

Volba alternativního polymerního materiálu pro výrobek aplikovaný v nemocničním lůžku

Vojtěch Vastl^{1, 2}

¹ ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav Ústav materiálového inženýrství, Karlovo nám. 13, 121 36 Praha, Česká republika

² Ing. Zdeňka Jeníková, Ph.D

Abstrakt

Tato práce slouží jako shrnutí problematiky diplomové práce, která pojednává o výběru vhodného polymerního materiálu. Konkrétně je vybírán materiál pro výrobek od firmy Linet spol. s r.o., který je aplikován v nemocničním lůžku. Hlavními kritérii při výběru jsou cena, mechanické vlastnosti, čistitelnost, odolnost proti poškrábání. Nedílnou součástí této práce je optimalizace polymerní směsi PP a PA6, jenž se jeví jako ideální materiál z hlediska bilancování mezi uživatelskými vlastnostmi a cenou.

Klíčová slova: Polymerní materiály, PA6 - polyamid 6, PP - polypropylen, Linet,

1. Úvod a definice cíle

Následující problematika byla řešena ve spolupráci s firmou LINET spol. s r.o., jež se řadí mezi přední světové výrobce zdravotnických lůžek. Firma byla založena roku 1990 v Želevčicích u Slaného, kde rovněž provozuje svůj závod. V Želevčicích pracuje zhruba 900 zaměstnanců, kteří ročně vyrobí okolo 50 tisíc lůžek. Naprostá většina vyrobených lůžek putuje na export do více než sto zemí po celém světě.

Portfolium lůžek obsahuje přes 20 modelů, které se dále dělí podle způsobu použití na lůžka: univerzální, pro pooperační a intenzivní péči, speciální, dětská, kojenecká a porodní. Mezi technicky nejvyspělejší patří např. modely Eleganza 5 a lůžko Multicare, jenž dominuje na americkém trhu. (Obr. 1) Unikátní na společnosti Linet spol.s.r.o. je její nezávislost na subdodavatelích. Téměř vše počínaje svařováním, vyfukováním a vstřikováním plastů po programování informačních systémů je vyvíjeno a vyráběno v závodě v Želevčicích.



Obr. 1. Lůžka pro intenzivní péči: a) Eleganza 5, b) Multicare

V roce 2011 se stal Linet spol. s r.o. součástí Linet Group Holding, neboli byl spojen s řadou dalších společností, jako je například německý závod GmbH sídlícím ve městě Wickede. V roce 2016 Linet Group Holding koupil českou firmou BorCad medical, která vyrábí porodní a gynekologická lůžka. V současné době do Linet Group Holdingu patří 15 dceřiných společ-

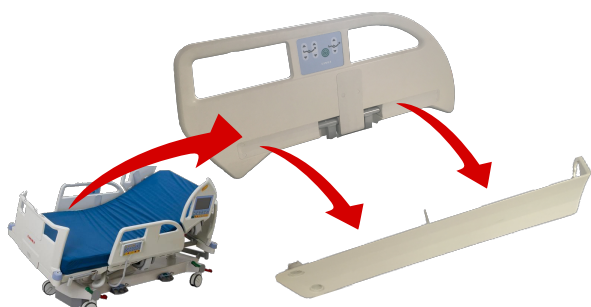
ností, zaměstnává okolo 1300 zaměstnanců a roční produkce lůžek je přes 80 tisíc.

Současný trend napříč průmyslovými odvětvími je v nahrazování kovových materiálů plasty. Nezpochybnitelná výhoda polymerů je především v nízké hmotnosti, ceně, aplikovatelnosti na tvarově složitých dílech. Nelze opomenout ani estetický přínos, korozní odolnost, snadnou zpracovatelnost, čistitelnost, tlumení hluku a vibrací, elektroizolační vlastnosti atd. Mezi nevýhody patří např. vyšší pořizovací náklady forem.

Celosvětový vývoj kovových materiálů probíhá v porovnání s plasty nesrovnatelně déle. Lze říci, že odvětví plastů je stále v „raném“ stádiu vývoje, a proto je ne vždy lehké, vyznat se v nabízeném sortimentu, případně sledovat technologické novinky v tomto oboru.

Cílem této práce je navrhnout nový polymerní materiál pro díl krytky mechaniky postranice viz obr.2. Nový materiál se navrhuje na základě výsledků dynamického a statického testu, jež kvalifikují původní materiál jakožto nevyhovující. Hlavními kritérii při výběru materiálu jsou:

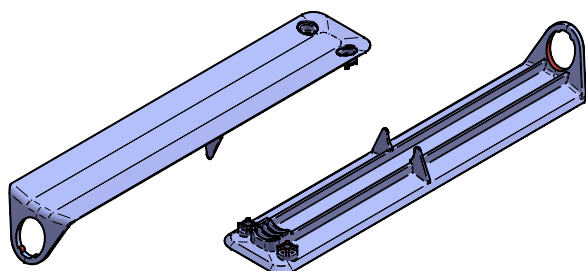
- funkčnost - krytí mechaniky postranice,
- pevnost - odolnost proti namáhání při pohybu, odolnost vůči interním testům,
- vzhled - díl bez vizuálních vad, čistitelný, odolný proti poškrábání,
- cena - maximální zdražení vůči původnímu materiálu 5%.



Obr. 2. Eleganza 5 - umístění krytky mechaniky postrannice

2. Zadaná díl

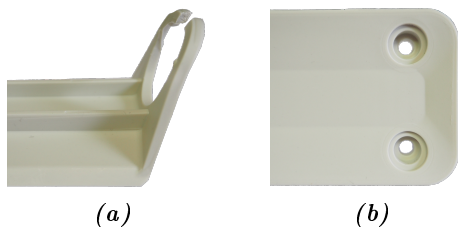
Díl krytky mechaniky postrannice obr. 3 není konstrukčně složitý a není vystavován nadměrnému mechanickému namáhání. Jedná se o pohledový díl, který nesmí obsahovat pohledové vady a je požadována dobrá čistitelnost povrchu. Zároveň je vhodné, aby byl materiál odolný vůči poškrábání.



Obr. 3. 3D model dílu

Při navrhování mechanických vlastností je nutné zohlednit nejrizikovější oblasti, mezi které patří kruhová „objímka“, která je vyfocena na obr. 4 a). Toto místo se nachází naproti vtoku a dochází zde ke spojení proudů taveniny - studený spoj.¹

Další kritické místo je u vtoku, kde jsou umístěny průchozí otvory pro šrouby. Tloušťka materiálu pod hlavami šroubů je zde zeslabena a při nadměrném zatížení může dojít průchodu hlavy šroubu skrz materiál.



Obr. 4. a) - Studený spoj, b) - Díry pro šrouby

Maximální zdražení výroby jednoho dílu, nesmí přesáhnout 5 %. Pro účely této práce se do ceny vyrobeného dílu započítává: cena za kg granulátu, hustota

¹Při styku více proudů taveniny ve formě vznikne nedokonalý spoj, který je náchylný na lom především při ohybu a rázu.

²Změna objemu plastového dílu, které vzniká při chladnutí.

materiálu, čas výrobního cyklu, minutová sazba vstříkolisu.

3. Definování rizik

Při nahrazování polymerního materiálu, mohou nastat komplikace spojené s realizací výroby konečného dílu. V této části práce analyzuji případná rizika a navrhuji postup, jakým způsobem postupovat v případě, že tento problém nastane.

3.1. Smrštění

Může nastat případ, kdy navržený materiál dosáhne při zpracování smrštění², které bude mimo rozsah tolerančních polí viz výkres dílu ???. Opatření, které lze v tomto případě provést je následující:

Simulace vstřikování

Firma Linet disponuje simulačním softwarem Moldex 3D, který dokáže simulovat kompletní proces vstřikování plastů. Tento software disponuje širokou databází plastů a v případě, že by navržený materiál nebyl obsažen v databázi, je možné v rámci licence požádat o přidání.

Úprava formy

Obecně nelze považovat žádný výstup simulačního softwaru za totožný s reálnými podmínkami. Lze se pouze přiblížit, s určitou chybou, k reálnému chování. Proto mohou nastat dvě situace.

1. Smrštění na základě simulace je vyhovující, v reálných podmínkách není.
2. Na základě simulace má materiál nevhovující smrštění, přesto chceme materiál použít.

V těchto případech je potřeba změnit rozměry formy. Přestože má firma Linet svojí nástrojárnu, jedná se o drahý a časově náročný úkon.

3.2. Navlhavost

Nevýhodou polárních materiálů je, že granulát se před samotným zpracováním musí vysušit. Tento proces není technologicky náročný, ale je limitován dostupnou kapacitou sušiček, a zároveň je tato operace spojena s negativním nárůstem hmotného toku ve výrobních prostorách. Firma Linet disponuje třemi takovými sušičkami a již teď se projevují kapacitní problémy.

Před uvedením polárního materiálu do výroby, je nutné zajistit volnou kapacitu sušiček, případně na základě výrobního plánu kapacitu naplánovat. Tzn. aby při výrobě byl vždy dostupný vysušený materiál.

3.3. Dostupnost

Portfolium polymerních materiálů je tak obsáhlé, že ne všechny jsou distribuovány v České republice. Pokud by firma Linet měla zájem využívat jeden z těchto „hůře“ dostupných materiálů, bylo by nutné provést kalkulaci, kde by byla zahrnuta cena za dopravu a uskladnění v porovnání s alternativní materiálem dostupným v ČR.

Další možností je, nechat si vyrobit konkrétní materiál na zakázku u českých výrobců. Nevýhodou výroby plastů na zakázku je vyšší cena v porovnání s komerčně prodávanými plasty.

3.4. Zabíhavost

Konstrukce dílu nemusí odpovídat viskozitě daného materiálu. Tzv. je nutná rozdílná viskozita pro díly tenkostěnné a tlustostěnné. Např. při použití materiálu s vysokým indexem toku nemusí dojít k úplnému vyplnění formy u tenkostěnných dílů.

Tento problém se dá regulovat změnou teploty taveniny, formy, případně rychlostí vstřikování. Rychlost vstřikování, vlivem smykových napětí, souvisí s nárůstem teploty a při příliš vysokém teplotním nárůstu může dojít k degradaci materiálu.

Tomuto problému lze opět předejít simulováním výše zmíněným softwarem Moldex 3D.

3.5. Teplota tavení

Horní hranice teplot u vstřikolisů ve firmě Linet, je 350°C. V případě zpracování materiálů přesahujících tuto teplotu, by bylo nutné vyrábět díly externě, což je finančně nevýhodné.

4. Původní materiál

Původní, nevyhovující materiál je dodáván od českého výrobce Silon pod obchodním názvem je označen TABOREN-PH 82 T20. Jedná se o PP homopolymer plněný 20% talku. Vlastnosti udávané výrobcem jsou uvedeny v tabulce 5.

- Cena: 49,-/kg

Obr. 5. Taboren-PH 82 T20 - vlastnosti udávané výrobcem

Vlastnosti	Norma	Hodnota	Jednotky
Index toku taveniny	ISO 1133	18	g/10min
Hustota	ISO 1183-1	1,04	g/cm ³
Pevnost v tahu na mezi kluzu	ISO 527	30	MPa
Prodloužení při přetržení	ISO 527	8	%
Modul pevnosti v ohybu	ISO 178	2 600	MPa
Rázová houževnatost	ISO 179-1	2,5	kJ/m ²
Teplota měknutí dle Vicata	ISO 306	151	°C

Dílec byl podroben dvěma testům. První je dynamická zkouška dle normy ČSN EN 60601-2-52, čl.15.3.3. Jedná se o náraz ocelové koule o ϕ 50 mm a

³Postranice je označení pro postranní část lůžka

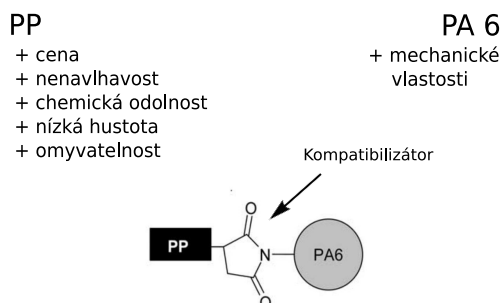
o hmotnosti 500 g do dílu připevněného do postranice ³.

Druhý test je prováděn podle normy ČSN EN 60601-2-52, čl. 9.8.3.3.3. Jedná se o statické namáhání dílu. Díl je opět připevněn k postranici, která je zatížena konstantní silou směřující vně lůžka.

Díly pevnostně nevyhovují. Z výsledků je patrné, že polymerní materiál má velmi špatnou houževnatost. Zásadní vliv na tuto problematiku má jednak zvolená struktura PP, která je tvořena z homopolymerů a jednak 20% obsah talku.

5. Polymerní směs PP/PA6

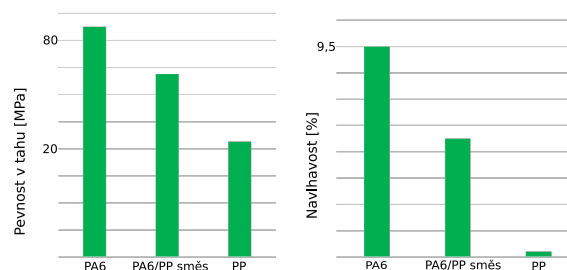
Zajímavá je kombinace plastů polypropylenu a polyamidu. PA zajišťuje dobré mechanické vlastnosti a PP přidá směsi na chemické odolnosti, rozměrové stálosti, nízké hustotě. Zároveň přidáním PP dojde ke zlevnění výsledného materiálu. [1]



Obr. 8. Schématické znázornění směsi PP-PA6

Za normálních okolností by tyto polymery netvořily homogenní směs. Proto se přidává kompatibilizátor, který zajistí vzájemnou adhezi. Pro směs PP-PA6 je vhodné jako kompatibilizátor využít anhydrid kyseliny maleinové.

PA6 je polární, což je spojeno s nežádoucí navlhavostí a zároveň na povrchu snadněji ulpívají nečistoty. Pro pohledový díl není tato vlastnost ideální. Přidáním PP dojde ke snížení navlhavosti. Jako vedlejší efekt dojde ke snížení mechanických vlastností nikoliv však pod požadované hodnoty. Předpokládané vlastnosti této směsi jsou zobrazeny v grafu 9.

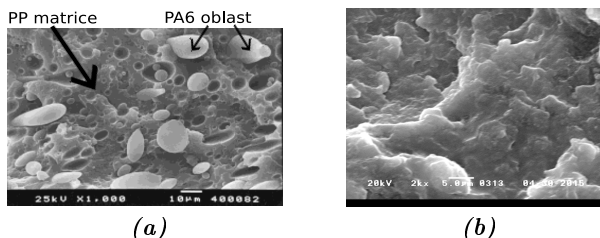


Obr. 9. Předpokládané vlastnosti směsi

Dalším důvodem navržení této směsi je skladová dostupnost obou materiálů, firma Linet oba materiály využívá běžně v jiných aplikacích. Konkrétně se

jedná o standardní PA6 pod obchodním názvem Promyde B30 P PP pod obchodním názvem PPC5TF2 Natural HI.

Aby směs měla očekávané vlastnosti, je nutné, aby z chemického hlediska došlo k vhodnému spojení obou materiálů. Rozdíl homogenity je znázorněn na snímku z elektronového mikroskopu (10)



Obr. 10. a) - Nehomogenní směs [2], b) - Homogenní směs [2]

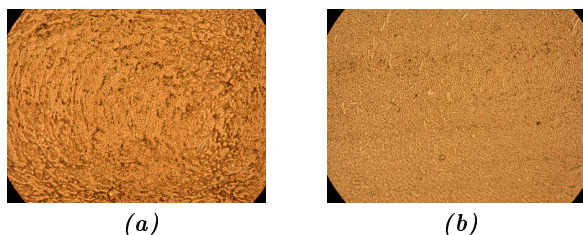
6. Testování směsi PP/PA6

V této části experimentu byly vyrobeny díly s odlišnými koncentracemi polypropyleny a polyamidu s použitím rozdílných kompatibilizátorů. Varianty experimentu jsou znázorněny následující tabulce. Porovnávaly se kompatibilizátory od českého výrobce Silonu - TABOND 2002 a kompatibilizátor G-3003 od firmy Eastman, který byl poskytnut od polského dodavatele. Byly vyrobeny tyto materiálové varianty:

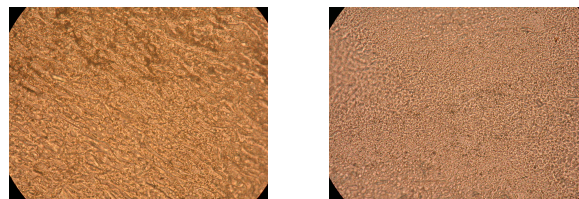
Obr. 11. Testované varianty

Varianta	PP[ob.%]	PP-20% talem [ob.%]	PA6 [ob.%]	Komp. [2 ob.%]
1.	30	-	70	Tabond 2002
2.	50	-	50	Tabond 2002
3.	70	-	30	Tabond 2002
4.	-	50	50	Tabond 2002
5.	-	70	30	Tabond 2002
6.	-	50	50	G 3003
7.	-	70	30	G 3003

Z makroskopického hlediska došlo ke spojení všech směsí. Pod optickým mikroskopem je ovšem patrné, že materiály o stejných koncentracích složek směsi, mají rozdílnou homogenitu. Je zřejmé, že kompatibilizátor G-3003 od firmy Eastman daleko lépe „spojí“ jednotlivé složky směsi.



Obr. 12. Struktura směsi (PP-T20)50+(PA)50 (20x zvětšení) s odlišnými kompatibilizátory a) TABOND 2002 b) Eastman G-3003



Obr. 13. Struktura směsi (PP-T20)50+(PA)50 (50x zvětšení) s odlišnými kompatibilizátory a) TABOND 2002 b) Eastman G-3003

V navazujícím experimentu dojde k otestování mechanických vlastností a čistitelnosti. V návaznosti těchto experimentů dojde k vytipování optimální směsi pro naší aplikaci a bude realizováno srovnání s komerčně dostupnými materiály, které budou splňovat zadaná kritéria.

7. Závěrečné informace

Tato práce vznikla na základě dat diplomové práce. Vzhledem k omezenému prostoru mohou informace obsažené v tomto článku působit útržkovitě a neposkytnout čtenáři plynulý náhled do problematiky.

Zkoumáním vlastností polymerní směsi PP/PA6 zjišťujeme, že se jedná o konstrukční materiál se značnými výhodami. Konkrétní koncentrací jednotlivých složek, lze docílit specifických požadavků pro výrobu konkrétního výrobku.

V době odevzdávání tohoto článku nebyly data z porovnání optimální varianty směsi s ostatními navrženými materiály kompletní. Výsledky budou prezentovány na prezentaci projektů studentské tvůrčí činnosti.

Poděkování

Rád bych vyjádřil poděkování vedoucí diplomové práce paní Ing. Zdeňce Jeníkové, Ph.D. za odborné vedení, cenné rady a trpělivost při vedení mé diplomové práce. Rovněž bych chtěl poděkovat panu Ing. Vlastimilovi Jahodovi za ochotný přístup, poskytnutí informací a konzultace ve firmě Linet spol. s.r.o.

Seznam symbolů

PP Polypropylene
PA6 Polyamide 6
PP-T20 Polypropylen s 20% talku

Literatura

- [1] JMATEPROTEC. "Investigation on PA/PP mixture properties by means of DMTA method". In: *Journal of Materials Processing Technology* 175.1-3 (2006), s. 212-217. ISSN: 0924-0136. DOI: 10.1016/J.JMATEPROTEC.2005.04.020. Dostupné z: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0924013605004292>.
- [2] Pentac. "The alloy of polyamide and polypropylene is close to picture perfect". In: *A dream team - PEN-TALLOY BP: the best from two worlds* (2018).