát
UHMWPE	Ultravysokomolekulární polyethylen

11. LITERATURA

- [1] Jean-Marie Berthelot, Composite Materials, Mechanical Engineering Series, 1998
- [2] Richard.A.Bareš, Kompozitní materiály, SNTL Praha, 1988
- [3] Azar Parvizi-Majidi.: Whiskers and Particulates. Comprehensive Handbook of Composite Material, Volume 1 (2000); pp. 175-198.
- [4] H.H.Kausch, Ph.Béguelin.: Deformation and Fracture Mechanisms in Filled Polymers. Macromol. Symp. 2001, 142, 79-87.
- [5] Sun C.J., Safari P. at al.: Effects of particle arrangement on stress concentrations in composites.: Materials Science and Engineering A 405 (2005) 287-295.
- [6] kolektiv autorů, Polymerní kompozity, edice Macro M-18, Ústav makromolekulární chemie AV ČR, 1990
- [7] Debnath S. at al.: Interface effects on mechanical properties of particle-reinforced composites.: Dental Materials (2004) 20, 677-686.
- [8] C.J.G.Plummer, Ph.Béguelin, H.H.Kausch.: Microdeformation in core-shell particle modified polymethylmethacrylates. Colloids and Surfaces A: Physiochemical and Engineering Aspects 127 (1999) 281-296.
- [9] Nezbedová E., Poněšický J., Sova M.: Fracture toughness of filled thermoplasts at dynamical tests. Walter de Gruyter&Co, Berlin-New York 1986.
- [10] Nezbedová E., Gahleitner M., Fiebig J., Grellmann W., Seidler S., Starke J.U., Koch T.: Vícefázové PP-systémy, vztah mezi strukturou a houževnatostí. Plasty a kaučuk 34, (1997), 292.
- [11] B.Meisner, V.Zilvar, Fyzika polymerů, SNTL Praha, 1987
- [12] Bhagwan D. Agarwal, Lawrence J. Broutman, Vláknové kompozity, překlad SNTL Praha, 1987
- [13] Poněšický J., Nezbedová E.: Polypropylen s krátkými skleněnými vlákny při jednoosé a víceosé napjatosti s rázovým zatížením. Strojírenství 39 (1989), 747.
- [14] M.R.Piggott.: Load Bearing Fiber Composites. Pergamon Press 1980. ISBN 0-08-024230 tvrdé desky, ISBN 0-08-02431-6 měkké desky.
- [15] Grellmann W., Seidler S., Nezbedová E.: Lomové mechanické stanovení PP/SV pomocí R křivek. Plasty a kaučuk 27, (1990), 326.
- [16] Kristin Breder.: Toughening Mechanisms in Short Fiber and Particle Toughened Ceramics. Comprehensive Handbook of Composite Material 2000, Volume 4; pp.77-93.
- [17] J-P. Salvetat-Delmonte, A.Rubio.: Mechanical properties of carbon nanotubes: a fiber digest for beginners.: Carbon 40 (2002) 1729-1734.
- [18] Chlopek J., Czajkowska B., Szaraniec B., Frackowiak E., Szostak K., Beguin F.: In vitro studie of carbon nanotubes biocompatibility: Carbon 44 (2006) 1106-1111.
- [19] Julie Muller, Francois Huaux, Dominique Lison.: Respiratory toxicity of carbon nanotubes: How worried should we be?: Carbon 44 (2006) 1048-1056.
- [20] Hurt Robert H., Monthieux Marc, Kane Agens.: Toxikology of

carbon nanomaterials: Status, trends, and perspectives on the special issue.: Carbon 44 (2006) 1028-1033.

[21] Monteiro-Riviere Nancy A., Inman Alfred O.: Challenges for assessing carbon nanomaterial toxicity to the skin.: Carbon 44 (2006) 1070-1078.

[22] Caprino G. Fatigue in short-fibre thermoset composites. In: Harris B, editor. Fatigue in composites. Cambridge: Woodhead; 2003. p. 269-295.

[23] J.E.Lindhagen, L.A.Berglund.: Application of bridging-law concepts to short-fibre composites Part 1: DCB test procedures for bridging law and fracture energy.: Composites Science and Technology 33 (2000) 871-883.

[24] Dai, Shao-Cong and Yan, Wenyi and Liu, Hong-Yuan and Mai, Yiu-Wing (2004): Experimental study on z-pin bridging law by pullout test. Composites science and technology, 64 (16). pp. 2451-2457. ISSN 0266-3538

[25] Liu, Hong-Yuan and Yan, Wenyi and Mai, Yiu-Wing (2005): Z-pin bridging in composite laminates and some related problems. In: The Fourth Australasian Congress on Applied Mechanics, 16-18 Feb 2005, Melbourne, Australia.

[26] J.E.Lindhagen, E.K.Gamstedt, L.A.Berglund.: Application of bridging-law concepts to short-fibre composites Part 3.: Bridging law derivation from experimental crack profiles.: Composites Science and Technology 33 (2000) 2883-2894.

[27] J.E.Lindhagen, L.A.Berglund.: Application of bridging-law concepts to short-fibre composites Part 2: Notch sensitivity. Composites Science and Technology 33 (2000) 885-893.

[28] U.Prisco, G.Caprino, G.Giorleo.: Influence of flexibiliser content on the monotonic and fatigue behaviour of a polyester resin for composites.: Composites: Part A 35 (2004) 1081-1089.

[29] S.A.Hitchen, S.L.Ogin, P.A.Smith.: Effect of fibre length on fatigue of short carbon fibre/epoxy composite. Composites 26 (1995) 303-308.

[30] Suchanek W., Yoshimura M.: Processing and properties of hydroxyapatite-based biomaterials for use as hard tissue replacement implants. J.Materials Research, Vol. 13, No. 1, Jan 1998.

[31] J-L.Zhao, T.Fu, Y.Han, K-W.Xu.: Reinforcing HA thermosetting epoxy composite with 3-D carbon fiber fabric through RTM processing. Materials Letters 31 (2003) 136-141.

[32] A.Woesz at al.: Towards bone replacement from Calcium phosphates via rapid prototyping and ceramic gelcasting.: Material Science and Engineering C 25 (2005) 181-186.

[33] Vaccaro Alexander R., MD.: The role of the Osteoconductive Scaffold in Synthetic Bone Graft., Orthopedics, May 2002, Vol. 25, No.5, p. 571-577.

28. listopadu proběhl na našem ústavu tradiční podzimní workshop zaměřený na aplikace kompozitních materiálů, nové směry v jejich vývoji a použití nových materiálů jako kompozitních složek.



**Ústav struktury a mechaniky hornin AVČR a
Česká společnost pro kompozitní a uhlíkové
materiály**

Vás zvou na seminář s přednáškami

Dr. I. GOFMAN
Institute of Macromolecular Compounds, Russian
Academy of Sciences, St. Petersburg

**"Thermally Stable Polyimide Films
Modified by Hydrosilicate and Carbon
Nanoparticles of Different Morphology"**

Dr. M. GOIKHMAN
Institute of Macromolecular Compounds, Russian
Academy of Sciences, St. Petersburg

**"New Thermally Stable Heterocyclic
Polymers for Composite Materials"**

Seminář se koná
v úterý 28.11.2006 v 9,30 hod.
v posluchárně ústavu
ÚSMH AV ČR, V Holešovičkách 41, Praha 8

**THERMALLY STABLE POLYIMIDE FILMS
MODIFICATION BY HYDROSILICATE AND CARBON
NANOPARTICLES OF DIFFERENT MORPHOLOGY**

*I. Gofman**, *V. Svetlichniy**, *V. Yudin**, *A. Dobrodumov**, *A. Didenko**, *I. Abalov**, *A. Martinenko**, *E. Korytkova***, *V. Gusarov*

**

* Institute of Macromolecular Compounds of Russian Academy of Sciences, St-Petersburg, Russia

** Institute of Silicate Chemistry of Russian Academy of Sciences, St-Petersburg, Russia

gofman@imc.macro.ru

The comparative study of polyimide (PI) nanocomposite films based on nanoparticles with different chemical structures and geometrical shapes has been carried out. The purpose of this work was to compare the mechanical properties of PI films filled by different nanoparticles and to choose the most promising nanoadditives for these films.

In all nanocomposites studied poly(4,4'-oxibiphenylene)piromellitimide was used as the common PI matrix of extremely high thermal stability. The nanoparticles were introduced into the solutions of the prepolymer – poly(amic acid) (PAA) using ultrasonic method. The PAA films have been cast from these nanocomposite solutions, and then these films have been thermally cured by heating them up to 360°C to obtain the final PI nanocomposite films.

A wide range of nanoadditives have been tested in this work, but the most hopeful results were obtained while using three types of nanostructured materials: natural layered hydrosilicate montmorillonite (MMT), synthetic hydrosilicate nanotubes of chrysotile structure $\text{Mg}_3\text{Si}_2\text{O}_5(\text{OH})_4$ (out diameter ~ 20-25 nm, inner diameter ~ 4 nm, aspect ratio ~ 10-50), and carbon nanofibers (diameter ~ 100-150 nm, aspect ratio ~ 50-100).

While preparing the films of different nanocomposites we have tried to make them in as identical conditions as possible. The technological variations were concentrated only at the stage of nanoparticles pretreatment before introducing them into PAA solutions. These differences originate from different nature of the nanoparticles under study.

To ensure the maximal effective use of MMT as the nanoadditive for polymer materials of high thermal stability a special process has been elaborated of the MMT intercalation by the multinuclei aromatic diamines of these structures:



whose thermal stability is much higher than that of commonly used intercalating agents (Fig.1).

The chemical pretreatments of hydrosilicate nanotubes by different organic matters have been tested to level up the compatibility of these nanoparticles with PI matrices. In this article the results a presented obtained while using for nanocomposite films

34 workshop

formation both untreated nanotubes and the fully identical nanotubes pretreated by pyridine. The carbon nanofibers were used without any pretreatments.

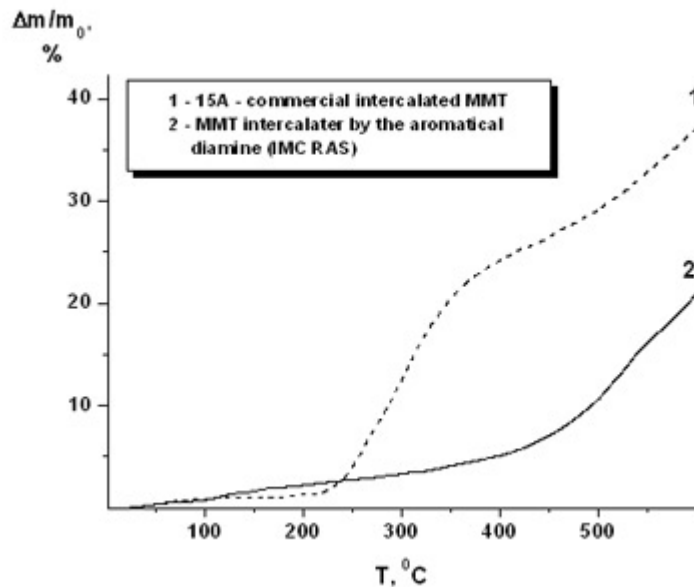


Fig. 1. TGA curves of the commercial intercalated MMT 15A and of the MMT intercalated by the aromatic diamine I.

The stress-strain curves obtained in the mechanical tests of nanocomposite films with different concentrations of MMT intercalated by the aromatic diamine I are presented at Fig. 2. Two main tendencies can be traced while analyzing these curves:

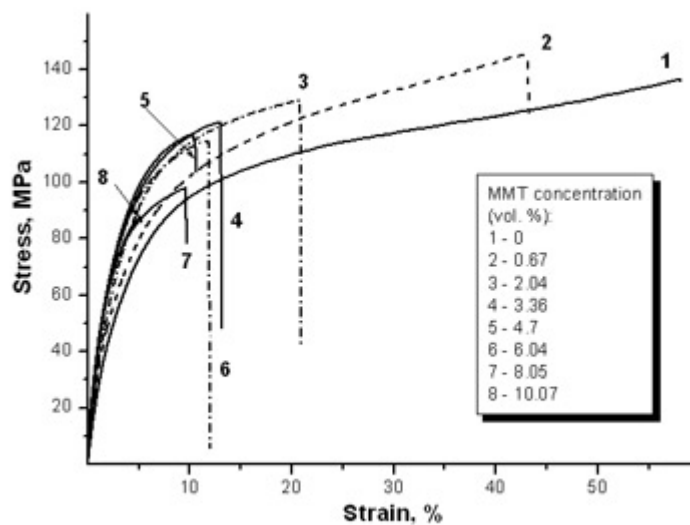


Fig. 2. Stress-strain curves of PI-MMT nanocomposite films.

while introducing nanoparticles into the PI matrix the progressive raise of the film stiffness (first of all – the leveling up of the Young's modulus E) takes place along with the depression of the film's ultimate deformation. Principally the same effects have been registered at the mechanical tests of PI films filled by hydrosilicate nanotubes and carbon nanofibers (the results vary only at the quantitative level). The tendencies of both processes are presented at Fig. 3, 4.

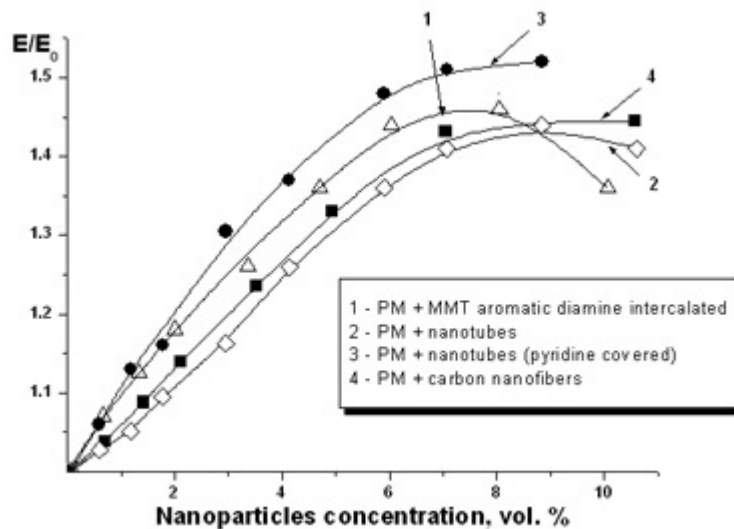


Fig. 3. Young's modulus dependences upon the nanoparticles concentration for polyimide nanocomposite films containing different types of nanoparticles.

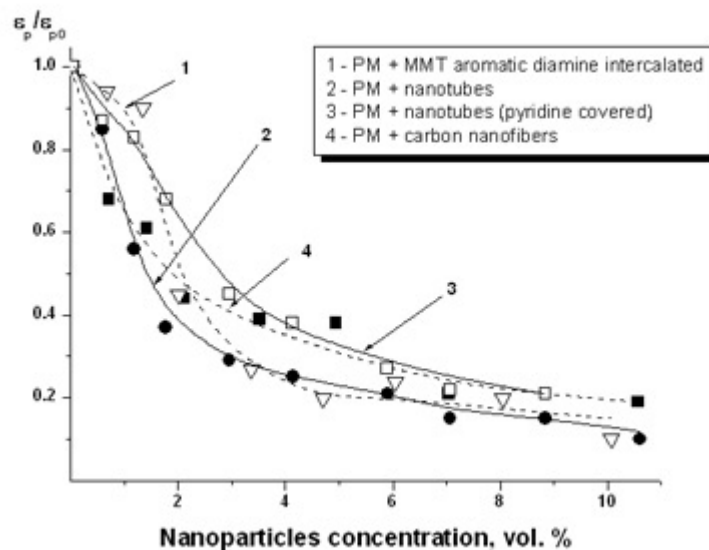


Fig. 4. Ultimate strain dependences upon the nanoparticles concentration for polyimide nanocomposite films containing different types of nanoparticles

The pronounced increase of E with the raise of nanoparticle concentration takes place for all types of nanocomposite films studied. This tendency can be seen at low concentrations of nanofillers only. The depression of the speed of this process takes place at the nanoparticles concentrations of $\sim 7-8$ vol. %, and the maximal E values are registered at ~ 10 vol. % of nanofillers. The

further incorporation of nanoparticles into the polymer matrix does not lead to increase of Young's modulus. This effect originates from the processes of nanoparticles aggregation, which lead to the phase separation of the material [1, 2].

The most significant increase of E has been obtained while the pyridine treated hydrosilicate nanotubes were used as nanofiller (the nanocomposite film's modulus at 8 vol. % of nanotubes is 1.52 times higher than that of the PI film). The slightly modest E raise has been registered while testing the PI-MMT composite films (1.46 times raise at 8 vol. % of MMT intercalated by the diamine I). It should be noted that this interrelationship of the E values obtained at the films filled by nanotubes and by MMT is in good agreement with the theoretical results [3], which predict the higher modification effect of the "unidimensional" nanoparticles (nanotubes and nanofibers) on the polymer matrix as compared to that of nanolayers with the same aspect ratio.

The less effective modification of the PI matrix has been achieved while using the carbon nanofibers and pristine, untreated hydrosilicate nanotubes.

The results above demonstrate clearly that to obtain the nanocomposite of high quality the optimal level of the interaction of nanoparticles with polymer matrix should be insured. Really, the pyridine pretreatment of hydrosilicate nanotubes leads to formation of nanocomposite films with Young's moduli substantially higher than that of the films filled by the same nanotubes in the untreated state (Fig. 3). The same conclusion can be drawn while comparing the results of the introduction into PI matrices of pyridine pretreated hydrosilicate nanotubes from one hand and of carbon nanofibers (untreated) from another hand. Really, the main parameter of nanoparticles of a certain type (in this case the cylindrical ones) that determines the effectiveness of the modification of polymer matrix is the aspect ratio. This ratio for carbon nanofibers used in our work was ~ 2-4 times higher than that of the hydrosilicate nanotubes. But namely these nanotubes after appropriate chemical pretreatment insure the most effective modification of the PI matrix – the most pronounced raise of E value. This discrepancy can be explained by substantially higher level of the interaction of nanocomposite components existing in the PI-hydrosilicate nanotubes system as compared to that in the PI-carbon nanofibers composite.

The intense depression of the ultimate deformation has been registered at all nanocomposite films under study along with the nanofillers concentration raise up to ~ 3.5-4 vol. % (Fig. 4). Beyond this diapason of nanoparticles concentrations the speed of leveling down of ϵ_p values becomes less pronounced. The highest ϵ_p values demonstrate the composite films containing pretreated hydrosilicate nanotubes.

The data presented at Fig. 4 are very important from the practical viewpoint because namely the process of elasticity fall determines the maximal nanofiller concentration above which the nanocomposite films become brittle and so can't be practically employed.

The level of ultimate strain, which insures the applicability of PI films, is at about 15% (really during the practical applications these films can be subjected to the deformations substantially less than this level – these materials are in the glassy state in all the temperature range of their efficacy, so above the values of 5-7 % their deformations become irreversible). For the PI-nanotubes composite this level of ϵ_p corresponds to the nanofiller concentrations $\sim 6-7$ vol. %. After the optimization of the technology of homogenization of nanoparticles in the PAA solutions this concentration can be raised up to 8-9 vol. %, and above this level the nanoparticles introduction in the PI matrix becomes ineffective because it does not lead to the raise of Young` modulus of the film (Fig. 3).

Thus, the pyridine covered hydrosilicate nanotubes have been shown to be the most promising nanofiller for the modification of mechanical properties of PI films. Quite promising results were obtained also while testing the films of PI-MMT nanocomposites. The introduction of carbon nanofibers into the same matrix leads to formation of composite films demonstrating more modest properties. But while treating these results we should mention that the possibility of these nanofibers to improve mechanical properties of PI films can be raised by their appropriate pretreatment to activate their surfaces before the nanocomposite formation.

References

- [1] Aijuan Gu, Shiao-Wei Kuo, Feng-Chih Chang. // J. Appl. Polym. Sci. 2001. Vol. 79. No 6. P. 1902.
- [2] Jin-Hae Chang, Dae-Keun Park, Kyo Jin Ihn. // J. Appl. Polym. Sci. 2002. Vol. 84 No 12. P. 2294.
- [3] E. J. Garboczi, K. A. Snyder, J. F. Douglas, and M. F. Thorpe // Phys. Review. E. 1995. Vol. 52. No.1. 819-828.

Informace o konferencích

High Performance Materials in Harsh Environments

(One day conference)

21 February 2007, Nottingham, UK

Composite materials are increasingly required to operate in a range of harsh environments. These include extreme temperatures, prolonged contact with harsh chemicals, challenging loading conditions such as ballistic impact, and resistance or compatibility with the human body. This one-day conference will address associated materials and processing requirements for a range of application areas, starting with a keynote address from Alan Pritchard of Boeing. Other areas covered will include aerospace, automotive (including F1), biomedical and ballistic protection.

Programme

9.30 Registration

10.00 Keynote Speaker - Alan Pritchard (The Boeing Company)

10.45 Roger Davidson (Crompton Technology Group) "Composite suspension systems"

11.45 Ian Thomson (Super Aguri F1 Team) "Born in Japan: Birth of the Super Aguri F1 Team"

12.15 Geoff Gould (Surface Transforms) "Ceramic matrix composites: from fact to fiction"

2.00 Gavin Walker (University of Nottingham) "Degradable composites for biomedical applications"

2.30 John Dominy (Carbon Concepts) "Composite applications in orthopaedic devices"

3.00 Eluned Lewis (DLO Caversfield) "Between Iraq and a hard plate"

SAMPE Europe 28th International Conference and Forums The Use of Composites in the 21st. Century to save Energy and Weight

2 - 4 April 2007, Paris, France

The SAMPE Europe International Conference is one of the foremost events in the Technical Conference calendar associated with Advanced Materials and Processes. Whilst polymer composites are a strong theme, SEICO 07 will also focus also on a wide range of other materials and technology applications, including Energy Generation, Energy Exploration, Energy Transportation and Distribution, and how to save Energy resources by taking advantage of the inherent weight reduction possibilities of "Advanced Structures" compared to those manufactured with conventional Materials and Technologies. The SAMPE Europe SEICO 07 will be opened 1 day ahead of the JEC Composites Show. 2007, to held at the Paris EXPO Complex Porte de Versailles. The SAMPE Europe SEICO 07 will attract over 400 participants from all over the world with a choice for of full three-days - or for one or two day registration.

SEICO 07 will be setup on parallel sessions with more than 80 expert papers to be grouped into specialist sessions – plus Panel Session to be given by recognised experts in their fields.

<http://www.sampe-europe.org>
sebo@sampe-europe.org

SICOMPs International Conference on Manufacturing and Design of Composites

May 28 - 29, 2007, Linköping, Sweden

Important Dates

March 2, 2007 Deadline for receipt of Abstracts

March 16, 2007 Notification of accepted Abstracts

March 30, 2007 Final program ready

<http://www.sicomp.se>

EMMC10 - European Mechanics of Materials Conference

11 - 14 June 2007, Kazimierz Dolny, Poland

Multi-phases and multi-components materials under dynamic loading

This conference aims at the testing and behaviour modelling of multi-phase and multi-components materials under dynamic loading. The accent is on the understanding of the difference of deformation, damage, and fracture mechanisms under quasi-static and dynamic loading. The works on the experimental observation in microscopic and mesoscopic levels, numerical mechanism-model simulations and theoretical multiscale analysis are most encouraged. It will bring together researchers and engineers in this domain to share their expertise and to better understand loading rate effect on these heterogeneous combinations.

The conference address especially the following topics (but is not limited to):

- Dynamic experiments on multi-phases and multi-components materials
- Microscopic and mesoscopic mechanism observations under dynamic loading
- Rate sensitivity mechanism in multi-phases materials
- Multiscales analysis of heterogeneous combinations
- Numerical simulation of multi-components materials under impact

Important Dates

Abstract due: September 15, 2006

Notification of acceptance: December 15, 2006

Paper due: April 15, 2007

<http://www.lmt.ens-cachan.fr/emmc10>
wnowacki@ippt.gov.pl

ICCM-16

Sixteenth International Conference on Composite Materials



ICCM-16 Sixteenth International Conference on Composite Materials
8 - 13 July 2007, Kyoto, Japan

This conference follows a pre-eminent tradition of ICCM, the world's leading composite conference series. Internationally renowned composite scientists, engineers and designers continue to attend the ICCM series in order to present their newest findings and keep up to date with the latest achievements in these very active high-technology fields.

The main theme of the conference will be "A Giant Step towards Environmental Awareness: From Green Composites to Aerospace". This theme symbolizes the contribution of composite materials to the global environment and two extreme cases in composites research, namely aerospace applications and green composites that contain natural reinforcements. This theme is also highly appropriate as the conference venue is the KICH, birthplace of the Kyoto Protocol for Carbon Dioxide Reduction.

<http://www.jscm.gr.jp/iccm-16/index.html>
iccm16loc@chofu.jaxa.jp

ICCE-15 - Fifteenth Annual International Conference on
Composites/Nano Engineering

15 - 21 July 2007, Hong Kong, China

The ICCE conference is unique in that while it is an engineering conference, it has attracted numerous chemists, physicists and scientists from diverse fields in our efforts to promote interdisciplinary research on composites. Of particular concern is the challenge for materials engineers to understand the wide diversity of length scales ranging from nano to micro to macro and full scale and to question the validity of the theories or models which are known to be valid only in certain length scales. The ICCE is among the first composite materials conferences which take a leading vital role to bridge the gap between nano-chemistry and nano-engineering, and attracted hundreds of papers in this existing relatively new field of nano-composites engineering.

http://myweb.polyu.edu.hk/~mmktau/ICCE/ICCE_Main.htm
dhui@uno.edu

The Sixth Canadian-International
Composites Conference

**Development and Commercialization of
Composite Materials and Technologies**

August 14-17, 2007 The Fort Garry Hotel and Conference Winnipeg, Manitoba, Canada

Cancom 2007: Canadian-International Composites Conference

14 - 17 August 2007, Winnipeg, Manitoba, Canada

Development and Commercialization of Composite Materials and
Technologies

Cancom 2007 has a focus on the development and commercialization of composite materials and technologies. This technical forum facilitates the sharing of information and ideas about composite materials, process technologies and structures by bringing together international participants from industry, government and academia. The event will commence with a one day special symposium (Aug 14) that will consist of industrial presentations and an exhibition combined with industrial tours of companies that produce composite parts for aerospace, ground transportation and civil infrastructure markets. A three day technical conference (Aug 15-17) will follow featuring a variety of international keynote speakers and technical presentations.

cancom2007.ca

info@cancom2007.ca

ICSAM - 2007: International Conference on Structural Analysis of Advanced Materials

2-6 September 2007, Patras, Greece

Topics:

Polymers and Polymer Matrix Composites, Metal and Ceramic Matrix Composites, Sandwich structures, Particulates, Nanocomposites, Biomaterials and medical applications, Smart materials, Green composites, Stress analysis, analytical and numerical modelling, Fracture, Fatigue, static and dynamic behaviour, Viscoelastic behaviour, Experimental techniques, NDT and Thermal Analysis, Damage characterization and durability, Manufacturing and structural applications.

Abstract Submission Deadline: January 31, 2007

<http://www.mech.upatras.gr/~icsam07>

Composites Europe 2007

6 - 8 November 2007, Stuttgart, Germany

In 2007, AVK - Federation of Reinforced Plastics e.V. will again hold its annual International Conference within the framework of COMPOSITES EUROPE which will take place from November 6th to 8th in Stuttgart. For the first time, AVK organised its 9th International AVK Conference to be held at the start of this European trade fair for fibre composites which had its successful premiere at the Essen venue in September. Now,
42 Informace o konferencích

the AVK again decided on COMPOSITES EUROPE as the venue for its conference. The 9th International AVK Conference took place from September 19th to 20th at the Congress Center Süd of the Essen Fairgrounds. 480 AVK conference participants could catch up on the latest results and technical innovations in the fields of, among others, European markets, raw material resources, transport and natural fibres.

AVK conference participants will have the opportunity to gain a comprehensive overview of the latest technologies, processes and products in the area of fibre composite materials at COMPOSITES EUROPE.

www.composites-europe.com

ECCM13: 13th European Conference on Composite Materials
2 - 5 June 2008, Stockholm, Sweden

On behalf of the local organising committee of ECCM 13 KTH and SICOMP hereby invite you to attend the thirteenth European Conference on Composite Materials (ECCM 13) to be held in Stockholm, Sweden from June 2nd to 5th, 2008. ECCM is Europe's leading conference on composite materials. As such it will follow the long tradition of the ECCM conference series with a wide scope of technical topics in composite materials research. The conference attracts internationally renowned scientists, engineers and designers in the field of composites.

Conference Topics

Applications, Bio-based composites, Biomimetic composites, Carbon and ceramic matrix composites, Damage and fracture, Durability and ageing, Experimental techniques, Fibres, matrices and interfaces, Health monitoring, Infrastructure, Interlaminar reinforcements, Interfaces and interphases, Joint and bearing behaviour, Life cycle analysis and sustainability, Low cost technologies, Mechanical and physical properties, Metal matrix composites, Multifunctional composites, Multiscale modelling, Nanocomposites, NDE technologies, Probabilistic approaches and design, Processing and manufacturing technologies, Repair technologies, Recycling, Sandwich technologies, Standardisation, Structural design, Textile composites, Wood and paper.

Important Dates

Deadline for submission of Abstracts: September 30, 2007

Notification of Acceptance: January 31, 2008

Deadline for Submission of Manuscript and Early Bird registration:
March 31, 2008

<http://eccm13.sicomp.se/> (after August 1st 2007)

Informace pro publikování v Časopise Acta Montana
Acta Montana je multidisciplinární časopis s náplní:

- Vybrané aspekty geodynamiky (řada A)
- Paliva, uhlíkové materiály a úpravnictví (řada B)
- Disertace, výsledky grantových projektů vypracovaných v ÚSMH (řada AB)

Základní informace naleznete na internetové adrese:

<http://www.irms.cas.cz/Newweb/ActaMont.htm>

Každá řada časopisu Acta Montana vychází 3 až 4 krát ročně. Cena jednoho výtisku je 100Kč + poštovné.

Bankovní spojení:

Česká národní banka, Praha 1, Na Příkopě 28, 115 03, č. účtu 635-081/0710, Variabilní symbol 468888

Adresa redakce:

J. Netrestová
IRSM AS CR
V Holešovičkách 41
182 09 Prague 8, Czech Republic
E-mail: irms@irms.cas.cz
Tel. +420 266 009 318

INSTRUKCE PRO ČESKÉ AUTORY

Časopis Acta Montana přijímá původní příspěvky splňující podmínky výše zmíněných disciplín. Rukopis zašlete e-mailem, resp. 3.5" disketě, ZIP nebo CD-ROM (MS Word libovolné verze), příp. spolu s dalšími soubory (obrázky, tabulky apod.). Dále je třeba dodat vytištěný příspěvek, ve třech vyhotoveních. Redakční rada rozhodne o přijetí příspěvku na základě recenze dvou oponentů. První autor obdrží jeden výtisk Acta Montana a 20 reprintů svých článků zdarma.

Článek musí obsahovat:

Název, celá jména autorů s adresami, včetně telefonních čísel, faxu, příp. e-mailu, abstrakt, klíčová slova, vlastní sdělení (vše v angličtině).

Dále může obsahovat:

Tabulky max. velikosti 24x16 cm a min. velikosti písma 9 b., v textu nebo na zvláštních stránkách. Tabulky musí být psány jako skutečné tabulky – ve sloupcích, nikoli jako text v řádcích. Záhloví všech tabulek musí být na zvláštní stránce. Ilustrace: Přijímají se černobílé fotografie, kresby a mapy v dobré kvalitě (min. 600 dpi). Grafy se přijímají černobílé, velikosti bodů, tloušťka čar a popisy os musí být dostatečně velké kvůli možnému zmenšení. U všech grafů v článku je třeba dodržet stejný styl popisu. Ilustrace mohou být umístěny v textu nebo v samostatných souborech. Přípustné formáty těchto souborů

jsou (*.doc, *.xls, *.ptt, *.bmp, *.pcx, *.tif, *.jpg, *.gif). Ilustrace jsou číslovány v pořadí tak, jak je o nich referováno. Popis nesmí být umístěn přímo v obrázku, soupis všech popisů musí být na samostatné stránce. U popisu obrázku je třeba uvést jeho požadovanou velikost v textu. Redakce přijímá rovněž barevné ilustrace (min. 1200 dpi, max. velikost vytištěného obrázku je 24x16 cm). Barevné ilustrace jsou tištěny jednostranně a umístěny na konci článku jako příloha. Náklady na tisk těchto barevných příloh hradí autor. (2000 Kč za stranu). Proměnné, konstanty aj. symboly v matematických rovnicích a odkazy na ně v textu je třeba psát výhradně v editorech rovnic MS Equation Editor nebo MathType. Všechny použité symboly musí být vysvětleny v textu nebo v seznamu symbolů.

Odkazy na literaturu v textu musí být ve formě (autor, rok), např., (Balík, 2001), (Rudajev et al., 2002). Soupis všech odkazů v abecedním pořadí musí být na samotné stránce ve tvaru: Příjmení, iniciály prvního autora, (příjmení a iniciály dalších autorů, kromě posledního) and (příjmení a iniciály posledního autora): rok, název článku, název časopisu, číslo, stránky od-do

např. Mierzejewski, M., Korzak, F. and Kaczalek, M.: 2002, Geodynamic research of recent movements in the Karkonosze Mts, Acta Montana ser.A., 15(126), 56-78

Příspěvek musí být zaslán v konečné verzi. V autorském náhledu je možno opravovat pouze překlepy, jiné zásahy do textu jsou nepřípustné.

Acta Montana is a multidisciplinary journal concerned with:

- Selected aspects of the geodynamics (series A)
- Fuel, carbon and mineral processing (series B)
- Extended essays, PhD dissertations or results of grant projects elaborated in IRSM (series AB)

Topical information on internet address:

<http://www.irsm.cas.cz/Newweb/ActaMont.htm>

Acta Montana issues periodically 4 times per annum.

Aim: The main purpose of Acta Montana enables a possibility to publish the results of scientific works and contribute to information exchange among scientists, engineers and others professionals.

Issues, price list: Acta Montana appears about three times annually for each series. The price of one issue is 12 EUR plus carriage charges. Back issues can be obtaining on request.

Bank connection:

Czech National Bank, Prague 1, Na Příkopě street 28, 115 03,
account no. 635-081/0710 Variable Symbol 468888

Subscription office:

J. Netrestová
IRSM AS CR
V Holešovičkách 41
182 09 Prague 8, Czech Republic
E-mail: irsm@irsm.cas.cz
Tel. +420 266 009 318

INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Submissions:

Acta Montana accepts original papers in English concerning all aspects of mentioned disciplines. Authors should submit three hard copies of their contribution and identical text file in MS Word (any version) and in case of need other files (figures, tables etc.) by e-mail, on 3.5" floppy disc, ZIP or CD-ROM. The Editorial Board on the basis of reviews of at least two referees makes the decision upon their publication. Author first named will receive one volume of Acta Montana and twenty reprints free of charge.

The manuscript must contain:

Title, full names of all authors, their affiliations and addresses including phone number, fax number and e-mail address, abstract, keywords and main body of paper (all in English).

It can be included:

Tables at max. size 24x16 cm and min. font size 9 pt, in text or on separate pages. Tables must be written really as tables (in columns), not as text (in rows). Captions of all tables must be on separate page.

Figures: Black and white photographs, drawing or maps in good quality (min. 600 dpi) are acceptable. Charts and diagrams must be in black and white, description of axes must be at sufficient size in due to possibility of reducing. Figures may be placed in text or as separate files. Only permitted formats of these files are (*.doc, *.xls, *.ptt, *.bmp, *.pcx, *.tif, *.jpg, *.gif). Figures are to be referred as Fig. Arabic numeral and should be numbered consecutively, according to their sequence in the text. Caption must not be placed in the figure area. List of captions of all figures must be on the separate page. Required size of the pictures in the text must be denoted at the list of captions. Color illustrations are tolerable (min. 1200 dpi), but at author's expense 75 EUR per 1 page A4). These pages, (pressed on one side) will be placed on end of the paper as appendix. Variables, constants and other symbols in mathematical functions and also in the text are accepted written exclusively at MS Equation Editor or MS MathType. All used symbols must be explained in text or in the List of symbols.

References quoted in the text must be in form (author, year), e.g., (Balik, 2001), (Rudajev et al., 2002). All references should be listed together at the end of the paper in alphabetic order as:
First name, signatures of surnames, (names of other authors except last) and (First name, signatures of surnames of last author): year, title, journal, number, pages

e.g. Mierzejewski, M., Korzak, F. and Kaczalek, M.: 2002,
Geodynamic research of recent movements in the Karkonosze Mts,
Acta Montana ser.A., 15(126), 56-78

Paper must be supplied as final version. At press-proof it is possible to correct only typing errors, other changes of text are not acceptable.