

Arduv

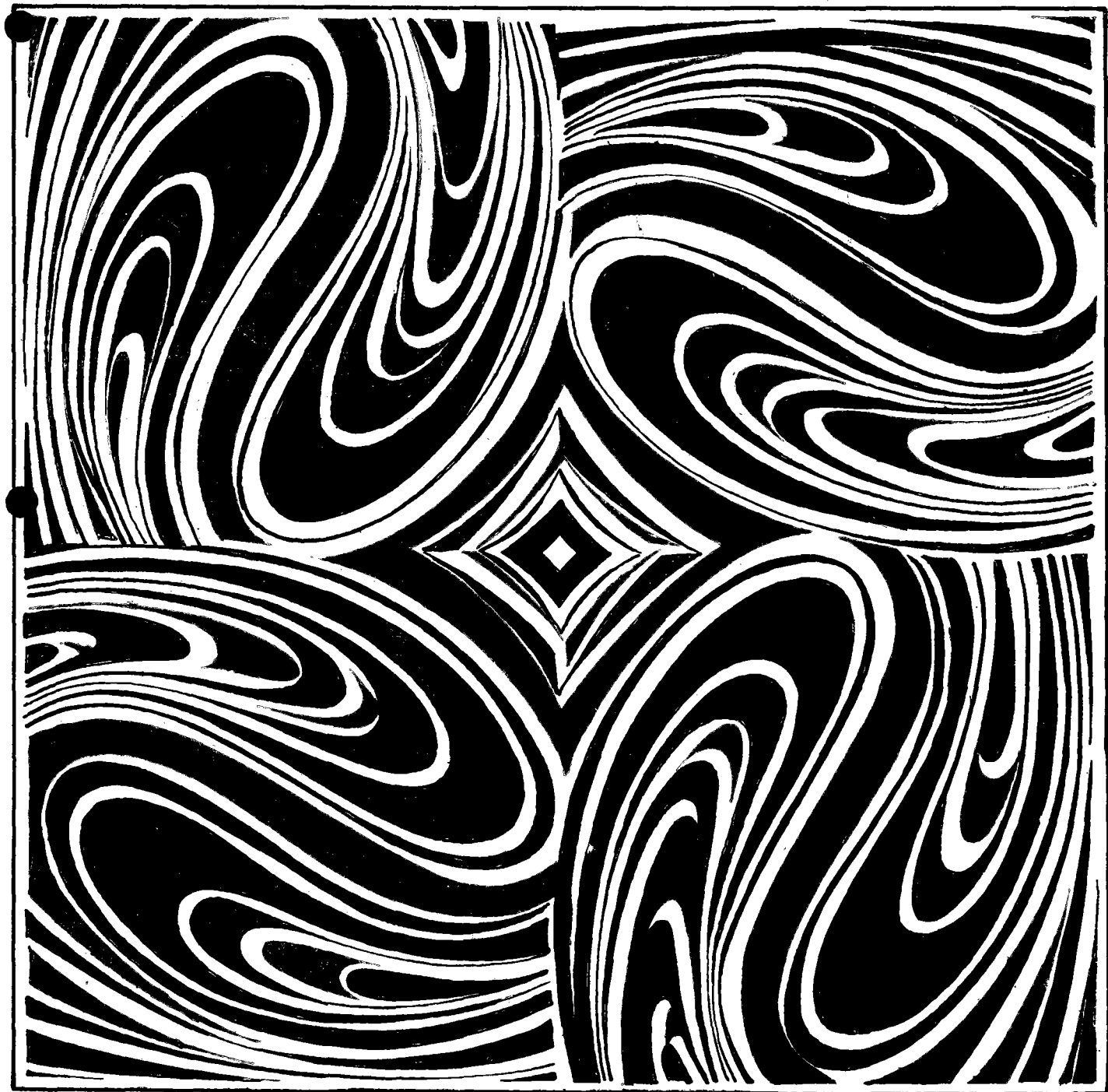
plasty 11 a kaučuk

ROČNIK 22 — 1985

PLKAS 22 (11) 321—352 (1985)

ISSN 0322—7340

SNTL — NAKLADATELSTVI TECHNICKE LITERATURY



plasty a kaučuk

Ročník 22/1985

Číslo 11

Redakční rada: Doc. ing. František Tomis, předseda, ing. Otakar Bartoš, CSc., prof. ing. Jozef Beniska, DrSc., ing. Jaroslav Bína, CSc., JUDr. Marie Bučková, ing. Bohuslav Brožek, CSc., ing. Marieta Büngerová, ing. Břetislav Doležel, CSc., doc. ing. Vratislav Ducháček, CSc., ing. Jiří Foral, ing. Leopold Hanuš, ing. Karel Hausner, Josef Hladík, ing. Josef Hlavačka, ing. Otakar Karásek, ing. Jaroslav Klimecký, ing. Jan Kolouch, ing. Metoděj Kozák, ing. Dušan Láníček, ing. Karel Malík, CSc., ing. František Matějek, ing. Henrich Minárik, ing. Ivo Nečas, ing. Jozef Pintér, CSc., PhDr. ing. František Podškubka, ing. Ivo Pokluda, CSc., Ing. Eva Poštová, RNDr. Miroslav Raab, CSc., Ing. Tibor Söbok, CSc., ing. Jiří Svoboda, ing. Josef Šimoník, CSc., doc. ing. Jiří Štěpek, DrSc., ing. Rudolf Veselý, CSc., dr. ing. Miroslav Veselý, ing. Lubomír Vít, ing. Josef Vokrouhlecký, ing. Miloslav Wilczyński, ing. Svatoslav Záhorovský, ing. Arnošt Zytka, Karel Susa.

Plasty a kaučuk, č. 11/1985

Vydávají České závody gumárenské a plastikářské, generální ředitelství v Gottwaldově, a ústřední rada Československé vědeckotechnické společnosti v Praze v SNTL - Nakladatelství technické literatury, n. p., Praha 1, Spálená 51.

Redakce: ČZGP, 764 21 Gottwaldov 4, tel. 27631-5, vedoucí redaktor ing. Karel Malík, CSc., zástupce redaktora ing. Josef Šimoník, CSc.

Vychází dvanáctkrát ročně, cena jednoho čísla 4 Kčs, roční předplatné 48 Kčs.

Rozšiřuje PNS. Informace o předplatném podá a objednávky přijímá každá administrace PNS, pošta, doručovatel a PNS-ÚED Praha, závod 01 -- AOT, Kafkova 19, 160 00 Praha 6, PNS-ÚED Praha, závod 02, Obránců míru 2, 656 07 Brno, PNS-ÚED Praha, závod 03, Kubánská 1539, 708 72 Ostrava-Poruba. Objednávky do zahraničí vyřizuje PNS -- ústřední expedice a dovoz tisku, Praha, závod 01, administrace vývozu tisku, Kafkova 19, 160 00 Praha 6.

Objednávky inzerce přijímá inzertní oddělení SNTL, 113 02 Praha 1, Spálená 51, přímá linka 295 828.

Tisknou MTZ, nár. podnik, Olomouc, provoz 31. Gottwaldov -- 42342-85

© SNTL -- Nakladatelství technické literatury, n. p., 1985

OBSAH

Strana

Branislav Sobolovský: Tridsaťpět rokov Výskumného ústavu káblov a izolantov v Bratislave	321-322
Richard A. Bareš: Možnosti moderních kompozitů -- část II.	323-327
Peter Michlík, Lubomír Knotek, Martin Jambrich, Jozef Karniš: Vplyv plniva na tokové vlastnosti taveniny polypropylénu	328-331
Václav Nedbal: Stanovení hydroxylových skupin v kapalných kaučucích dianhydridem kyseliny pyromelitové	332-333
Marcela Dragová: Reaktivní vstřikování -- II. Materiály	333-338
Karel Špaňhel, Miroslav Baleja, František Ponížil: Nový typ lehkého dopravního pásu	338-341

Zprávy z konferencí

Na Petřinách o kompozitech a morfologii polymerů	341-342
Seminář o degradaci a stabilizaci polymerů	343-344

Patentová hlídka

Obnovování ojetých pláště pneumatik (Jan Görig)	344-345
---	---------

Standardizace

Kompozit -- staronový pojem plastikářského názvosloví	346
---	-----

Osobní zprávy

Pětidesátka ing. Lubomíra Kovačiča, CSc.	347
Ing. Václav Frühbauer -- 60 let	347

Nové materiály

Technické a ekonomické aktuality	352
----------------------------------	-----

MOŽNOSTI MODERNÍCH KOMPOZITŮ — část II

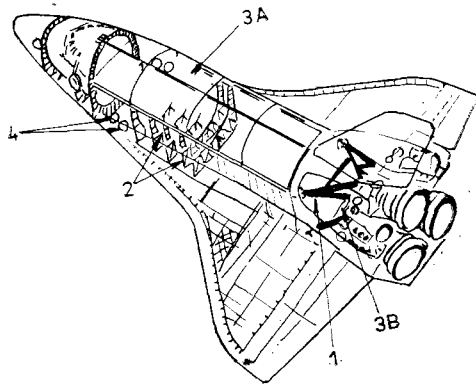
RICHARD A. BAREŠ (Ústav teoretické a aplikované mechaiky ČSAV, Praha)

(Redakci došlo: 21. 1. 1985; lektor: prof. RNDr. Karel Veselý, DrSc.)

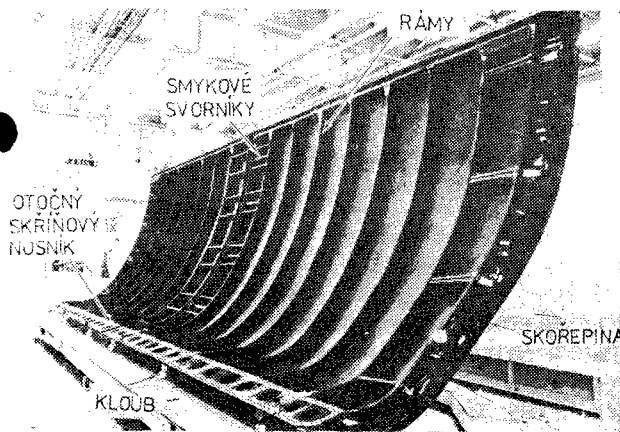
Příklady uplatnění vláknových kompozitů při průmyslové výrobě letadel, aut a jiných dopravních prostředků, strojů s rotujícími hmotami, sportovních potřeb i spotřebních předmětů, Částicové a hybridní kompozity v masové výrobě a jejich vlastnosti a možnosti. 1. část byla uveřejněna v č. 10/1985 našeho časopisu.

Průmyslové uplatnění vláknových kompozitů

Špičkové kompozitní materiály umožňují konstrukci moderních letadel a uskutečnění dalších projektů, které by byly tradičními materiály těžko zvládnutelné. Tak např. u prvního typu letadla Space Shuttle s délkou 37 m, rozpětím křídel 24 metrů, hmotností 68 t a nosností 30 t bylo jen pro konstrukční aplikace užito více než 2500 kg kompozitů (obr. 14). U druhého typu přibude dalších



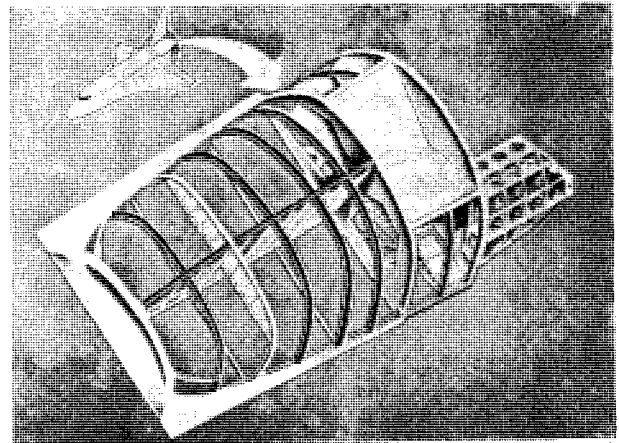
Obr. 14 — Použití kompozitů pro vesmírné letadlo
1 — titan vyztužený bóropoxidovým kompozitem (konstrukce výztuh motorů); 2 — kompozit bór—hliník (trubkové vzpěry střední části trupu); 3 — uhlík-epoxidový kompozit; A — dveře nákladního prostoru; B — plášť orbitálního manévrovacího systému; 4 — kevlar-epoxidový kompozit (obaly tlakových nádob)



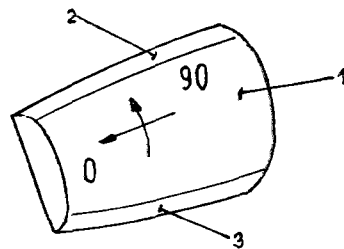
Obr. 15 — Vnitřní pohled na dveře nákladního prostoru

asi 5000 kg kompozitů. Největším dílem z kompozitu C/EP jsou dveře nákladního prostoru (obr. 15) s hmotností asi 1,5 t, u nichž aplikace téměř 1 t kompozitů ušetřila 0,5 t proti konstrukci z lehkých slitin. Otvor 4,5×18,3 m je zakryt čtyřmi částmi o velikosti asi 4,5×4,5 m, tvořenými sendvičovou skořepinou s voštinovým jádrem z Nomezu (těžko zápalný polyamid fy Du Pont), vyztuženou řadou

žeber. Konstrukce výztuh motorů, přenášejících asi 226 t, je namísto z titanu z kombinace titanu s bóropoxidovým kompozitem. Orbitální manévrovací systém je opět z kompozitu C/EP (obr. 16, 17).



Obr. 16 — Kryt orbitálního manévrovacího systému



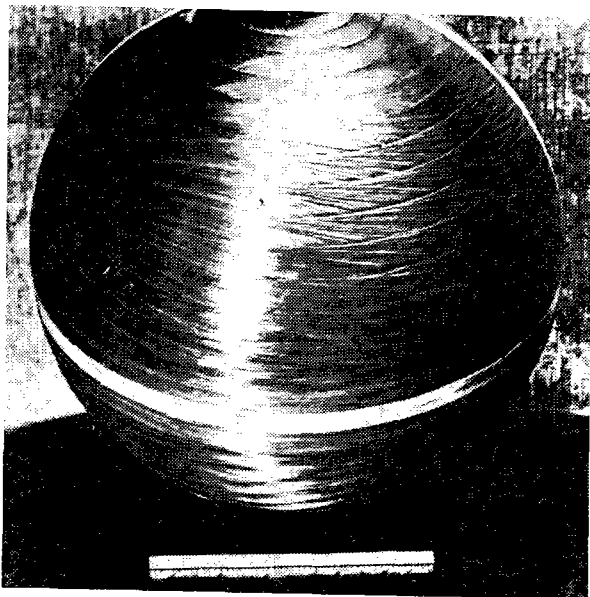
Obr. 17 — Plášť krytu orbitálního manévrovacího systému z grafit-epoxidového kompozitu

Plocha	Orientace vrstev pláště
1	±45 (tkanina), 0/90 (tkanina)
2	0/90 (tkanina), ±45 (tkanina), 0/90 (tkanina)
3	0,0, 0/90 (tkanina), ±45 (tkanina), 0/90 (tkanina), 0,0

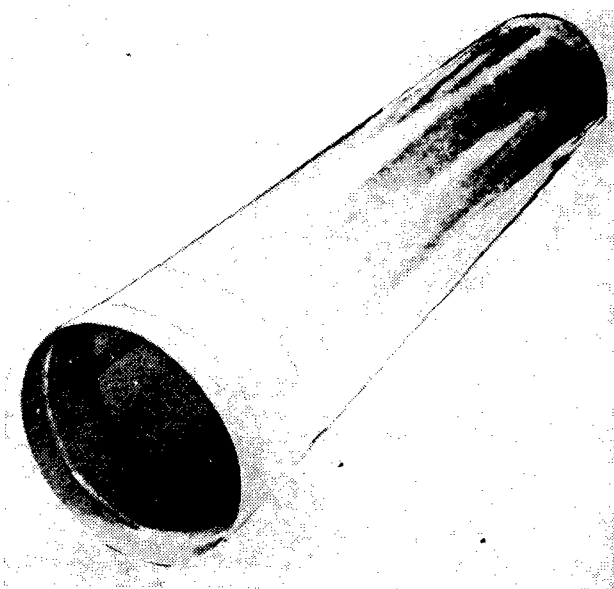
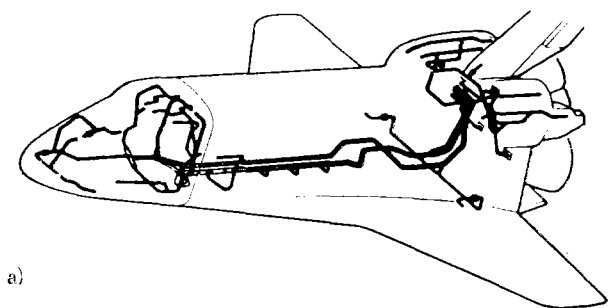
Sedmnáct kulových tlakových nádob \varnothing 1 m, pro přetlak 35 MPa, je z kevlar-epoxidového kompozitu s vnitřním pláštěm (obr. 18). Rovněž potrubí (obr. 19) je z kevlar-epoxidového kompozitu \varnothing 25 až 30 cm, tlak až 0,8 MPa. V současné době se pracuje na vývoji C kompozitů s polyimidovou maticí namísto epoxidové, čímž se zvýší tepelná odolnost ze současných 170 °C na 300 °C a tím se podstatně odlehčí nezbytná tepelná izolace.

V letectví byly jednou z prvních a nejrozšířenějších aplikací kompozitů vrtule a rotory helikoptér. Dosud bylo vyvinuto zhruba 50 celokompozitních rotorů, 15 se již běžně vyrábí. Z kompozitů byly rovněž navrženy a zhotoveny rotory větrných turbínových generátorů a některé části turbín.

Při konstrukci letadel byly poprvé kompozity užity v roce 1969 pro horizontální kormidlo letadla F-14A z bórových vláken v epoxidové matici a dosáhlo se snížení hmotnosti o 19 % proti pů-



Obr. 18 — Typická tlaková nádoba

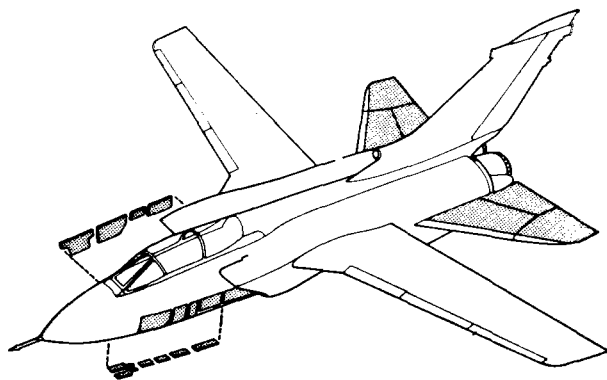


b)

Obr. 19a,b — Potrubí z kevlarepoxidového kompozitu

vodnímu. U letadla A-7D byla konstruována křídla z kompozitu B/C/EP (plášť/ a z C/EP/žebra). Nyní je konstruováno horizontální kormidlo u letadla B1 (s plochou více než 10 m^2) převážně z kompozitů; bylo dosaženo úspory 15% hmotnosti a $17,5\%$ nákladů. Kompozity C/EP byly využity pro řadu prvků u britského letadla *Tornado* (obr. 20), u letadla *Jaguár* je z kompozitů kryt motoru, u letadla

Viggen vertikální kormidlo. U letadla F 16 je vertikální kormidlo konstruováno v kombinaci kovu a kompozitu. Ve značném rozsahu se uplatnily kompozity u britského letadla AV-8B *Harrier II* s kolmým startem, s natočitelnými tryskami, u něhož 26% hmotnosti konstrukce je z kompozitu C/EP. Hmotnost tohoto letadla je 5800 kg , se zátěží pro svislý start 8100 kg a s krátkým rozjezdem $13\,500$ kilogramů. Např. je u něj celé křídlo dlouhé $8,53 \text{ m}$ z kompozitu C/EP; bylo vytvořeno z prepregů $0,3 \text{ m}$ širokých, v proměnné tloušťce v kořeni křídla s tloušťkou $11,18 \text{ mm}$, na špičce $2,45 \text{ mm}$, s osmi smykovými žebry. Z primárních konstrukčních prvků pro letadla by bylo možno uvést řadu dalších příkladů, kombinujících duralové a kompozitní prvky, nebo s prvky vyrobenými pouze z kompozitů C/EP nebo B/EP, nebo hybridních kompozitů. Hlavním problémem je výrobní technologie, zajišťující bezchybné provedení, bez pórů, mezilaminárních defektů atd. Proto se současně s rozvojem nových kompozitních systémů a technologií rozvíjejí i metody zkoušení, např. akustická emise, mikrovlnná defektoskopie (46 Hz), skanovací elektronová mikroskopie, rentgenová radiografie, ultrazvukové techniky, optoelektronika a další.

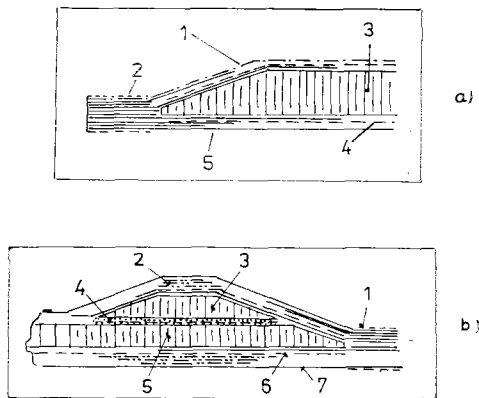


Obr. 20 — Šedé plochy označují užití kompozitů s uhlíkovými vlákny na letadle *Tornado* (GB)

Hybridní kompozity byly poprvé užity pro konstrukční části u letadla *Boeing 767* (Kevlar/C/EP sklo/C/Kevlar/EP). Jsou to např. proudnicové kryty připojení křidel a řady technologických zařízení, kde na konvenční duralové konstrukci je sendvičový plášť z hybridního kompozitu s jádrem z nomenoxové voštiny, dále dveře do kontrolního systému (asi $3,0 \times 1,2 \text{ m}$), hlavní dveře do nákladního prostoru. V současnosti se pracuje na konstrukci hlavních nosných prvků na stejné sendvičové bázi (obr. 21). Jiným příkladem je letadlo F 28, u něhož z hybridu C/Kevlar/EP jsou dveře podvozku, brzdící klapky, křídelní klapky.

První celokompozitové letadlo je *Lear 2000* z roku 1981 pro 6 cestujících a 2 členy posádky. Má spotřebu $0,28 \text{ l/km}$, rychlost $563 \text{ km} \cdot \text{h}^{-1}$ ve výšce $12,5 \text{ km}$, rozpětí 12 m , plochu křidel $15,1 \text{ m}^2$, hmotnost 1656 kg , se zátěží 3255 kg , a jeho cena je $1\,600\,000 \text{ \$}$ (1981). Jiný příklad z téhož roku je celokompozitní větroň AS-W 22 se štíhlostí křídla 37 a klouzavým poměrem 57 (obr. 22).

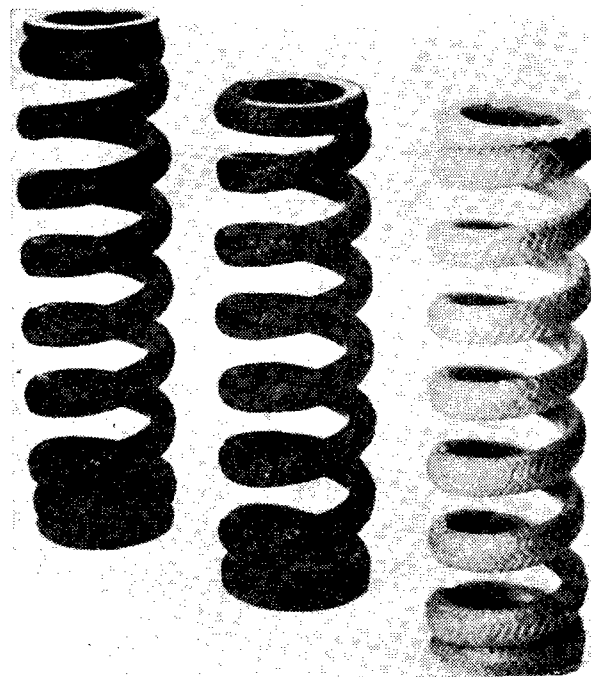
Další podrobnosti o konstrukci letadel s použitím kompozitů lze nalézt v seriálu článků M. Pa-



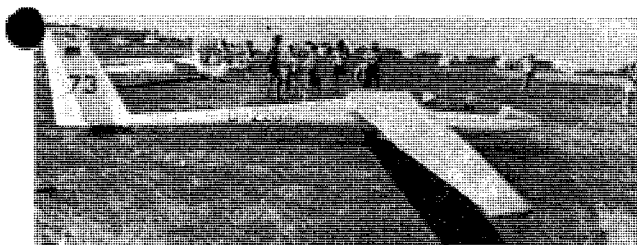
Obr. 21 — Příkladů uspořádání prvku z hybridního kompozitu: a — uspořádání hybridního panelu; b — vytvoření integrovaného nosníku

1 — kevlarová tkanina (120); 2 — tkanina ze skleněných vláken; 3 — vosťinové jádro z *Nomexu*; 4 — grafitová tkanina; 5 — kevlarová tkanina (285)

1 — skleněná vlákna; 2 — grafitové pásy; 3 — jádro se skleněnými vlákny; 4 — lepidlo; 5 — jádro z *Nomexu*; 6 — grafitová tkanina; 7 — Kevlar



Obr. 24 — Vinuté pružiny z hybridního kompozitu



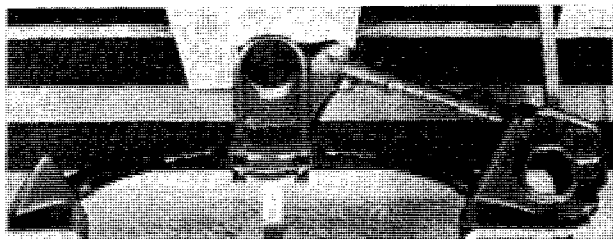
Obr. 22 — Celokompozitový větroň AS-W 22

lody „Kompozity v konstrukci letadel“ v druhé polovině letošního ročníku časopisu Letectví a kosmonautika.

Stojí za zmínku při této příležitosti, že v roce 1982 produkovala jen společnost *McDonnell Aircraft Company* 22 680 kg dlouhovláknových kompozitů za rok, v roce 1986 to má být již 181 500 kg, což svědčí o nesmírně rychlém rozvoji těchto materiálů.

Kompozity si nekompromisně a vítězně razí cestu i do ostatních, méně exkluzivních průmyslů. Na prvním místě stojí automobilový průmysl.

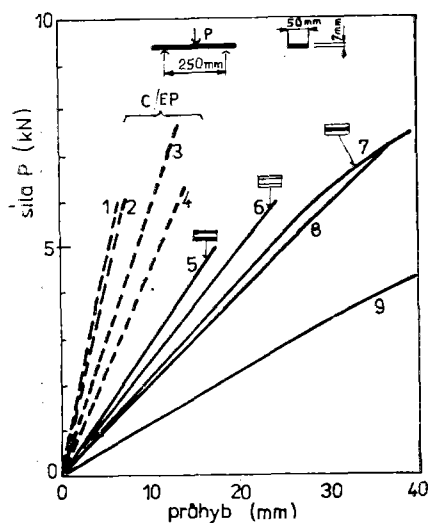
Vynikající vlastnosti mají listová pera (obr. 23) a pružiny (obr. 24) z *C/EP* nebo hybridních kompozitů (obr. 25, 26). Výborně se osvědčily kardánové hřídele z kompozitů (obr. 27). Hybridní kompozity byly použity pro boční panely a spoilery závodního auta *F 1 Williams FW 0713*. Úspěšné jsou aplikace kompozitů s Kevlarovými vlákny; např. karosérie auta *BMW M 1 (Procar)* byla o



Obr. 23 — Listové pero pro běžná auta z hybridního kompozitu

Typ vozidla	Uspořádání pera	nosnost (kN)	pérová konst. N/mm	ušetřená hmotnost (%)	počet potřebných listů
osobní auto		5,8	19,3	40	1-ocel 1-kompozit
		5,8	19,3	70	1-komp.
lehké nákladní auto		13,3	35/ 78,8	50	1-ocel 4-komp.
		71,2	245,2	70	5-komp.
těžké nákladní auto		106,8	1225,9	70	5komp.

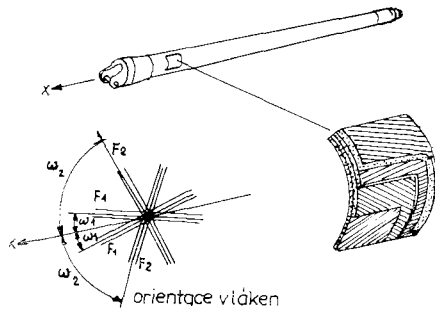
Obr. 25 — Typická kompozitová listová pera



Obr. 26 — Ohybové pracovní diagramy různých kompozitových per

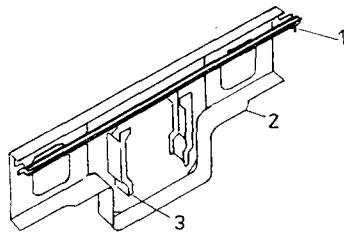
1 — pružinová ocel; 2 — typ 1; 3 — typ 4; 4 — typ A; 5 — povrchy *C/EP*; jádro *sklo/EP*; 6 — sendvič *C/E-sklo/EP*; 7 — *sklo/EP* se střední vrstvou *C/EP*; 8 — tažený *sklo/EP*; 9 — *sklo/EP* laminát s vrstvami $\pm 45^\circ$

40 % lehčí bez ztráty pevnosti, nosníky nákladních aut z hybridního kompozitu C/Kevlar/EP jsou pevnější než ocelové a ušetří 60 % hmotnosti, u rychlých člunů se uspoří až 50 % pohonných hmot, kanoe jsou o 35 % lehčí než ze skelného laminátu.

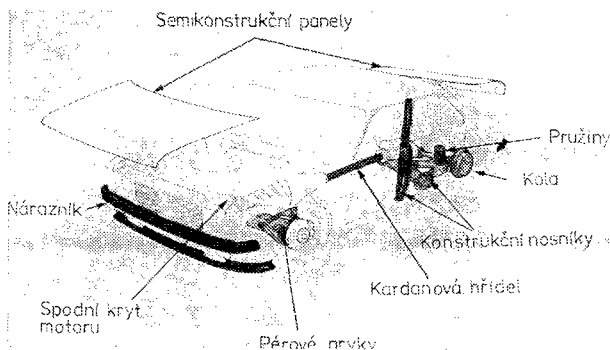


Obr. 27 — Schéma hnacího hřídele z hybridního kompozitu s dvěma druhy vláken ve čtyřech směrech (po dvou kolmých systémech)

Fa Ford vyrobila experimentální auto z kompozitu C/EP. Hmotnost byla 1135 kg místo 1700 kg oceli, tj. 45 % úspora. Vzhledem k vysoké ceně tohoto auta je třeba se v dalším vývoji orientovat na hybridní systémy C/sklo-Kevlar a jiné pryskyřice, umožňující tovární výrobu, kterou je třeba též vyvinout. Výhodou je menší počet dílů; např. blatník vozu Ford z kompozitů je ze 4 hlavních a 3 doplňkových dílů místo 9 dílů u ocelového blatníku, nebo nosič chladiče je ze 4 hlavních a 2 doplňkových částí proti 15 dílům v oceli (obr. 28). Tato skutečnost vyniká také na integrované konstrukci podlahy. Pro celé auto byly použity pouze lepené spoje. Jak se předpokládá, že budou vypadat z hlediska použití kompozitů auta v nejbližší době, ukazuje obr. 29.

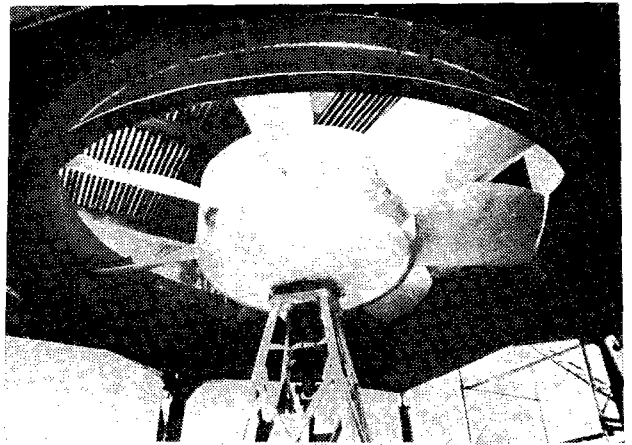


Obr. 28 — Schéma integrované podpěry radiátoru z kompozitu
1 — horní podpora; 2 — hlavní konstrukce podpory; 3 — postranní podpory radiátoru



Obr. 29 — Představa o užití vláknových polymerních kompozitů při konstrukci auta

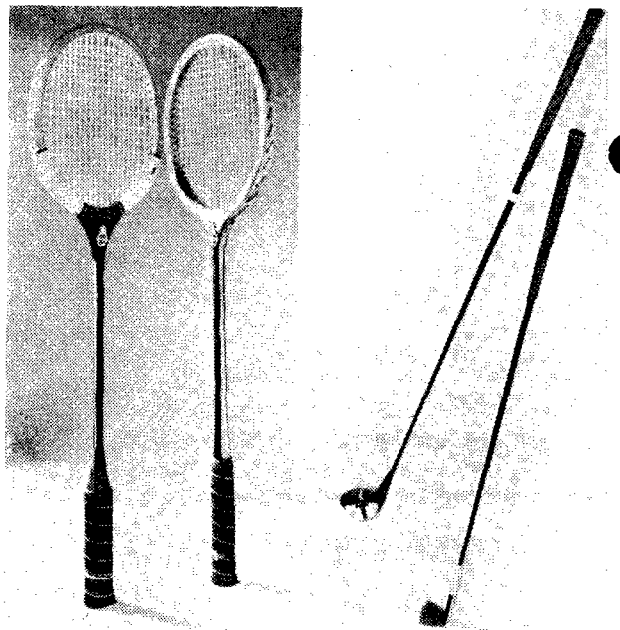
Vláknité kompozity se začínají prosazovat při konstrukci strojů, např. papírenské válce, textilní stroje, stroje pracující v agresivním prostředí a stroje s velkými rychlostmi a rotujícími hmotami atd. (obr. 30).



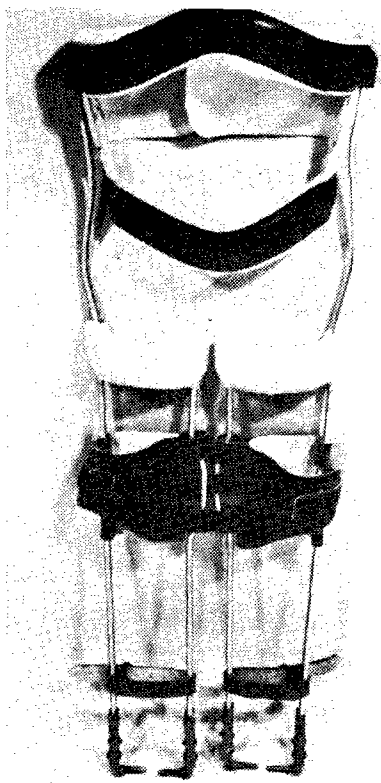
Obr. 30 — Příklad rotoru z polymeru vyztuženého vlákny

Samozřejmě přináší kompozity možnosti i ve spotřební sféře. Např. špičkové sportovní náradí (golfové hole, tenisové rakety, lyže) se již běžně vyrábějí z hybridních kompozitů (obr. 31). Kompozity umožňují také konstrukci podstatně lehčích celkových ortonáhrad (s úsporou 50 % hmotnosti) (obr. 32).

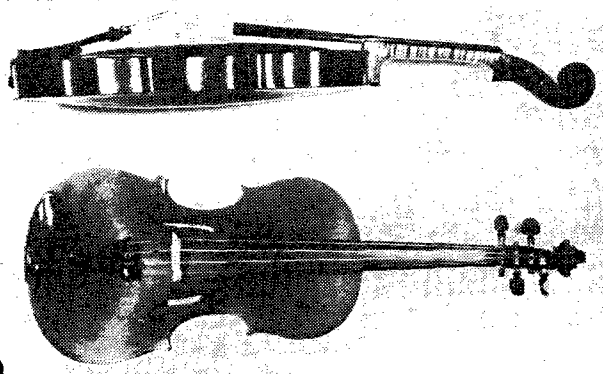
Kompozity se uplatní i při výrobě hudebních nástrojů, jak ukazuje příklad C/EP houslí na obr. 33. Potřebují 1/4 doby na zhotovení proti dřevěným, cena materiálu je nižší, jsou daleko pevnější, téměř nerozbitné, necitlivé k vlhku, teplotě i stárnutí a podle odborníků se jejich hlas vyrovná nejslavnějším mistrovským houslím.



Obr. 31 — Hybridní konstrukce sportovního náčiní
a — rakety s držadlem z kombinace uhlík-polymer/sklo-polymer/dřevo; b — golfové hole s rukojetí z kombinace uhlík-polymer/sklo-polymer



Obr. 32 — Kompletní ortonařada z hybridního uhlíkového kompozitu



Obr. 33 — Housle z kompozitu uhlík-epoxid

Částicové a hybridní kompozity

Kompozity ovšem nacházejí nezastupitelné místo v masové výrobě v méně exkluzivních směrech a odvětvích, přičemž výrazná převaha co do objemu produkce patří plněným termoplastům a plnivům pojeným reaktoplasty; plniva mohou být částicová (granulární nebo destičkovitá), krátkovláknenná nebo hybridní a z matric mají největší význam houževnaté typy.

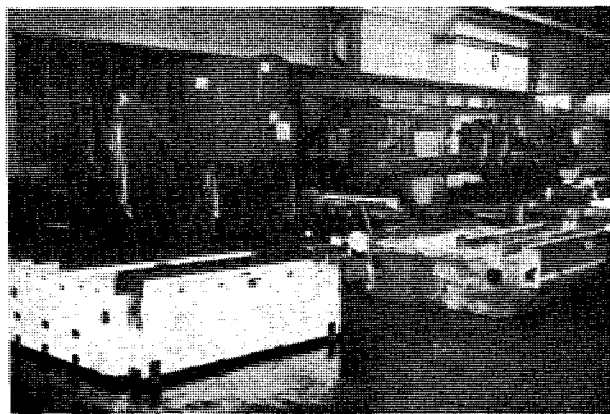
Termoplasty vyztužené uhlíkovými vlákny mají výborné vlastnosti: se 30 % vláken se běžně dosahuje pevnosti v tahu přes 140 MPa, modulu pružnosti 10 GPa. Lze však dosáhnout více než 25 GPa (v ohybu) s pevností v tahu 420 MPa, tedy modul pružnosti více než 2× větší proti skleněné vztuži, pevnost jako lité kovy (litina, zinek, hliník, hořčík) a tažnost 2 % při výborné rozměrové stabilitě, vysokých tribologických vlastnostech, dobré elektric-

ké vodivosti. Konkrétně např. nylon 66 vyztužený 30 % krátkých vláken *Grafil A fy Courtald* má tyto vlastnosti: hustotu $1280 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$, pevnost v tahu 241 MPa, pevnost v ohybu 351 MPa, modul pružnosti v ohybu 20 GPa, tažnost 3–4 %, napětí v tahu při poměrném prodloužení 0,2 % 50 MPa, součinitel teplotní roztažnosti $10 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$. Hybridní systémy se též výborně hodí pro brzdové obložení, např. fenolické pryskyřice — azbest — C vlákna, kterými jsou běžně již vybavována moderní letadla.

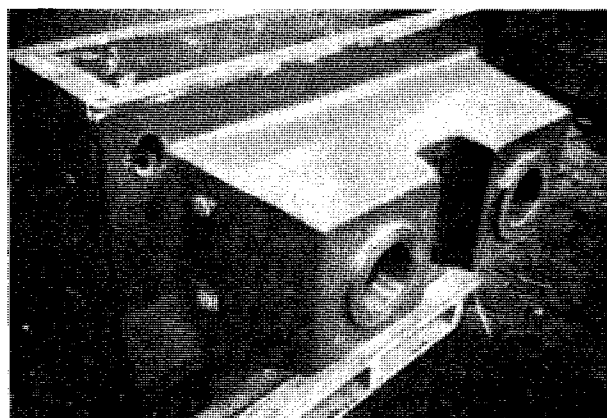
Použití vodivých částic pro plnění plastů umožní měnit jejich vodivost podle koncentrace částic v širokých mezích, např. z $10^{-12} \Omega^{-1}$ na $1 \Omega^{-1}$ při objemovém podílu částic 0,5236.

Plnivo pojené vhodnými reaktoplasty (s minoritním hmotnostním obsahem pojiva 1 : 10–1 : 15) poskytuje materiál, který může úspěšně soutěžit s cementovým betonem, keramikou i litinou, co do mechanických vlastností a přinášet některé lepší vlastnosti (vyšší chemickou odolnost, vyšší tlumení dynamických impulsů, vyšší tepelně izolační schopnost, nižší hmotnost atd.).

Aplikace těchto materiálů je ve stavebnictví běžná již dlouhou dobu a v některých případech je nezastupitelná, ve strojírenství se rozšiřuje výroba např. frém obráběcích a jiných strojů (obr. 34), rychlostních skříní (obr. 35) atd., náhradou za výrobky hutního průmyslu (např. z šedé litiny).



Obr. 34 — Fréma obráběcího stroje z epoxidového plastbetonu



Obr. 35 — Rychlostní skříň z akrylátového plastbetonu

VPLYV PLNIVA NA TOKOVÉ VLASTNOSTI TAVENINY POLYPROPYLENU

PETER MICHLÍK, LUBOMÍR KNOTEK, JOZEF KARNIS (Výskumný ústav chemických vlákien, Svit),
MARTIN JAMBRICH (Chemickotechnologická fakulta SVŠT, Bratislava)

(Redakci došlo: 1. 3. 1985; lektor: ing. Karel Stoklasa, CSc.)

V práci je posudzovaný vplyv disperzného plniva, mikromletého vápenca Durcal 2, na tokové vlastnosti taveniny vláknovného izotaktického polypropylénu Mosten 52 492 D 3.

Uvod

Príprava kompozitných vláknitých materiálov na báze polypropylénu je jednou z možností rozšírenia sortimentu tohto, u nás masove vyrábaného, typu vlákien. Kompozitné vlákna predstavujú heterogénne zmesi termoplastického polyméru a jemných práškovitých plnív, ktoré sa v procese tvorby a úpravy vlákna nerozkladajú a nemenia svoje zloženie. Ide teda o fyzikálnu modifikáciu cestou zabudovania častíc plniva do hmoty vlákna, za účelom dosiahnutia požadovaného technického alebo ekonomického účinku.

Literárne poznatky [1–19] poukazujú na široké možnosti uplatnenia kompozitných polypropylénových vlákien najmä v oblasti technických aplikácií. Súčasne uvedený smer poskytuje široké pole pôsobnosti pre vláknaresný výskum.

Cieľom predloženej práce bolo posúdiť vplyv disperzného plniva — mikromletého vápenca Durcal 2 — na tokové vlastnosti vláknovného izotaktického polypropylénu Mosten 52 492 D 3.

Experimentálna časť a spracovanie experimentálnych hodnôt

Suroviny

- vláknovný izotaktický polypropylén Mosten 52 492 D 3, výroba CHZ ČSSP, Litvínov
- koncentrát mikromletého vápenca Durcal 2, výroba VÚMCH Brno, zloženia:
- 41,5 hm. % CaCO_3 , s priemernou veľkosťou častíc 3 μm , hmotnostný zlomok častíc veľkosti pod 10 μm 0,96
- 0,5 hm. % stearát vápenatý
- 0,3 hm. % kyselina steárová
- 57,7 hm. % izotaktický polypropylén Mosten 52 492 D 3

Hodnoty pre zostrojenie tokových kriviek boli merané na laboratórnom extruziometri fy Göttfert so štyrmi ohrevnými zónami, priemerom závitovky 20 mm, dĺžkou závitovky 400 mm. Tlak p kontinuálne prúdiacej taveniny pred vstupom do kanála hubice sa meral snímačom tlaku fy Dynisco. Boli použité hubice s kanálmi priemeru $d = 2$ a 1,015 mm, dĺžky $L = 30$ a 3,5 mm, pri obsahu plniva 0, 10, 20, 30, 40 hm. %, teplotách 230, 250, 270, 290 °C.

Zjavná viskozita je vypočítaná ako pomer šmykového napätia na stene

$$\tau = \Delta p d / 4L \quad (1)$$

o nekorigovanej šmykovej rýchlosti $D = 32 \dot{V} / \pi d^3$.

Hustota kompozitu bola vypočítaná zo vzťahu:

$$h_k = \frac{h_{PP(t)} \cdot h_{CaCO_3}}{x_{PP} h_{CaCO_3} + x_{CaCO_3} h_{PP(t)}} \quad (2)$$

kde h_k , $h_{PP(t)}$, h_{CaCO_3}

- hustoty kompozitu, polypropylénu pri teplote t , mikromletého vápenca

$$x_{PP} + x_{CaCO_3}$$

— hmotnostný zlomok polypropylénu a plnivo v kompozite.

Hustota polypropylénu pri teplote t sa vypočítala zo vzťahu [20]:

$$h_{PP(t)} = 853,6 - 0,51 t \quad (3)$$

K spracovaniu tokových kriviek bola použitá metóda uvedená v [21]. Zo závislosti $\eta = f(T, D, x_{CaCO_3})$ sa pomocou upraveného posunovacieho faktora, zahrnujúceho vplyv teploty a obsahu plniva

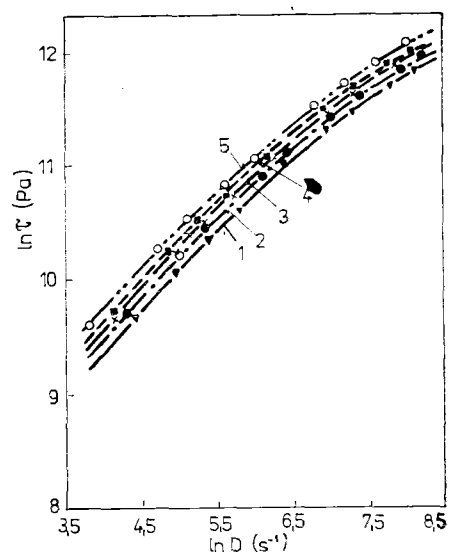
$$a_5 = \exp(a_6 \cdot x_{CaCO_3}) \exp(a_4 + a_5 / T) \quad (4)$$

vytvorila závislosť $\eta/a_5 = f(D \cdot a_5)$. Táto bola spracovaná do mocninového radu:

$$\ln(\eta/a_5) = \sum_{i=1}^3 a_i [\ln(a_5 \cdot D)]^{i-1} \quad (5)$$

Výsledky a diskusia

Na obr. 1–4 sú uvedené tokové krivky taveniny polypropylénu s rôznym obsahom mikromletého vápenca, pri teplotách 230, 250, 270 a 290 °C. Z ich priebehu je možné konštatovať, že so stúpajúcim obsahom plniva je na dosiahnutie určitej šmykovej rýchlosti potrebné vyvinúť vyššie šmykové napätie. Zvyšovaním teploty taveniny a v dôsledku toho znižovaním zjavnej viskozity sa šmykové napätie, potrebné na dosiahnutie určitej šmykovej rýchlosti, posúva k nižším hodnotám.



Obr. 1 — Tokové krivky taveniny polypropylénu s rôznym obsahom plniva pri teplote 230 °C
1 — 0 %; 2 — 10 %; 3 — 20 %; 4 — 30 %; 5 — 40 %