

Vliv úpravy vstřikovací formy PVD povlaky na vstřikovací cyklus a povrchové vlastnosti výrobku

Adriana Pokorná

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav inženýrství polymerů

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Adriana Pokorná**
Osobní číslo: **T19008**
Studijní program: **B0711A130009 Materiály a technologie**
Specializace: **Polymerní materiály a technologie**
Forma studia: **Prezenční**
Téma práce: **Vliv úpravy vstřikovací formy PVD povlaky na vstřikovací cyklus a povrchové vlastnosti výrobků**

Zásady pro vypracování

Vstřikování je jednou z nejpoužívanějších technologií na zpracování termoplastů. Výrobky mají vysokou rozměrovou i tvarovou přesnost, výbornou kvalitu povrchu. Vstřikováním lze vyrobit i velmi tvarově složité výrobky a to vše ve velmi krátkém výrobním cyklu. Volba optimálních procesních parametrů jako je vstřikovací tlak, dotlak, doba dotlaku, vstřikovací rychlost, teplota formy nebo doba chlazení jsou klíčové pro výrobu kvalitního výrobku za přijatelnou dobu. Ke zkrácení výrobního cyklu, konkrétně času chlazení, popř. vyšší teplota formy, by mohla přispět úprava povrchu vstřikovací formy vhodným povlakem.

Ověřte vliv PVD povlaků vstřikovací formy na délku vstřikovacího cyklu a kvalitu povrchu výrobků z vybraných termoplastů.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Valero, José R. Lerma. *Plastics Injection Molding – Scientific Molding, Recommendations, and Best Practices*. Hanser Publishers. Munich, 2020, ISBN 978-1-56990-689-7

Bryce, Douglas M. *Plastic Injection Molding, Volume I – Manufacturing, Process, Fundamentals*. Society of Manufacturing Engineers. Michigan, 1996, ISBN 0-87263-472-8

Sánchez, R., Aisa, J., Martínez, A., Mercado, D. On the relationship between cooling setup and warpage in injection molding. *Measurement*, 45, 5, 1051-1056 (2012) <https://doi.org/10.1016/j.measurement.2012.01.039>.

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lenka Gajzlerová, Ph.D.**
Ústav inženýrství polymerů

Datum zadání bakalářské práce: **1. února 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **20. května 2022**

L.S.

prof. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan

Ing. Jana Navrátilová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ AUTORA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Beru na vědomí, že:

- bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému a dostupná k nahlédnutí;
- na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- podle § 60 odst. 1 autorského zákona má Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tj. k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považuji se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou obsahově totožné.

Ve Zlíně, dne:

Jméno a příjmení studenta:

.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Bakalářská práce se v teoretické části zabývá metodou PVD povlakování a různými modifikacemi této metody. Následně byl popsán vstřikovací cyklus a povrchovými defekty výrobků vyrobené vstřikováním. V praktické části byl zkoumán vliv materiálů forem (ocelové a duralové) na smrštění výrobku, přilnavost výrobku k formě a jeho deformaci. Byl proveden širokoúhlý rozptyl rentgenového záření a byla zjištěna krystalinita výrobků u vybraných materiálů.

Klíčová slova: PVD, povlakování, vstřikování, WAXS, deformace, smrštění polymeru

ABSTRACT

This Bachelor's thesis deals in the theoretical part with the PVD coating method and modifications of the method. Subsequently, the injection molding cycle and the surface defects of the injection molded products were described. The practical part examined the influence of mold materials (steel and duralumin) on the shrinkage of the product, the adhesion of the product to the mold and its deformation. Wide-angle x-ray scattering was performed and the crystallinity of the products of selected materials was determined

Keywords: PVD, coating, injection molding, WAXS, deformation, polymerization, shrinkage

Poděkování

Ráda bych poděkovala všem, kteří se podíleli na této bakalářské práci. Firmě SHM, s.r.o. Šumperk za poskytnutí vybavení a odborných rad. Mé rodině a přátelům za podporu. A mé největší díky patří paní Ing. Lence Gajzlerové, Ph.D. za vedení, cenné rady a pevné nervy.

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské/diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 FYZIKÁLNÍ DEPOZICE PAR (PVD)	11
1.1 NANÁŠENÍ PVD POVLAKU	11
1.1.1 Výhody PVD metody	12
1.1.2 Nevýhody PVD metody	12
1.2 MODIFIKACE PVD METODY	12
1.2.1 Napařování.....	12
1.2.2 Napařování	18
1.2.3 Iontová implantace	21
1.3 POVLAKOVÁNÍ VSTŘIKOVACÍ FORMY	22
2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS	23
2.1 STROJNÍ ČASY.....	23
2.1.1 Uzavření formy	23
2.1.2 Příjezd plastifikační jednotky.....	23
2.2 VSTŘIKOVACÍ ČASY.....	24
2.2.1 Doba vstřikování	24
2.2.2 Dotlak	24
2.2.3 Chlazení.....	25
2.2.4 Plastifikace	25
3 DEFEKTY POVRCHU VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ	26
3.1 ŘEŠENÍ POVRCHOVÝCH VAD.....	26
3.2 OPTIMALIZAČNÍ TECHNIKA TAGUCHI	26
II PRAKTICKÁ ČÁST	27
4 ZVOLENÉ MATERIÁLY PRO EXPERIMENT	28
4.1 AMORFNÍ POLYMERY	28
4.1.1 Polykarbonát APEC 1895 - PC	28
4.1.2 Akrylonitrilbutadienstyren MAGNUM 3504 - ABS	28
4.2 SEMIKRYSTALICKÉ POLYMERY	28
4.2.1 Polypropylen MOSTEN GB005 - PP	28
4.2.2 Polyacetal DERLIN 100 - POM	29
4.3 TERMOPLASTICKÝ ELASTOMER	29
4.3.1 Polyolefinový elastomer ENGAGE 8401 - POE	29
5 POVLAK SIGAAN P_x	30
6 SMRŠTĚNÍ	31
6.1 POSTUP MĚŘENÍ SMRŠTĚNÍ	31

6.1.1	Přístroje a pomůcky.....	31
6.1.2	Příprava vzorků	31
6.2	NAMĚŘENÉ HODNOTY	32
6.2.1	Výrobní smrštění	32
6.2.2	Dodatečné smrštění	33
6.2.3	Diskuze smrštění	34
7	ŠIROKOUHLÝ ROZPTYL RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ (WAXS)	35
7.1	POSTUP MĚŘENÍ WAXS	35
7.1.1	Přístroje a pomůcky.....	35
7.1.2	Příprava vzorků	36
7.3	NAMĚŘENÉ HODNOTY A DISKUZE	37
7.3.1	POM	37
7.3.2	PP	38
7.3.3	POE	39
8	DEFORMACE.....	41
8.1	POSTUP MĚŘENÍ.....	41
8.1.1	Příprava vzorků	41
8.1.2	Přístroje a pomůcky.....	41
8.2	NAMĚŘENÉ DATA	42
8.3	DISKUZE DEFORMACE	43
8.4	SKENY DEFORMACE Z 3D MIKROSKOPU	43
8.4.1	Naměřené data.....	43
8.4.2	Diskuze skenů deformace	45
9	TESTOVÁNÍ PRACOVNÍ TEPLoty.....	47
9.1	POSTUP MĚŘENÍ.....	47
9.1.1	Přístroje a pomůcky.....	47
9.2	NAMĚŘENÁ DATA A DISKUZE	47
	ZÁVĚR	51
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	53
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	56
	SEZNAM OBRÁZKŮ	57
	SEZNAM TABULEK.....	59
	SEZNAM PŘÍLOH.....	60

ÚVOD

Bakalářská práce je v rámci spolupráce s firmou SHM, s.r.o. - Šumperk, která se zabývá PVD povlaky a úpravou povrchů. Povlakuji řezné nástroje, nástroje pro kování za tepla, nástroje pro tlakové lití hliníku a nejnovějším produktem je povlak SIGAAN Px, tedy povlak na vstřikovací formy. [19]

Metoda PVD povlakování je technologie, pomocí které je možné vytvářet ultra tenké, tvrdé a přesné povlaky. Metoda PVD povlakování probíhá ve vakuové komoře a za nízkého tlaku a relativně nízké teploty. PVD metoda má různé modifikace, dělí se do tří hlavních skupin napařování, napařování a iontová implantace, která je kombinací napařování a napařování. Modifikace mají podskupiny, které se liší způsobem uvolnění povlakového materiálu z terče. Každá modifikace metody má své výhody i nevýhody. [1, 2, 3]

PVD povlaky se v dnešní době využívají na povlakování nástrojů pro prodloužení jejich životnosti a snížení pracovních teplot. Povlakování vstřikovací formy je poměrně nové, neprozkoumané a zajímavé téma s velkým potenciálem pro praktické využití. Povlakovaná forma PVD metodou by měla snížit koeficient tření, snížit smykovou rychlost a zlepšit optické vlastnosti. [1,11]

Vstřikování je nejrozšířenější metodou zpracování plastů. Jedná se o cyklický termodynamický proces tváření polymerů. Pomocí vstřikování je možné vyrábět velmi přesné díly. Formy pro vstřikované díly jsou vyráběny z ocele, která je poměrně drahá. Proto by bylo dobré do budoucnosti ocelové formy nahradit levnějším materiálem, například slitinou hliníku. [12, 14, 26]

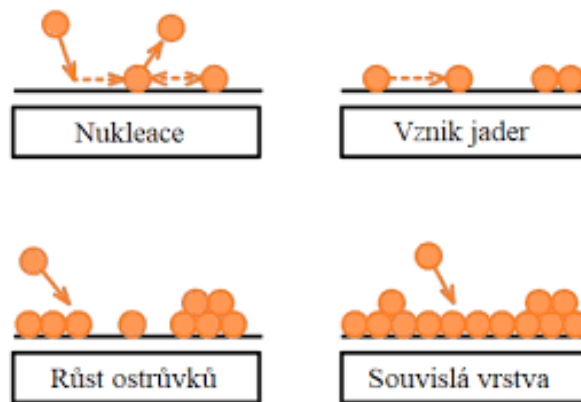
Duralové formy bohužel nemají takovou výdrž opakování jako formy ocelové z tohoto důvodu nejsou využívány ve velkovýrobě. Využívají se k výrobě 5000 až 50 000 plastových dílů. Duralové formy mají své výhody oproti ocelovým formám, například velká tepelná vodivost, korozivzdornost a malá váha. Z tohoto důvodu, kdyby se spojila duralová forma s PVD povlakem mohlo by jít o levnější a možná i lepší variantu vstřikování. [26, 27]

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 FYZIKÁLNÍ DEPOZICE PAR (PVD)

PVD (Physical Vapour Deposition) je technologie pro vytváření tenkých otěruvzdorných vrstev. V řízené atmosféře jsou pevné látky (nitridy titanu, hliníku, nebo zirkonu) nanášeny na požadovanou plochu. [1,2]

Povlak vzniká kumulováním částic, na povlakovaném povrchu. Vznik souvislé vrstvy lze rozčlenit do čtyř stádií Obrázek 1. První stádium je nukleace, během které se na povrchu postupně usazují jednotlivé atomy, které jsou zde udrženy chemickými reakcemi, či fyzikální sorpcí. Atomy se mohou volně pohybovat na povrchu. V dalších stádiích začínají vznikat jádra, tedy menší shluky atomů, které se následně rozrůstají až do vzniku souvislé vrstvy povlaku. [3]



Obrázek 1 Vznik souvislé vrstvy povlaku [3]

1.1 Nanášení PVD povlaku

Povlaky se nanášejí ve vakuové komoře za přítomnosti plynu (např. argon, nebo dusík) při tlaku 0,1-2 Pa, při teplotách 30 až 500 °C. Podmínky závisí na druhu povlaku a vlastnostech materiálu. PVD povlak může být nanášen napařováním, napařováním, nebo iontovou implantací. [1,2]

Přípravná fáze povrchu pro povlakování má tři části. V první části je nutné provést bezchybné očištění a odmaštění povrchu. Odmaštění povrchu může být provedeno mechanicky pomocí mírně alkalického vodného roztoku tenzidu, nebo pomocí ultrazvukové lázně, či vodnými oplachy. Po odmaštění následuje sušení teplým proudem vzduchu. Druhá část už probíhá ve vakuové komoře, z komory jsou odčerpány povrchově vázané plyny a poté se proudem iontů plynu, či kovu odstraní pár nanometrů povrchové vrstvy. Během

celé druhé části je výrobek temperován. Poslední část přípravné fáze končí poté co povrch je bezvadný a výrobek je vytemperován na požadovanou teplotu pro povlakování. [2]

Etapa tvorby vrstvy je především dána možnostmi stroje, ale je i z jisté míry ovlivněna zkušenostmi zaměstnance a precizností provedení práce. Pro ukotvení vrstvy je nutné zajištění částečné modifikace povrchu implantací částic, nebo nanesením mezivrstvy zvyšující adhezi povrchu k povlaku. Adheze je nejzákladnější parametr v průběhu PVD metody povlakování. [2]

Proces povlakování je zakončen zchlazením výrobku s naneseným povlakem pod teplotu oxidace oceli (cca. 200 °C) a vyjmutí z vakuové komory. [2]

1.1.1 Výhody PVD metody

- Nízké teploty během procesu
- Povlaky jsou přesné i u ostrých hran (o poloměru až 20 μm)
- Vysoká odolnost a nízký koeficient tření
- Velké množství druhů povlaků
- Malá tloušťka vrstvy [1,3]

1.1.2 Nevýhody PVD metody

- Nutný vakuový systém
- Nutnost pohybovat povlakovaným dílem (zamezení stínového efektu)
- Velikost výrobku je omezena velikostí komory [1,3]

1.2 Modifikace PVD metody

PVD metoda má různé modifikace, které se liší ve způsobu vytvoření plynné fáze. [3]

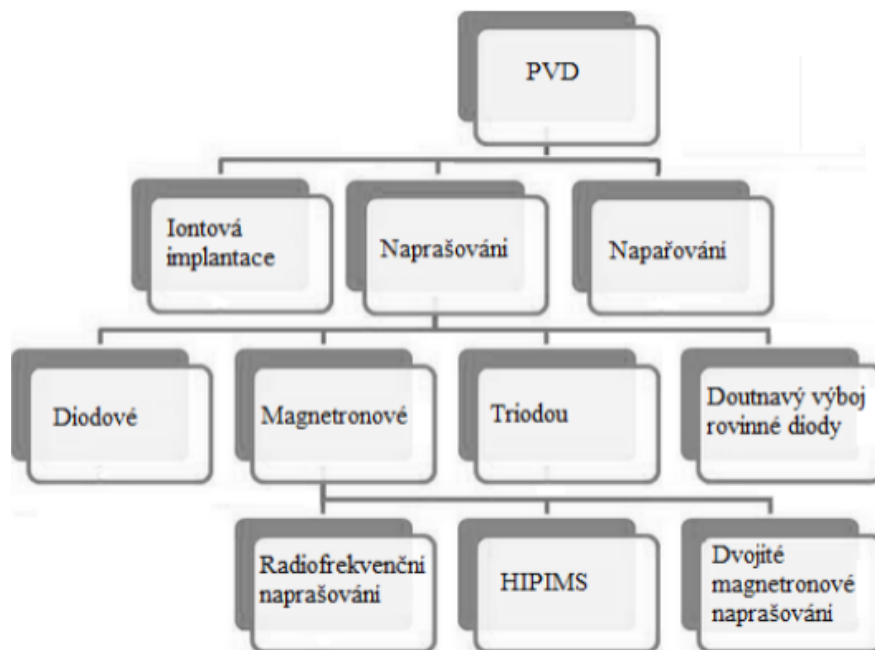
1.2.1 Naprašování

Probíhá při tlaku nižším než 0,7 Pa, lze povlakovat i při tlaku 0,7 do 2 Pa, ale dochází k ohřevu odprášených částic z důvodu srážek s molekulami pracovního plynu. Odprašování částic povlakového materiálu probíhá za pomoci elektrického pole, které urychluje ionty, obsažené v plazmě vytvořené z pracovního plynu (např. argon). Ionty následně dopadají na povrch terče a vyrážejí atomy povlakového materiálu. Naprašování je rozděleno do čtyř

skupin dle principu, jakým dochází k uvolňování částic z terče, kdy magnetronové naprašování má tři modifikace viz Obrázek 2. [3]

Metoda je vhodná pro vytváření povlaků z těžkotavitelných materiálů. Zároveň je možné vytvářet povlaky z nevodivých materiálů, ale musí být splněna podmínka střídavého proudu, aby nedocházelo k elektrickému nabití terče. Mikrostruktura vrstvy lze regulovat tlakem a teplotou. [3]

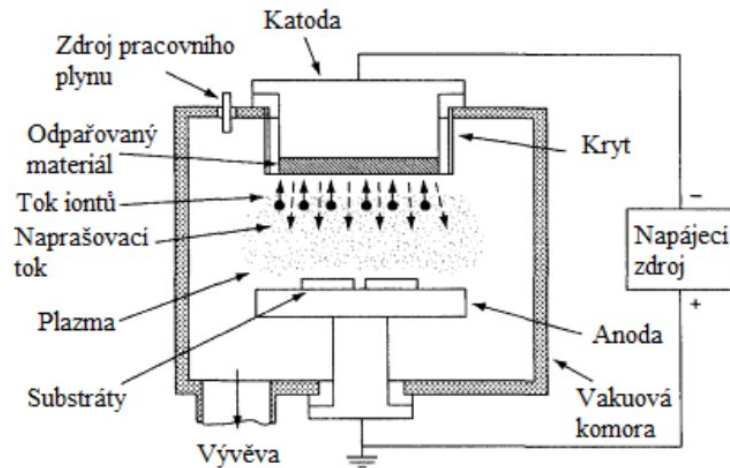
Zařízení je tvořeno vakuovou komorou s vývěvou, přívodem pracovního plynu a energie. Uvnitř vakuové komory se nachází terč s povlakovým materiálem (katodou) a držákem povlakované součásti. [3]



Obrázek 2 Rozdělení PVD dle napařování [4]

Napařování doutnavým výbojem rovinné diody

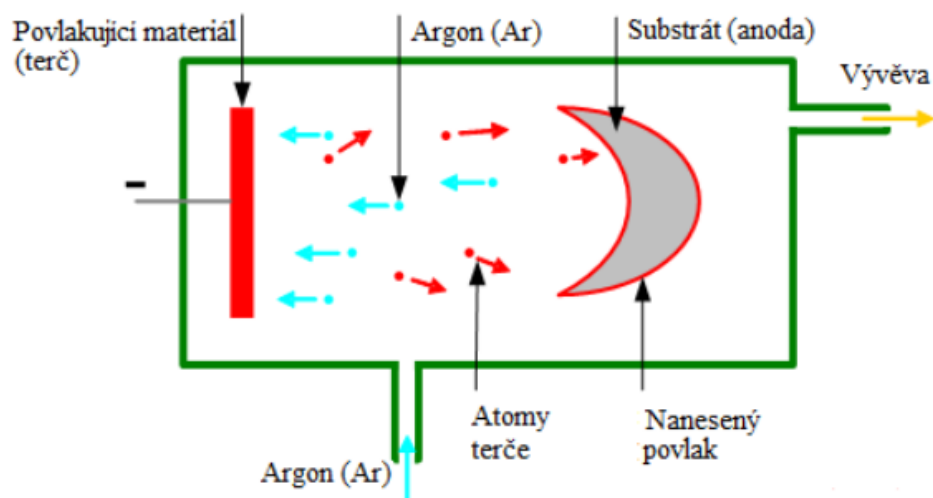
Terč s povlakovým materiálem slouží jako katoda, povlakovaný díl je naopak upevněn k anodě maximálně 100 mm od terče. Na rychlost povlakování má vliv především vzdálenost povlakovaného dílu od terče, hustota proudu na katodě a tlak v komoře. Schéma napařování doutnavým výbojem rovinné diody lze vidět na Obrázku 3. [3,5]



Obrázek 3 Napařování doutnavým výbojem rovinné diody [3]

Diodové napařování (Diode sputtering)

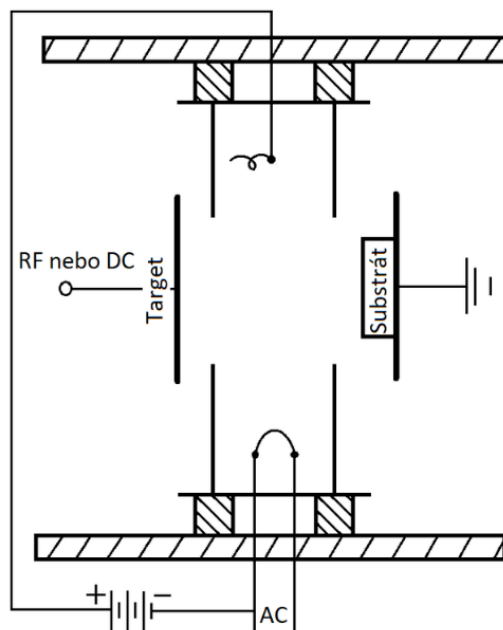
Metoda spočívá ve vysokém záporném rozdílu potenciálů (1000 V) mezi povlakovaným dílem a terčem (povlakujícím materiálem) v prostředí argonu. Z terče se uvolňují elektrony, které se sráží s atomy a ionty argonu a tím získávají kladný náboj. Elektrony jsou poté urychleny směrem k povrchu a při nárazu uvolní povlakový materiál na povlakovaný díl. Materiál z terče je uvolněn přímo k anodě (povlakovanému dílu), ale během napařování dochází ke kolizím povlakovaného dílu s atomy argonu. Schéma povlakování diodovým napařováním můžeme vidět na Obrázku 4. Tento jev má za následek nanesení slabého povlaku, který může být na nerovném povrchu velice rovnoměrný. Nevýhodou je, že spousta materiálu z terče povlakuje spíše povlakovací systém. [5]



Obrázek 4 Diodové napařování [5]

Naprašování triodou (Triode sputtering)

Z důvodu snížení tlaku a zvýšení ionizace plazmy je využíváno termoemisní vlákno (např. wolframové). Katoda (vlákno) předává elektrony přímo do plazmy, které jsou přitahovány anodou. Terč s povlakovým materiálem je umístěn v blízkosti plazmového výboje a elektrony jsou v plazmě urychlovány směrem k záporně nabitému terči viz Obrázek 5. Výhodou naprašování triodou je hustota, adheze, rychlost depozice povlaku a malé znečištění povlaku. Metoda má jednu nevýhodu, možnost nestability vlákna. [5]

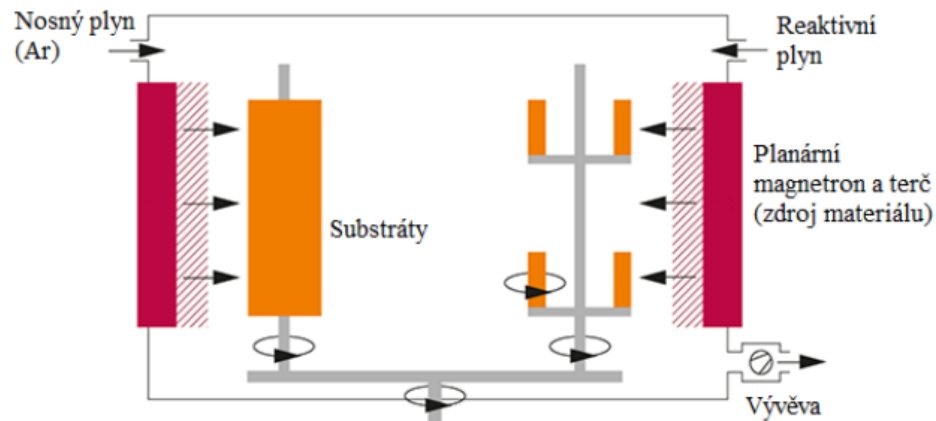


Obrázek 5 Naprašování triodou [6]

Magnetronové naprašování (Magnetron sputtering)

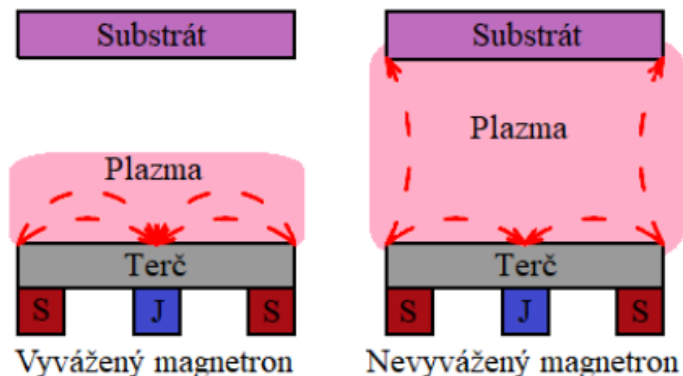
Nejčastější využití této metody je pro vodivé povlaky. Magnetronové naprašování je založeno na poměrně jednoduchém principu, do terče narážejí energetické částice a uvolňují povlakový materiál z terče a ten přilne na povlakovaný díl. Povlak zachovává přesný poměr složek a umožňuje rovnoměrně povlakovat i větší plochy. [3,5]

Zařízení viz Obrázek 6 se skládá z vakuové komory, která udržuje vysoké vakuum, pracovní plyn a tlak okolo 0,1 Pa. Díly jsou umístěny nad terčem s povlakovým materiálem (katoda). Nad terčem je zapálen doutnavý výboj (plazma). Pod terčem se nachází silný magnet, který je chlazený vodou. V přítomnosti magnetického pole je efektivnější ionizace pracovního plynu v plazmě a tím je urychleno rozprašování terče. [3,5]



Obrázek 6 Magnetronové naprašování [3]

Dle tvarů a umístění magnetů existuje několik možných sestavení, například s rovinným či válcovým magnetronem, nebo dle poměru sil vnitřních a vnějších segmentů magnetu. Na Obrázku 7 můžeme vidět vyvážený (nalevo) a nevyvážený magnetron (napravo). V případě vyváženého magnetronu se plazma drží v blízkosti teče a substrát je méně ovlivňován, naopak tomu je u magnetronu nevyváženého. [3]

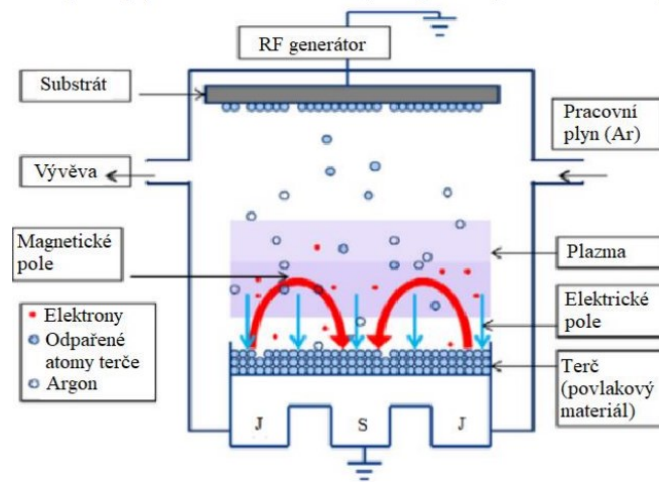


Obrázek 7 Schéma vyváženého a nevyváženého magnetronu [3]

Radiofrekvenční naprašování (Radio Frequency Sputter Deposition)

Metoda obohacuje magnetronové naprašování o povlaky z nevodivých a polovodivých materiálů. K využití metody je nutný velký rozdíl hmotností mezi ionizovanými částicemi plynu a elektronů v plazmě. Nutná frekvence k udržení se pohybuje mezi 5 až 30 MHz, ale systém je nastaven na frekvenci 13,56 MHz, aby byla vyloučena potřeba sekundárních elektronů. Velká nevýhoda metody je nižší povlakovací rychlost z důvodu nedostatku sekundárních iontů pro ionizaci pracovního plynu. Vysokofrekvenční

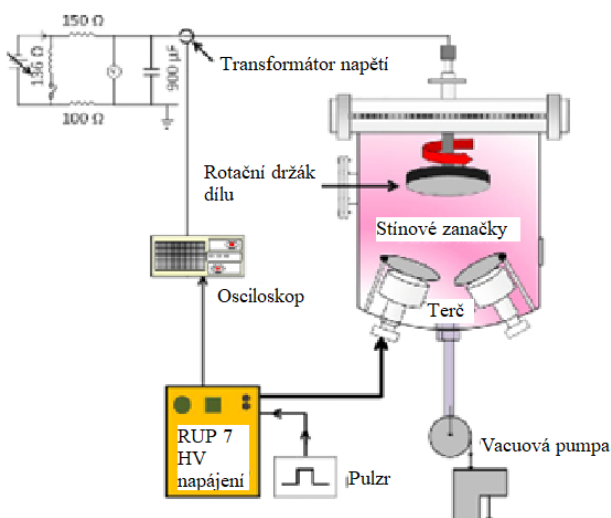
zdroj je poměrně nákladný a ladění systému je složité. Schéma systému radiofrekvenčního naprašování je znázorněno na Obrázku 8. [3,5,7]



Obrázek 8 Radiofrekvenční naprašování [3]

Impulzivní magnetronové naprašování vysokým výkonem - HiPIMS (High Power Impulse Magnetron Sputtering)

Metoda je kombinací magnetronového naprašování s obloukovým naprašováním viz Obrázek 9. Metoda je nejpomalejší z metod naprašování, ale je vhodná pro leptání a výsledný povlak je dobře přilnavý, hustý a velice hladký. Je potřeba vysoký výkon a naprašované atomy vstupují přímo do povlakovávaného materiálu, čímž vzniká hustý sloupcový povlak. [5]



Obrázek 9 Schéma HiPIMS metody [8]

1.2.2 Napařování

Odpařování probíhá pomocí různých zdrojů ohřevu terče, které jsou čtyři druhy. Obloukové napařování se dělí na řízené a náhodné, viz Obrázek 10. Povlakovaný díl může být ohříván, nebo je připojen k stejnosměrnému proudu, či ke střídavému napájení (RF frekvence) pro vytvoření požadovaného předpětí. Odpařování materiálu z terče probíhá ve vakuové komoře při tlaku 0,1-0,001 Pa. Z důvodu velmi nízkého tlaku je střední volná dráha mezi částicemi relativně velká (může dosahovat až 107 cm), to vede k nerovnoměrné tloušťce povlaku. Ke zmenšení střední volné dráhy je využíván aktivní plyn (např. argon) pod tlakem 0,7-27 Pa, takže odpařované atomy narážejí do atomu plynu během pohybu směrem k povlakovanému dílu a vytvářejí rovnoměrnější vrstvu. [3,5]

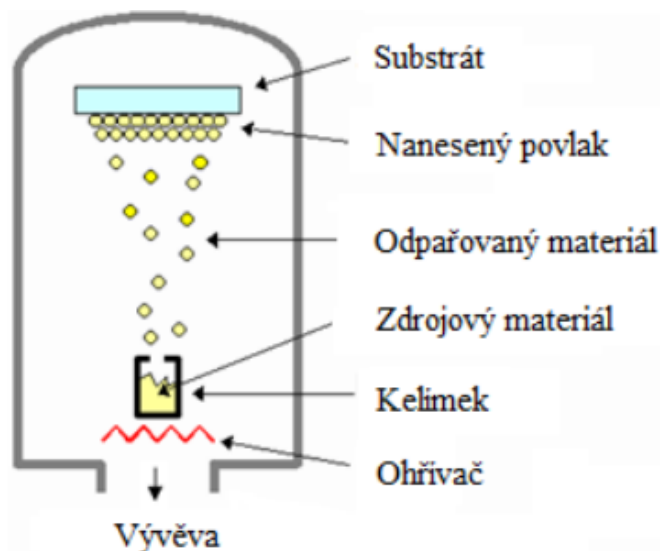


Obrázek 10 Rozdělení PVD dle napařování [4]

Odporové napařování (Resistance evaporation)

Využívají se ohřivače (drátěné, nebo fóliové) s výkonem drátu nebo fólie 1-3 kW, s proudem 20-500 A. Nanášení je prováděno za nízkého tlaku a ve vakuu. Zdrojový materiál bývá uložen v žáruvzdorném kelímku, který je uložen v drátěném ohřivacím koši viz Obrázek 11. Koše na žáruvzdorné kelímky jsou vyráběny z materiálů, které mají vysokou teplotu tání (např. wolfram, tantal, molybden), při napařování při nízkých teplotách mohou být ohřivače vyrobeny například z niklu nebo oceli. Povlakový materiál bývá většinou hliník, stříbro, nitrid, tantal, chlór nebo oxid křemičitý. [3,5]

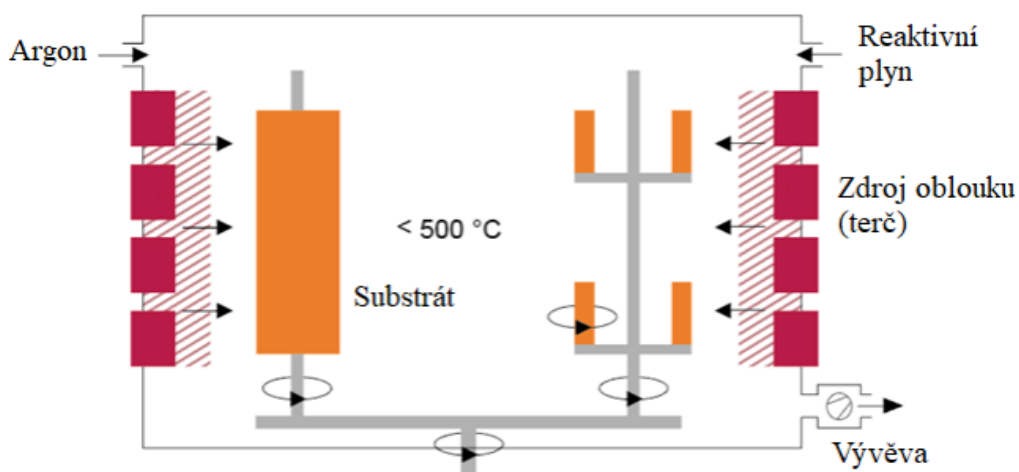
Metodou odporového napařování je možné vytvářet velmi čisté povlaky, pokud nedojde k chemické reakci mezi povlakovým materiálem a ohřivačem. Jedná se o nejjednodušší a nejlevnější metodu PVD. Nevýhodou je velký zahřívací terč, obtížné nanesení různých slitin a sloučenin. Metodu lze využít na menší a méně tvarové díly. [3]



Obrázek 11 Schéma odporového napařování [5]

Obloukové napařování (Arc evaporation)

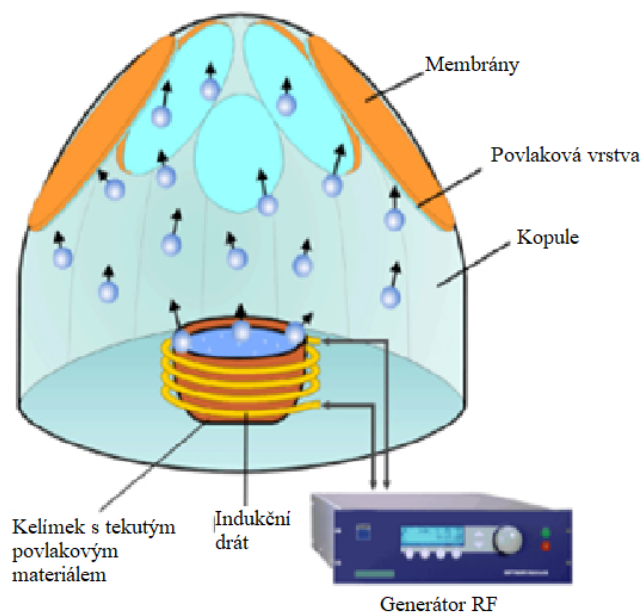
Povlakový materiál je odpařen obloukem o průměru několik mikrometrů. Využívá se vysoký proud a hustota, takže odpařený materiál je ionizován a vytváří plazmu. Do komory je přiváděn reaktivní plyn viz Obrázek 12, který na sebe váže kovové odpařené částice a přenáší je na povlakovaný díl. [5]



Obrázek 12 Schéma obloukového odpařování [3]

RF Indukční napařování (Induction evaporation)

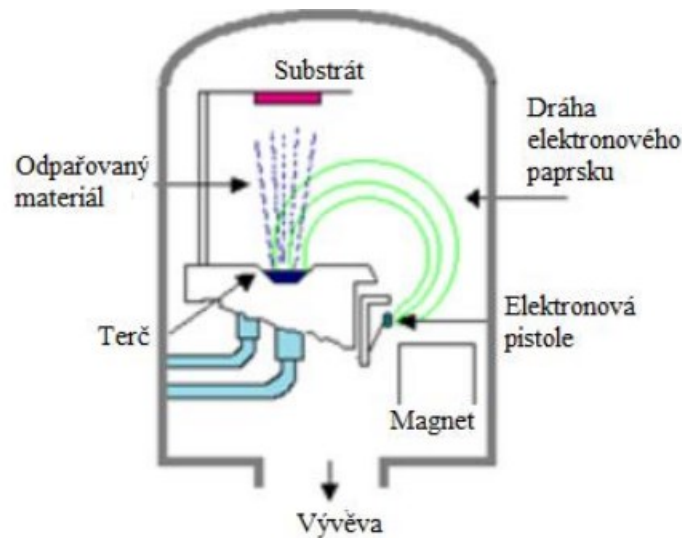
Odpařuje se kapalný materiál, který je umístěn v žáruvzdorném kelímku, který je zahříván pomocí indukční cívky působením vysokofrekvenčního proudu viz Obrázek 13. K nasměrování částic na povlakovaný díl slouží vakuum a membrány, které jsou umístěny uvnitř kopule. [5]



Obrázek 13 Schéma RF indukčního napařování [10]

Napařování elektronovým paprskem – EB-PVD (Electron beam evaporation)

Elektronové děla (katoda) generují výkonné elektronové paprsky, které odpařují materiál z terče (anoda) viz Obrázek 14 a zároveň dochází k nahřátí povlakovaného dílu. Pro velkou skupinu materiálů nelze využít přímé odstřelování terče a je nutné využít magnetického pole pro řízení trajektorie elektronů. Při této metodě lze nanášet materiály s vysokým bodem tání (např. Wolfram, Tantal) a kontrolovat rychlost odpařování. [3,5]



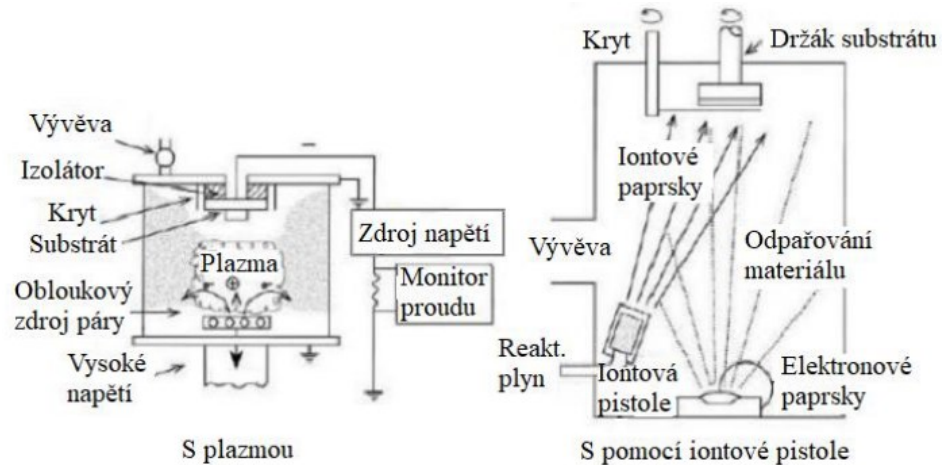
Obrázek 14 Schéma napařování elektronovým paprskem [5]

1.2.3 Iontová implantace

Metoda má dvě variace implantace, za pomoci iontové pistole (IBED) a iontová implantace s plazmou, které jsou vyobrazeny na Obrázku 15. U obou možností dopadající svazek iontů na povlakovaný díl zapříčiní čištění povrchu před samotným nanesením povlaku. Metoda je vhodná pro mnoho povlaků při poměrně nízkých teplotách 200-450 °C. Povlaky nanesené touto metodou disponují výbornou přilnavostí povlaku k materiálu, rovnoměrností a nízkým napětím v povlakové vrstvě. Nevýhodou je množství vstupních podmínek, které mohou zanést vadu. [3]

Iontová implantace s plazmou, která se nachází na Obrázku 15 nalevo, využívá silné elektrické pole a napětí 50-1000 V. Ionty plazmy, která vzniká ionizací plynu za pomoci elektrického výboje, bombardují terč a uvolňují částice povlakového materiálu. Zároveň dochází k ionizaci vyražených částic, které následně vytvoří povrch. [3]

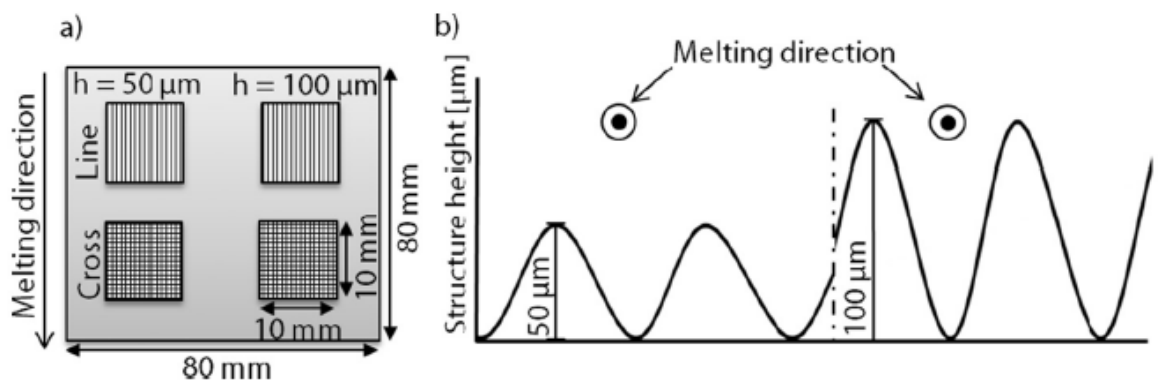
Zatímco při implantaci za pomoci iontové pistole, která je vyobrazen na Obrázku 15 vpravo, jsou ionty generovány pistolí a k uvolňování částic z terče dochází za pomoci elektronového odpařování. [3]



Obrázek 15 Schéma iontové implantace [3]

1.3 Povlakování vstříkovací formy

U kombinace laserového strukturování dutiny formy viz Obrázek 16 a PVD metody bylo pozorováno, že se výrazně zlepšilo odformování výrobku z formy, hlavně u křehkých materiálů. Při potažení mikrostrukturované formy (mfMS) povlakem (chromu, hliníku) byl nárůst opakování cyklu o 30 % vyšší než u formy bez povlaku. Nadále byl zjištěn významný pokles koeficientu tření a nízká smyková energii. Malá drsnost povrchu umožňuje lepší zatékání polymerních tavenin a zvyšuje optické vlastnosti polymerních výrobků. [11]

Obrázek 16 a) Schéma mikrostrukturované formy b) zkoumané mikrostruktury se strukturálními výškami $h = 50$ a $h = 100 \mu\text{m}$ [11]

2 VSTŘIKOVACÍ CYKLUS

Jedná se o cyklický termodynamický proces tváření. Polymery jsou ve formě granulí (válečky, čočky, kuličky). Pomocí vstřikování jsme schopni vyrábět velmi přesné díly za poměrně krátký čas. Vstřikují se termoplasty, reaktoplasty a termoplastické elastomery. Vstřikovací lis Obrázek 17 může být obohacen o robotiku pro snadnější vybrání z formy a pro zachování bezvadnosti výrobku. [12,14]



Obrázek 17 Vstřikovací lis značky ARBURG [13]

2.1 Strojní časy

2.1.1 Uzavření formy

Zavření formy a utěsnění je první fází vstřikovacího cyklu. Závisí pouze na výrobě formy a vzdálenosti odsunutí. Čas přijetí formy a dosednutí je nastaveno tak, aby bylo co nejrychlejší a zároveň co nejplynulejší, aby nebyla poškozena forma. Zároveň musí být uzavírací tlak takový, aby během vstřikování nepovolil a polymer nepřetekl do dělicí roviny. Vzniklé přetlaky jsou vizuální i technická vada. [15]

2.1.2 Příjezd plastifikační jednotky

Pokud nemáme formu s horkými zabudovanými vstřiky, plastifikační jednotka přijíždí k uzavřené vstřikovací formě. Čas je nastaven nejkratší možný, některé stroje to mají nastaveno automaticky. [15]

2.2 Vstřikovací časy

2.2.1 Doba vstřikování

Rozhoduje o zaplnění tvarové dutiny formy a o vlastnostech hotového výrobku. Jedná se o opravdu krátký časový úsek, protože polymer musí být dodán do formy co nejrychleji. Teplota musí být optimalizována tak, aby na povrchu součásti nevznikalo příliš vysoké smykové napětí. Rychlost vstřikování se odráží na povrchových vadách výstřiku (vrásnění, tokové čáry, studené spoje). Doba plnění se pohybuje od zlomku sekundy po několik sekund, záleží na velikosti, tvaru výrobku, tloušťce stěny, velikosti vstřikovací trysky, konstrukci vtokové soustavy a viskozitě polymeru. Nelze nastavovat velkou vstřikovací rychlost při nízkém tlaku a naopak. Při nízkém tlaku je nebezpečí nedostříknutých dílů, při vysokém vstřikovacím tlaku je nebezpečí vzniku přetoků. [15]

K plnění dutiny formy dochází za pomoci axiálního pohybu šneku (vpřed). Rychlost pohybu šneku dopředu je závislá na teplotě taveniny, teplotě formy a vstřikovacímu tlaku. Protože je forma chlazená, polymer přirozeně u stěn formy tuhne rychleji nežli plastické jádro, které umožňuje průtok polymeru do dutiny formy. Teče směrem ke stěnám, do doby, než dojde k naplnění téměř celé dutiny. Rychlost tečení polymerů klesá od středu směrem ke stěně formy a dochází k poklesu vstřikovacího tlaku. Pokud se polymer ochlazuje moc rychle mohl by vzniknout nedostříknutý zmetek. [15]

Konec doby vstřikování je vyznačováno vysokým nárůstem tlaku ve formě, který do jisté míry lze kompenzovat dotlakem, který je hned následující fází. [15]

2.2.2 Dotlak

Účelem dotlaku je dodání materiálu během chladnutí výrobku, kvůli zamezení vzniku propadlin, staženin, zvětšení hmotnosti výstřiku a vysokému namáhání formy. V určitý moment je nutné přepnout tlak na nižší a prudce vtlačit polštář materiálu před šnekem do formy. Nejdřív je dotlak vyšší, kvůli využití vysoké tekutosti taveniny a poté se dotlak snižuje kvůli orientaci v okolí vstřiku. Pokud je přepnuto na dotlak moc brzy, může dojít k nedostříknutému výrobku. Doba dotlaku závisí především na průřezu vtokového kanálu. Trvá několik málo sekund až desítek sekund. [15]

2.2.3 Chlazení

Závisí na tloušťce stěn výstřiku, druhu plastu, teplotě taveniny a teplotě formy. Doba chlazení se pohybuje od několika sekund až po minuty, ovšem snaha je ho snížit na co nejkratší čas. Chladnutí má vliv na orientaci, krystalizaci, smrštění, hmotnost výrobku, deformace a kvalitu povrchu (především lesk). Pokud je chlazení nedostatečné mohl by se výrobek lepit na formu, nebo by byly výrazné obrysy po vyhazovačích. Z toho důvodu musí mít výstřik při vyhazování minimálně takovou teplotu, při které nedochází k žádným nežádoucím deformacím. K dochlazení výrobku dochází už mimo formu. Snížení chladicí doby je výhodné především z hlediska ekonomického. [15]

2.2.4 Plastifikace

Probíhá zároveň s chlazením a vyhazováním výrobku. Je to čas potřebný k tomu, aby došlo k plastifikování potřebné dávky plastu a umístění zhomogenizované dávky materiálu před čelo šneku. Objem dávky se rovná objemu dutiny formy, vtokům a velikosti dotlaku. [15]

3 DEFEKTY POVRCHU VSTŘIKOVANÝCH DÍLŮ

Kvalita vzhledu je jeden z nejdůležitějších kritérií kvality. Na některé vady jsou už specifická konstrukční pravidla, které by měli vadám zabránit, nebo je minimalizovat. Mezi tyto vady řadíme studené spoje, špatné rozložení vláken na povrchu dílu a propadliny, spáleniny, delaminace. [16,17]

Mezi hůře identifikovatelný původ vad může patřit vakuové dutiny, nedostříknutý výrobek, deformace, pomerančový povrch a stříbření. [17]

Některé vady mají nejasný důvod a jsou špatně kontrolovatelné. Konstruktéři nemohou ovlivnit ani předpovídat pravděpodobnost výskytu těchto vad. Každopádně dopad na kvalitu může být velice významný. K těmto vadám patří například střídání matných a lesklých ploch, povrchové skvrny, heterogenita drsnosti povrchů, znaky toku. [16]

3.1 Řešení povrchových vad

Nejlepším řešením vad je jím předejít. Předejít vadám můžeme konstrukcí výrobku, konstrukcí formy a sušením materiálu. Pokud k vadám během vstřikovacího procesu dochází je nutné upravit technologické podmínky, pokud by to problém nevyřešilo, bude problém v konstrukci, ve stroji, nebo v materiálu (nedostatečné vysušení, nečistoty atd.). [16,17]

3.2 Optimalizační technika Taguchi

Jedná se o inženýrskou analýzu pro optimalizaci výkonnostních charakteristik a konstrukčních parametrů. K výpočtové technice se využívá ANOVA. Může být využita i pro návrh vysokých systémů kvality. Technika má tři stupně návrh, návrh parametrů a návrh tolerance. Návrh systému spočívá ve využití technické a vědecké informace pro výrobu součástí. Návrh tolerance spočívá v navržení kombinace ideálních parametrů. Následuje spojení designu, jakosti výrobku s technickými parametry. Po použití techniky Taguchi bylo prokázáno, že deformace se zlepšila o 2,17 % a dále že, smrštění bylo menší přibližně o 0,7 %. [18][27]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

4 ZVOLENÉ MATERIÁLY PRO EXPERIMENT

Bylo vybráno pět materiálů, které se využívají v běžné praxi. Vstřikovací podmínky jsou zvolené dle materiálového listu jednotlivých plastů. Do amorfních polymerů a termoplastického elastomeru bylo využito barvivo pro snadnější měření deformace, kdy je nutný neprůhledný povrch.

4.1 Amorfní polymery

4.1.1 Polykarbonát APEC 1895 - PC

- Transparentní, houževnatý a tepelně stabilní (použití -30-140 °C), umožňuje metalizaci a vysokou rozměrovou přesnost a stabilitu,
- Odolnost vůči chemikáliím, oděru a degradaci
- Navlhavý, před zpracováním se musí sušit, obsah vlhkosti maximálně 0,2 %.
- Světlomety
- Více podrobností v Příloze 1

4.1.2 Akrylonitrilbutadienstyren MAGNUM 3504 - ABS

- Vynikající kvalita povrchu, stálobarevnost a lesk, úspora hmotnosti, vysoká tepelná odolnost, lze galvanicky pokovovat, houževnatý, pevný
- Obecné účely
- Více podrobností v Příloze 2

4.2 Semikrystalické polymery

4.2.1 Polypropylen MOSTEN GB005 - PP

- Zakalený, dobrá chemická, elektrická a tepelná odolnost, poměrně levný
- Navlhavost a nasákavost je 0,2 % (navlhavost je velmi malá a dochází k ní pouze na povrchu, tedy nedochází z důvodu nasákavosti k rozměrovým změnám výrobku.
- Technické díly, obaly na potraviny, střiž, monoaxiálně orientované pásy, motouzy
- Více podrobností v Příloze 3

4.2.2 Polyacetal DERLIN 100 - POM

- Houževnatý, odolnost proti opakovanému rázu, vysoká tažnost, mechanická pevnost a tuhost, dlouhodobá odolnost proti únavě
- Doporučuje se sušení
- Tlakové nádoby a automobilový průmysl, domácí spotřebiče, sport a elektronika
- Více podrobností v Příloze 4

4.3 Termoplastický elastomer

4.3.1 Polyolefinový elastomer ENGAGE 8401 - POE

- Vynikající rázová houževnatost, pružnost, mechanická odolnost, nízká hustota a hmotnost, recyklovatelnost, pevný, malé smrštění, dobrá tepelná odolnost
- Automobilový průmysl, obuvnické pěny, izolace kabelů a dále
- Více podrobností v Příloze 5

5 POVLAK SIGAAN P_x

Jde o velmi nový keramický povlak viz Obrázek 18 a Obrázek 19 na bázi křemíku nanesený PVD metodou magnetronového naprašování. Jedinečným složením a svými vlastnostmi by měl eliminovat lepivost polymeru k formě, zrychlovat vstřikovací cyklus, tok taveniny a zvyšovat životnost formy. Tyto vlastnosti povlaku jsou teprve zkoumány. Podrobnější informace o povlaku můžete nalézt v Příloze 6. [19]



Obrázek 18 Povlakované vložky do formy pro trámeček



Obrázek 19 Povlakované vložky do formy pro lopatku

6 SMRŠTĚNÍ

Jedná je o objemovou změnu plastového dílu, která vzniká při chlazení výrobku. Výrobní smrštění se měří v rozmezí 24-48 hodin po vyrobení (při 23 °C a relativní vlhkosti vzduchu 50 %), kdežto dodatečné smrštění se měří po 48 hodinách nebo déle. Dodatečné smrštění se měří z důvodu pozdější relaxace napětí a v případě semikrystalických polymerů sekundární krystalizaci. Na smrštění má vliv konstrukce výrobku, technologické parametry, materiál, či plnivo. Výpočet výrobního smrštění (VS) je uvedeno v Rovnici 1, dodatečné smrštění se počítá téměř identicky. [15, 21, 25]

$$VS = \frac{L_F - L_V}{L_F} \cdot 100 = [\%] \quad (1)$$

VS ... Výrobní smrštění

L_F ... Rozměr dutiny formy

L_V ... Rozměr výrobku mezi 24-48 hodinami

6.1 Postup měření smrštění

6.1.1 Přístroje a pomůcky

- Vstřikovací stroj Demag ergotech 50-200 system
- Duralová forma
- Ocelová forma
- Mikrometr
- Drobné laboratorní pomůcky

6.1.2 Příprava vzorků

Vzorky byly vstřikovány na vstřikovacím stroji z pěti materiálů ABS, PP, POM, PC, POE byly zvoleny vstřikovacích podmínek uvedeny v Tabulce 1. Podmínky byly zvoleny dle materiálových listů a doporučené literatury. Měnily se časy dotlaku, protože se zvyšující dobou dotlaku smrštění klesá exponenciálně. U POE a POM se měnily časy chlazení, protože POM má smrštění poměrně vysoké dle Přílohy 4 a čas chlazení má na smrštění větší vliv než doba dotlaku. Doba dotlaku a chlazení byla zvolena experimentálně. Jednalo se o hraniční časy, kdy výrobky ještě byly bezvadné a odformovaly se bez problému. Z každé série bylo připraveno 15 tělísek na kterých bylo změřeno výrobní smrštění za 24 hodin

a dodatečné smrštění po sedmi dnech. Rozměry z každé série byly zprůměrované a následně z průměrů rozměrů bylo vypočteno výrobní i dodatečné smrštění podle Rovnice 1. [20]

Tabulka 1 Vstřikovací podmínky pro vzorky na zjištění smrštění

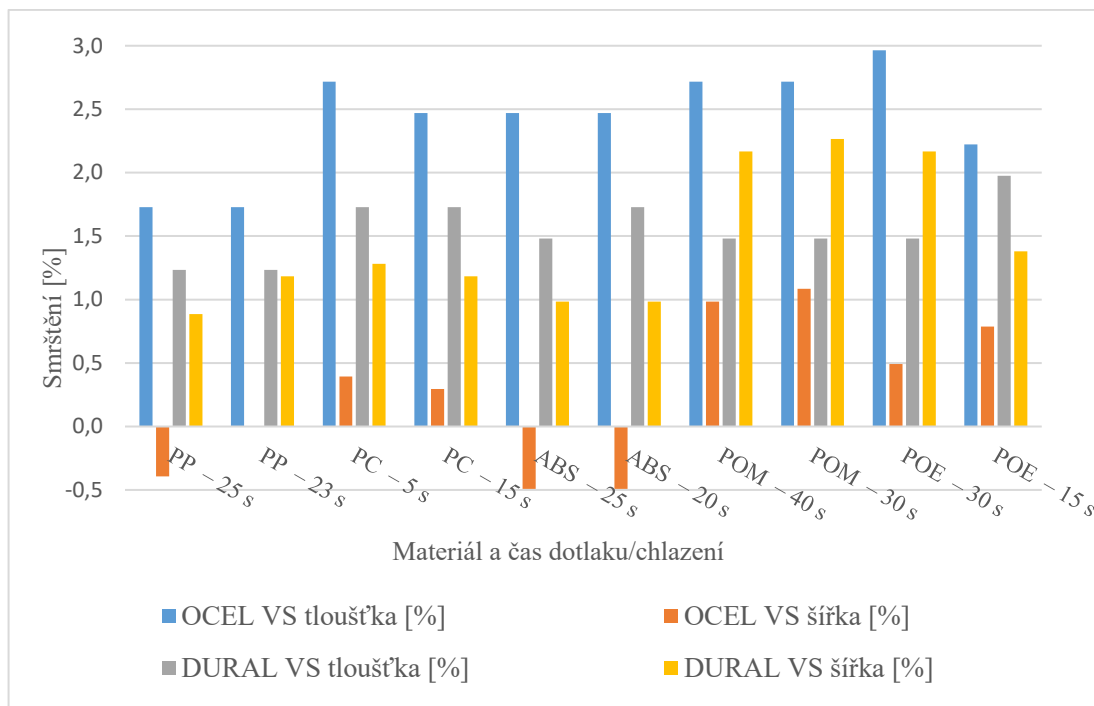
	Jednotky	PP Mosten GB005	PC APEC 1895	ABS Magnum 3504	POM Delrin 100	POE Engage 8401
T vstup. pásma	°C	180	220	180	180	110
T přech. p.	°C	210	290	240	210	130
T výstup p.	°C	220	300	250	230	135
T tryska	°C	230	300	235	220	140
T forma	°C	50	80	60	50	30
Vstřík. tlak	bar	600	950	850	850	600
Dotlak	bar	200	300	300	350	300
Čas dotlaku	s	23, 25	5, 15	20, 25	20	10
Čas chlazení	s	20	0	30	30, 40	15, 30
Vstřík. rychlost	mm/s	80	50	80	80	100

6.2 Naměřené hodnoty

6.2.1 Výrobní smrštění

Tabulka 2 Výrobní smrštění u ocelové a duralové formy

Po 24 hodinách	OCEL		DURAL	
	tloušťka [%]	šířka [%]	tloušťka [%]	šířka [%]
PP Mosten GB005 – 25 s	1,7	-0,4	1,2	0,9
PP Mosten GB005 – 23 s	1,7	0,0	1,2	1,2
PC APEC 1895 – 5 s	2,7	0,4	1,7	1,3
PC APEC 1895 – 15 s	2,5	0,3	1,7	1,2
ABS Magnum 3504 – 25 s	2,5	-0,5	1,5	1,0
ABS Magnum 3504 – 20 s	2,5	-0,5	1,7	1,0
POM Delrin 100 – 40 s	2,7	1,0	1,5	2,2
POM Delrin 100 – 30 s	2,7	1,1	1,5	2,3
POE Engage 8401 – 30 s	3,0	0,5	1,5	2,2
POE Engage 8401 – 15 s	2,2	0,8	2,0	1,4

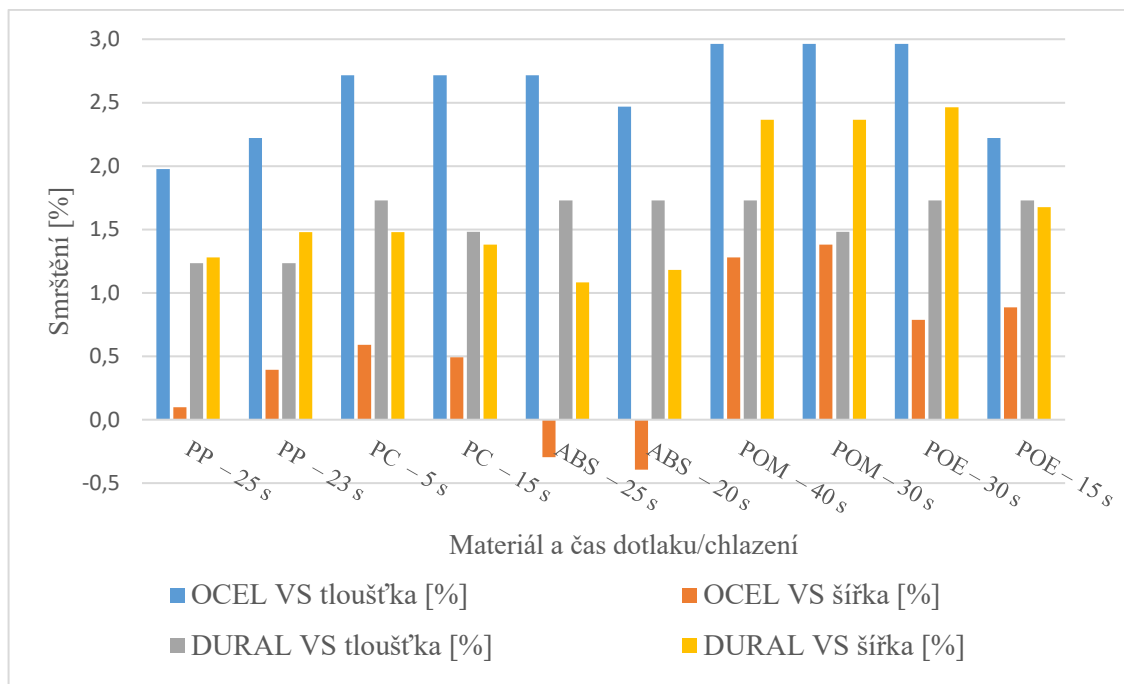


Obrázek 20 Výrobní smrštění pro ocelovou i duralovou formu

6.2.2 Dodatečné smrštění

Tabulka 3 Dodatečné smrštění u ocelové i duralové formy

Po 7 dnech	OCEL		DURAL	
	tloušťka [%]	šířka [%]	tloušťka [%]	šířka [%]
PP Mosten GB005 – 25 s	2,0	0,1	1,2	1,3
PP Mosten GB005 – 23 s	2,2	0,4	1,2	1,5
PC APEC 1895 – 5 s	2,7	0,6	1,7	1,5
PC APEC 1895 – 15 s	2,7	0,5	1,5	1,4
ABS Magnum 3504 – 25 s	2,7	-0,3	1,7	1,1
ABS Magnum 3504 – 20 s	2,5	-0,4	1,7	1,2
POM Delrin 100 – 40 s	3,0	1,3	1,7	2,4
POM Delrin 100 – 30 s	3,0	1,4	1,5	2,4
POE Engage 8401 – 30 s	3,0	0,8	1,7	2,5
POE Engage 8401 – 15 s	2,2	0,9	1,7	1,7



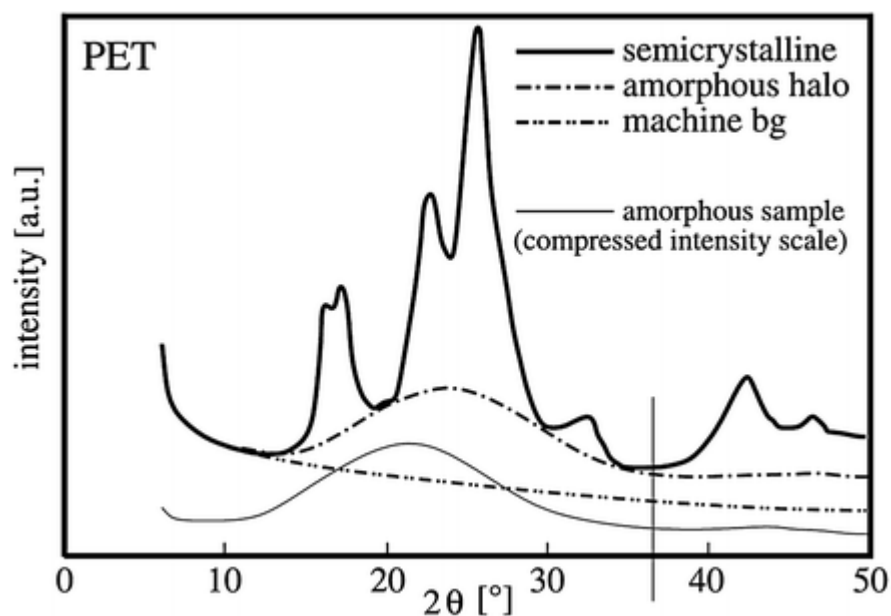
Obrázek 21 Dodatečné smrštění u ocelové i duralové formy

6.2.3 Diskuze smrštění

Dodatečné smrštění je vyšší u všech materiálů u některých až o půl procenta viz Obrázek 20 a Obrázek 21. Tloušťka výrobků z ocelové formy má mnohem větší smrštění než u výrobků z duralové formy, a to o skoro 2-2,5 %. Šířka výrobků z ocelové formy má nižší smrštění než u výrobků z duralové formy. ABS v ocelové formě nevykazuje žádné smrštění v šířce u výrobního ani dodatečného smrštění, naopak je o 0,5 % větší. PP u výrobního smrštění u ocelové formy je o 0,4 % větší, ale u dodatečného smrštění má již 1 %, což mohlo být způsobeno sekundární krystalizací.

7 ŠIROKOUHLÝ ROZPTYL RENTGENOVÉHO ZÁŘENÍ (WAXS)

Jedná se o neinvazivní metodu, díky které je možné zjistit podíl krystalické a amorfní fáze v polymerech. Metoda využívá monochromatické rentgenové záření. Pro širokouhlý rozptyl i difrakci se využívá difrakční úhel $2\theta > 5^\circ$, difrakční úhel 2θ , který je menší než 5° se využívá pro metodu malouhlového rozptylu rentgenového záření (SAXS). [22]



Obrázek 22 Metoda WAXS pro vzorek PET [23]

Na Obrázku 22 je viditelná amorfní část (amorphous halo, amorphous sample), které jsou vyznačeny čerchovanou čarou a tenkou plnou. Dále na Obrázku 22 můžeme vidět píky, které značí podíl krystalické fáze, vyznačeny jsou plnou tlustou čarou. [23]

7.1 Postup měření WAXS

7.1.1 Přístroje a pomůcky

- Rentgenový difraktometr Panalytical X'pert PRO
- Vstřikovací stroj Demag ergotech 50-200 systém
- Duralová a ocelová forma
- Drobné laboratorní pomůcky

7.1.2 Příprava vzorků

Vzorky byly vstříkovány na vstříkovacím stroji z tří materiálů PP, POM, POE byly zvoleny vstříkovacích podmínek uvedeny v Tabulce 4. Podmínky byly zvoleny dle materiálových listů a doporučené literatury. Měnily se časy dotlaku u PP a u POE a POM se měnily časy chlazení viz Tabulka 4. Z každé série byly měřeny 3 vzorky 3., 9., 12. v pořadí z 15 vzorkové série. Krystalinita byla vyhodnocena a v rámci série zprůměrovaná.

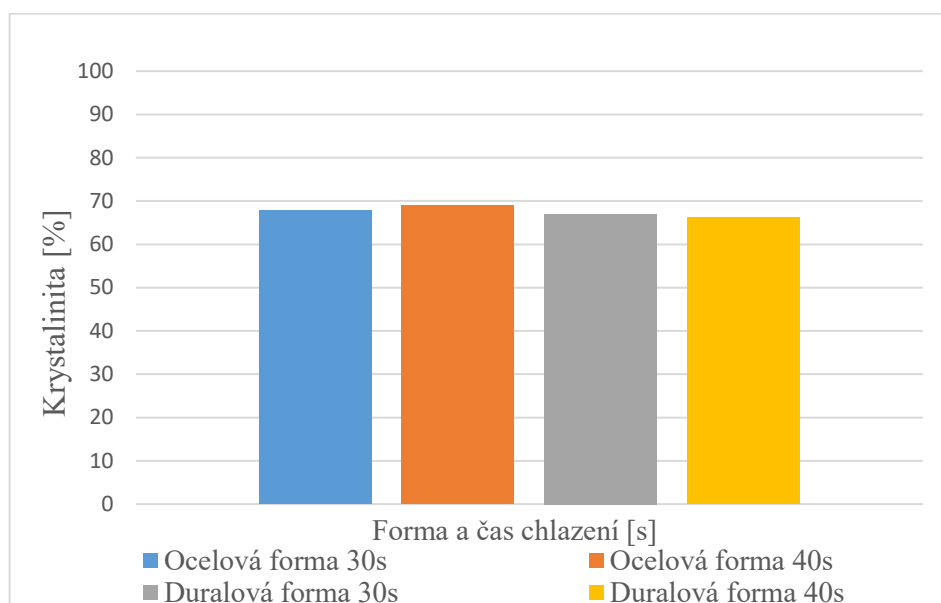
Tabulka 4 Vstříkovací podmínky pro vzorky na měření metodou WAXS

	Jednotky	PP Mosten GB005	POM Delrin 100	POE Engage 8401
T vstup. pásma	°C	180	180	110
T přech. p.	°C	210	210	130
T výstup p.	°C	220	230	135
T tryska	°C	230	220	140
T forma	°C	50	50	30
Vstřík. tlak	bar	600	850	600
Dotlak	bar	200	350	300
Čas dotlaku	s	17, 19, 21, 23, 25, 27, 29	20	10
Čas chlazení	s	20	30, 40	15, 20, 23, 26, 30, 33, 36, 39, 42
Vstřík. rychlost	mm/s	80	80	100

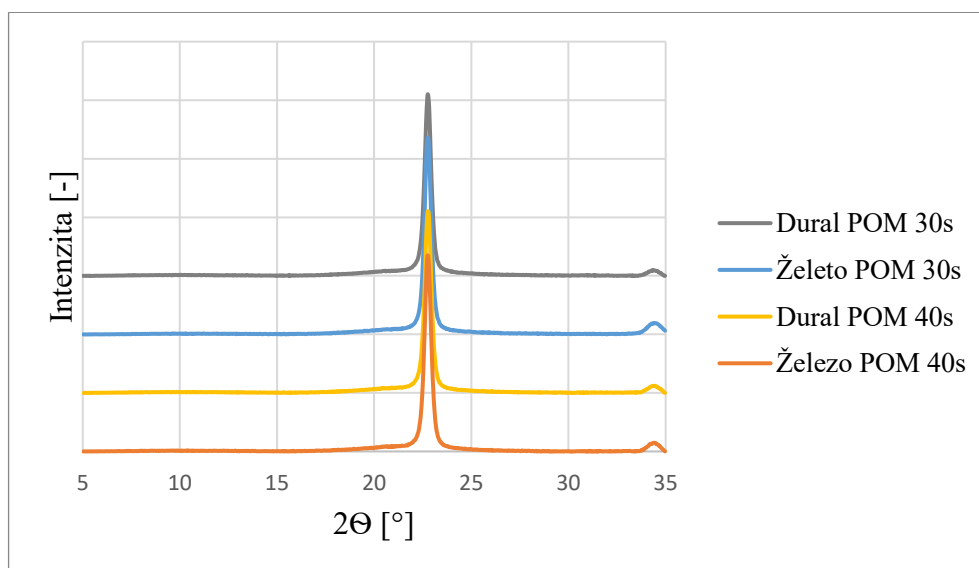
7.3 Naměřené hodnoty a diskuze

7.3.1 POM

Měřilo se od úhlu $5^\circ 2\theta$ do úhlu $35^\circ 2\theta$. Krystalinita mezi ocelovou a duralovou formou se liší v rámci chyby měření viz Obrázek 23. Na Obrázku 24 můžeme vidět výrazný pík od 20° do $25^\circ 2\theta$, který odpovídá procentům krystalické fáze. Kolem úhlu $34^\circ 2\theta$ je viditelný ještě jeden menší pík. Dle Obrázku 24 je viditelné, že vzorky z ocelové a duralové formy jsou téměř identické.



Obrázek 23 Hodnoty krystalinity u POM



Obrázek 24 WAXS graf pro POM

7.3.2 PP

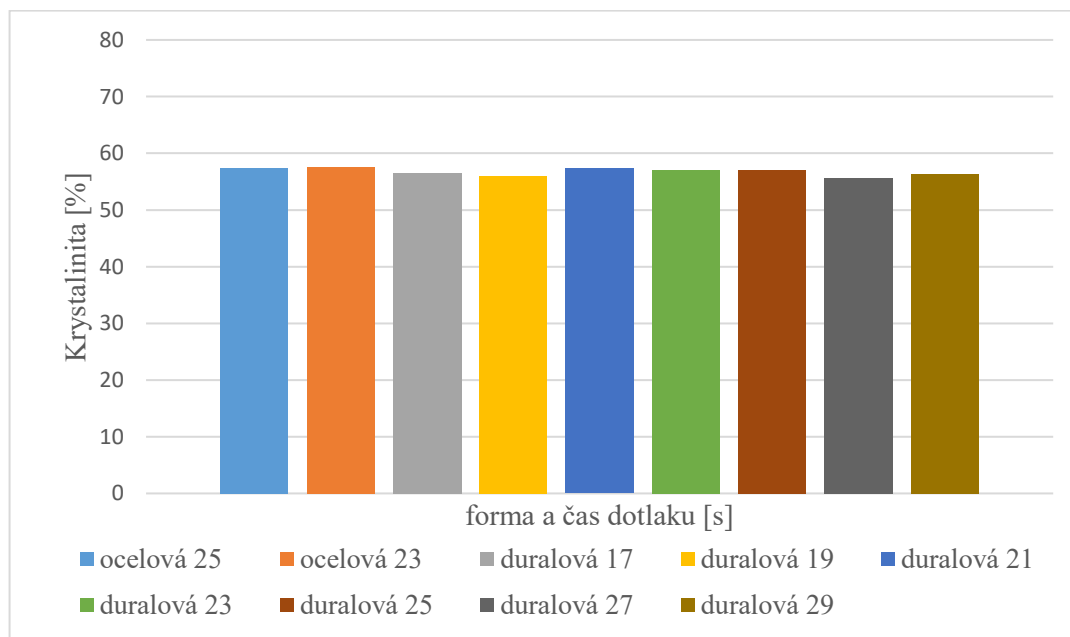
Měřilo se od úhlu $5^\circ 2\theta$ do úhlu $30^\circ 2\theta$. Krystalinita se u vzorků z duralové formy neliší od vzorků u ocelové formy, nuance mezi jednotlivými časy viz Obrázek 25 jsou v rámci chyby měření. Na Obrázku 26 lze vidět závislost intenzity na úhlu dvě theta pro polypropylen, který za běžných podmínek krystalizuje do alfa fáze a za normálních podmínek je beta fázi těžké získat. Beta fáze se počítá dle Rovnice 2. V Tabulce 5 jsou uvedeny spočtené beta fáze, některé uvedené beta fáze u duralové formy nejsou vidět v Obrázku 26 z důvodu, že u duralové formy se v dané sérii projevily v jednom případě ze tří. Z tabulky 5 lze vidět, že u vzorků z duralové formy se beta fáze netvořily pravidelně. U ocelové formy je beta fáze u obou časů kolem 13,5 %. Kdežto u duralové se pohybuje od 8 do 12 %, nebo se netvoří vůbec. [24]

$$k = \frac{H_{\beta 1}}{H_{\beta 1} + H_{\alpha 1} + H_{\alpha 2} + H_{\alpha 3}} = [\%] \quad (1)$$

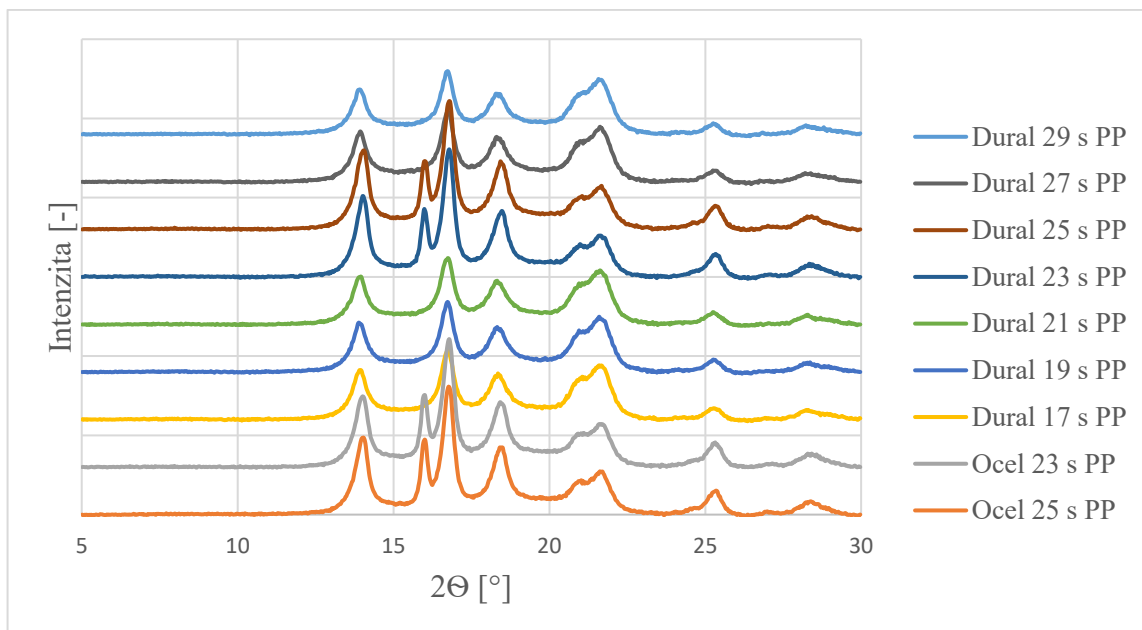
k ... podíl β fáze

$H_{\beta 1}$... výška píku β fáze

$H_{\alpha 1,2,3}$... výšky píků α fází



Obrázek 25 Hodnoty krystalinity u PP



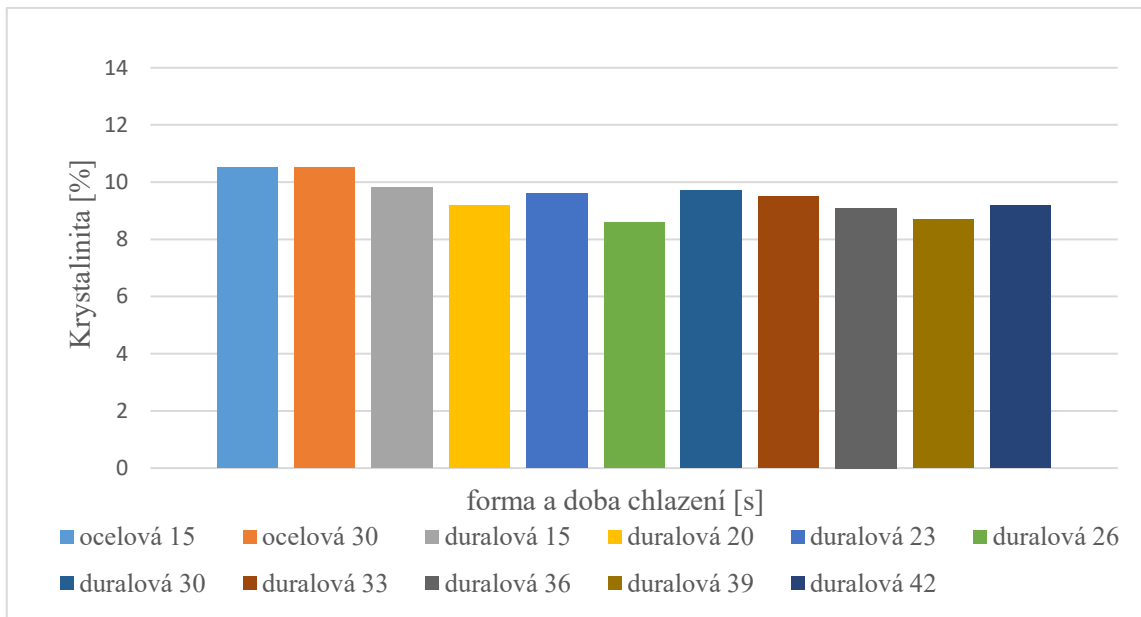
Obrázek 26 WAXS graf pro PP

Tabulka 5 Beta fáze polypropylenu pro duralovou a ocelovou formu

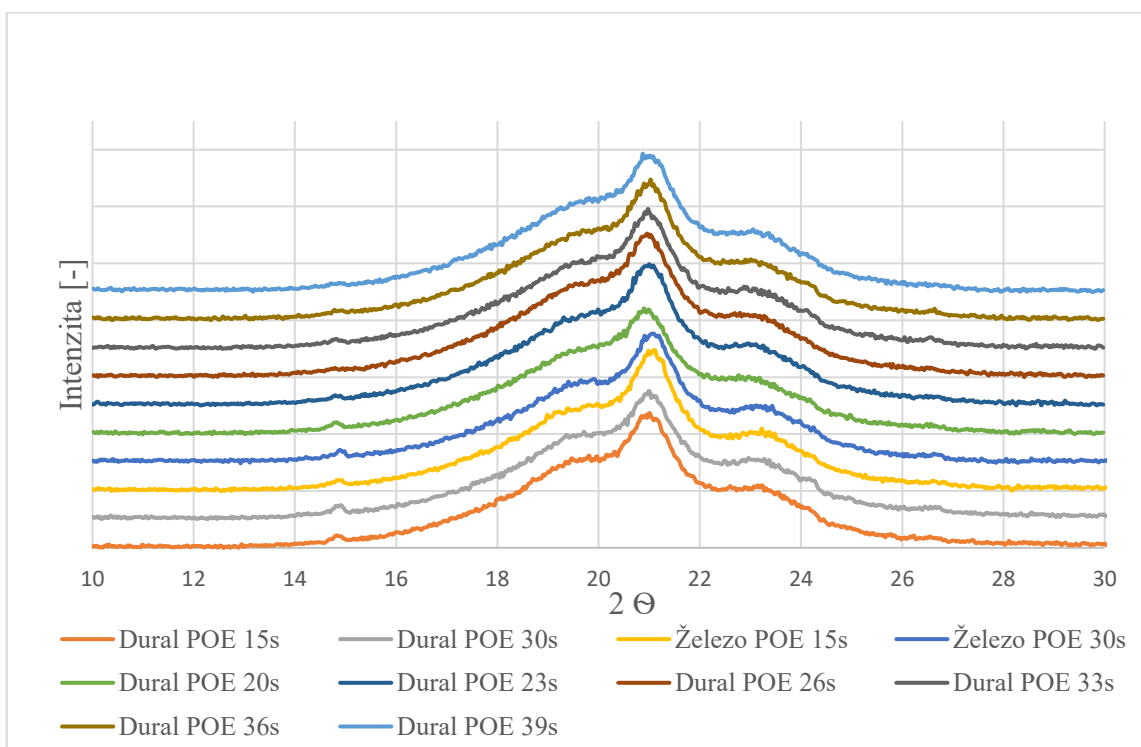
PP	Doba dotlaku	Beta fáze	Alfa fáze
	[s]	[%]	[%]
Ocelová forma	25	13,5	86,5
	23	13,8	86,2
Duralová forma	17	8,3	91,7
	19	-	-
	21	-	-
	23	12,4	87,6
	25	12,2	87,8
	27	8,5	91,5
	29	-	-

7.3.3 POE

Měřilo se od úhlu $10^\circ 2\theta$ do úhlu $30^\circ 2\theta$. Krystalinita u ocelové formy dosahuje přes 10 % v rámci chyby u duralové formy krystalinita nepřesáhla deset procent, ale markantně se neliší, viz Obrázek 27. Na Obrázku 28 je viditelné, že převládá amorfní fáze a při úhlu dvě théta 21° je malý tupý pík, který je u všech časů téměř identický.



Obrázek 27 Hodnoty krystalinity u POE



Obrázek 28 WAXS graf pro POE

8 DEFORMACE

8.1 Postup měření

8.1.1 Příprava vzorků

Vzorky byly vyrobeny na vstřikovacím stroji vstřikovací podmínky jsou uvedeny Tabulce 6 v každé sérii (materiál a čas dotlaku/chlazení) bylo připraveno 6 vzorků, deformace byla měřena na 1., 4., 6. Vzorky byly měřeny pomocí univerzálního optického 3D mikroskopu v rozsahu μm a sub- μm . Měřena byla plocha ocelové formy, duralové formy a výrobků.

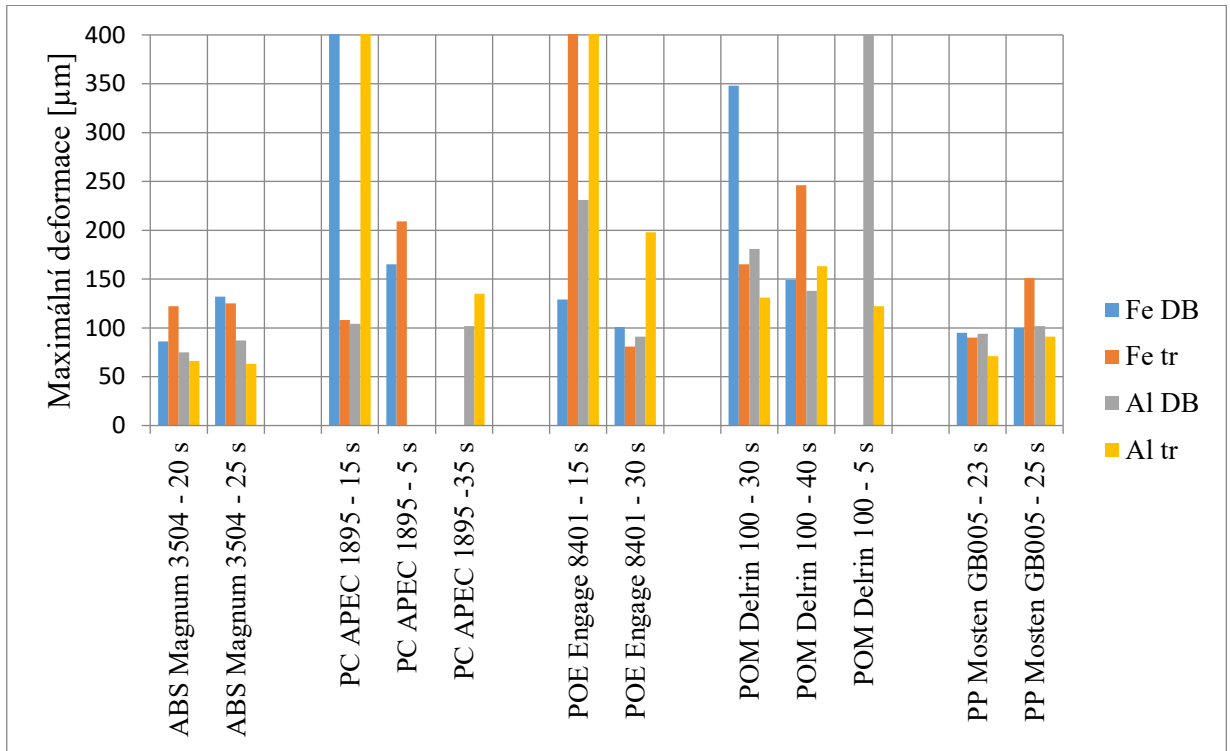
Tabulka 6 Vstřikovací podmínky pro vzorky na měření deformace

	Jednotky	PP Mosten GB005	PC APEC 1895	ABS Magnum 3504	POM Delrin 100	POE Engage 8401
T vstup. pásmo	°C	180	220	180	180	110
T přech. p.	°C	210	290	240	210	130
T výstup p.	°C	220	300	250	230	135
T tryska	°C	230	300	235	220	140
T forma	°C	50	80	60	50	30
Vstřík. tlak	bar	600	950	850	850	600
Dotlak	bar	200	300	300	350	300
Čas dotlaku	s	17, 19, 21, 23, 25, 27, 29	5, 15	16, 18, 20, 23, 25, 27,	20	10
Čas chlazení	s	20	0	30	5, 30, 40	15, 16, 18, 23, 27, 30, 33, 36, 39, 42
Vstřík. rychlost	mm/s	80	50	80	80	100

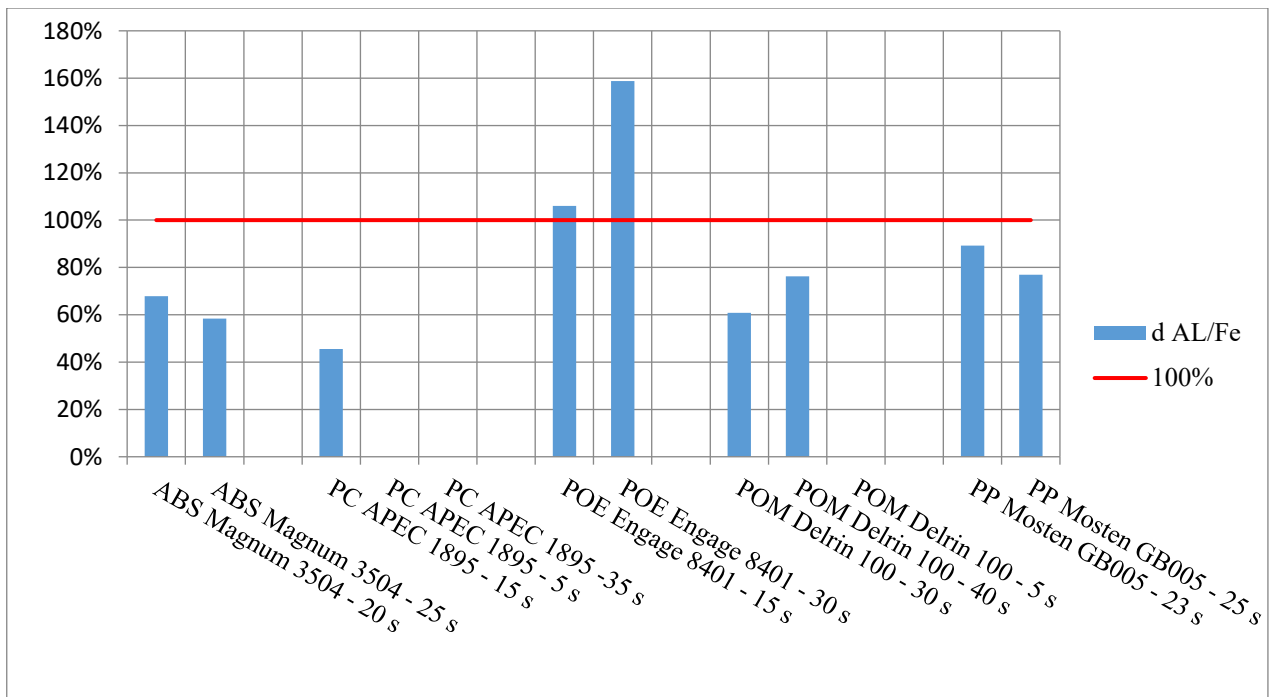
8.1.2 Přístroje a pomůcky

- Vstřikovací stroj Demag ergotech 50-200 system
- Mikroskop Alicona Infinite Focus G5
- Duralová a ocelová forma
- Drobné laboratorní pomůcky

8.2 Naměřené data



Obrázek 29 Graf maximální deformace u duralové a ocelové formy



Obrázek 30 Poměr deformace v duralové formě na ocelové formě

8.3 Diskuze deformace

Bylo pozorováno, že v duralové formě mají lopatky nižší průměrné deformace než lopatky z ocelové formy. Trámečky z duralové formy jsou srovnatelné z průměrnými deformacemi s trámečky z ocelové formy, viz Obrázek 29 a Obrázek 30. U POE 15 sekund a POM 5 sekund jsou deformace opravdu velké z důvodu extrémně krátkých časů. Stabilní chování vykazují ABS a PP, proto byly zvoleny na další testování.

ABS a PP mají v testovaných časech konstantní deformaci v rámci chyby měření. Časy pro ABS 16 sekund a pro PP 17 sekund stále nebyly hraniční, ale PP se s deformací již k hraničnímu času blížil. Kratší časy už nebylo možné testovat z důvodu neodformování výstřiků, proto na testování deformace ABS a PP nejsou vyhovující.

Duralová forma má vyšší tepelnou vodivost, tedy dochází k lepšímu odvodu tepla z výlisku. Z tohoto důvodu by na duralové formě měla být menší, nebo stejná deformace při stejných časech jako na ocelové formě. Z Obrázku 29 lze vidět, že hypotéza funguje pro všechny materiály kromě POE. Z této příčiny bylo POE bylo otestováno i v ostatních časech, které nejsou v grafu na Obrázku 29 uvedeny. Z důvodu vysoké elasticity byly vzorky POE na chvíli zatíženy plochým závažím a deformace byla měřena ihned po oddělení závaží. Bylo zjištěno, že nakonec se deformace POE moc neliší a od ostatních polymerů a od měření deformace bylo odstoupeno. [26, 27]

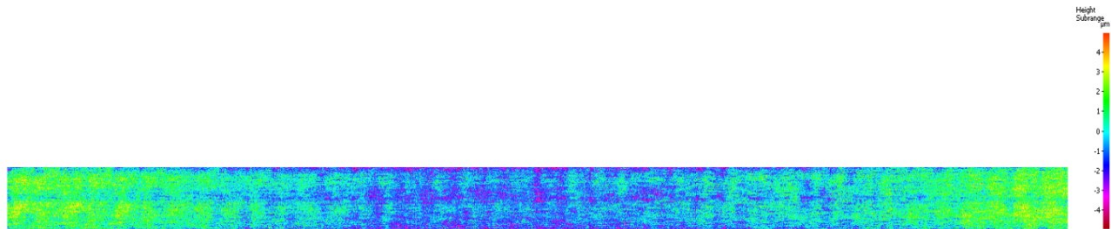
8.4 Skeny deformace z 3D mikroskopu

8.4.1 Naměřené data

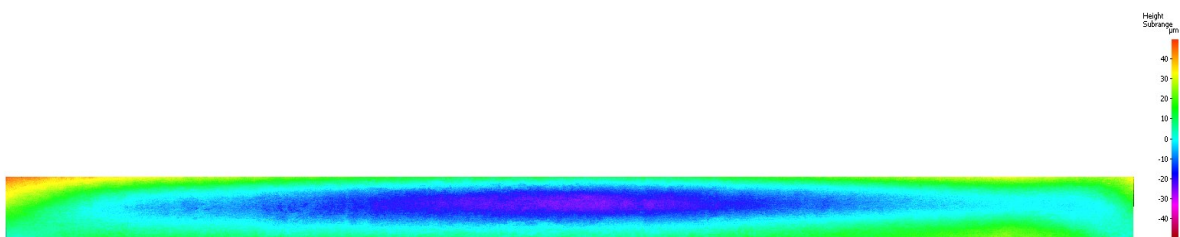
V následujících obrázcích můžete vidět skeny z 3D mikroskopu Alicona Infinite Focus G5. Deformace je měřena v μm a následně je vynesena do grafu viz Obrázek 29. Následující Obrázky 32 až 37 jsou ukázkové skeny trámeček z ocelové formy a Obrázek 31 je sken ocelové formy trámečku. Barvy rozlišení lze najít v Tabulce 4.

Tabulka 7 Barevný spektrum deformace

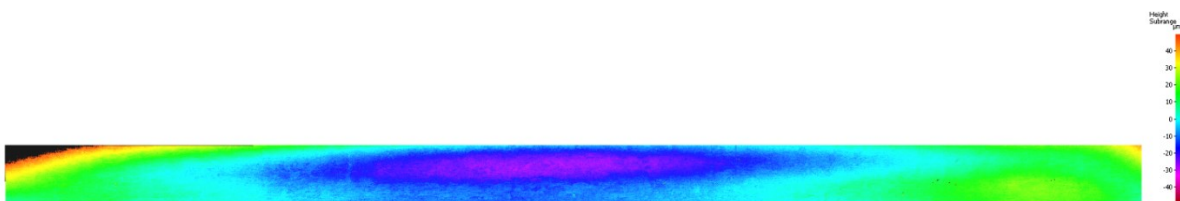
BARVA	DEFORMACE [μm] U FORMY	DEFORMACE [μm] U VZORKŮ
Růžovo bordó	-4	-40
Fialovo růžová	-3	-30
Fialovo modrá	-2	-20
Modrá	-1	-10
Tyrkysová	0	0
Světle zelená	1	10
Zelená	2	20
Žluto zelená	3	30
červená	4	40



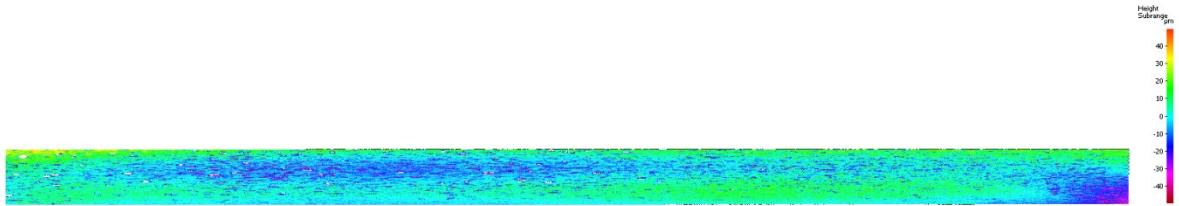
Obrázek 31 Sken ocelové formy trámečku



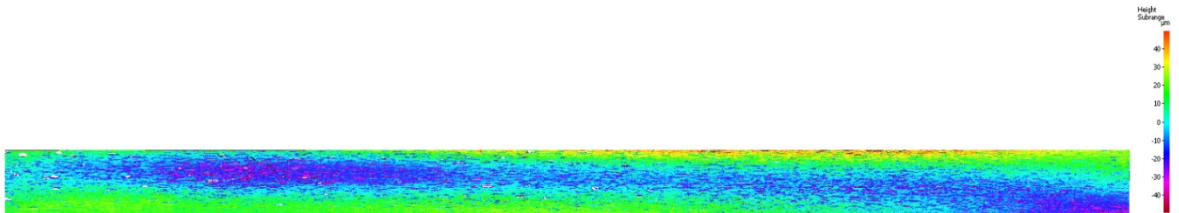
Obrázek 32 ABS dotlak 20 s (trámeček)



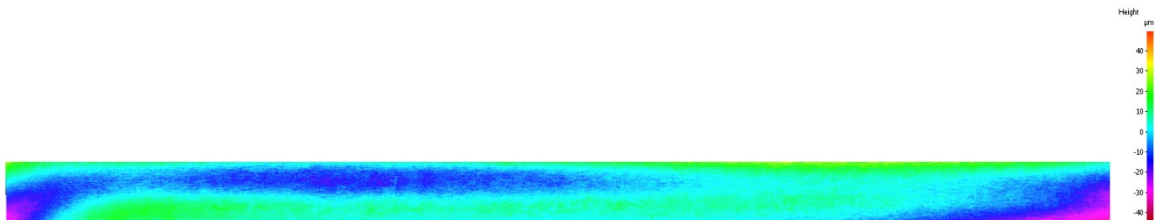
Obrázek 33 ABS dotlak 25 s (trámeček)



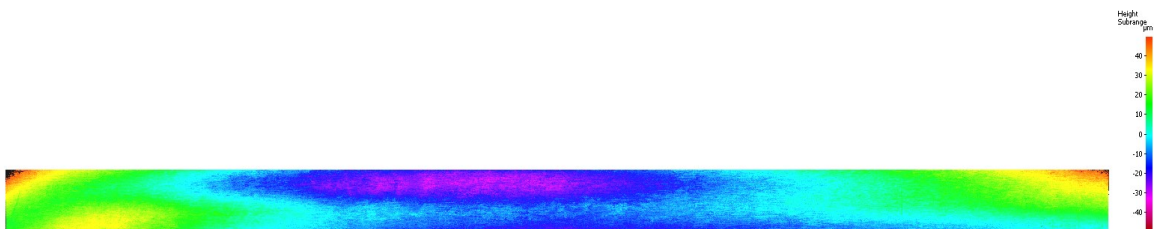
Obrázek 34 POM chlazení 30 s (trámeček)



Obrázek 35 POM chlazení 40 s (trámeček)



Obrázek 36 PP dotlak 23 s (trámeček)



Obrázek 37 PP dotlak 25 s (trámeček)

8.4.2 Diskuze skenů deformace

U ocelové formy (Obrázek 31) jsou u krajů vidět 2 mikrometry neobroušené plochy, a uprostřed je skoro 3 mikrometry propad vůči vztyčné ploše. ABS u obou časů (Obrázek 32 a Obrázek 33) má docela velkou propadlinu dosahující v některých místech deformace 30 mikrometrů, v rozích jde deformace skoro do 50 mikrometrů nahoru. ABS s dotlakem 25 sekund má mírně větší deformaci než ABS s dotlakem 20 sekund, což je viditelné i na Obrázku 29. U POM je propadlina, která střídá deformaci 20 mikrometrů, rozložena skoro po celém vzorku a dosahuje až – 30 mikrometrů. POM s dobou chlazení 40 sekund má mírně vyšší deformaci, nežli POM chlazená 30 sekund, viz Obrázek 34 a Obrázek 35. PP

s dotlakem 25 s má větší propadlinu uprostřed asi – 35 mikrometrů hlubokou a u krajů deformace dosahuje téměř 50 mikrometrů viz Obrázek 37. Na Obrázku 36 je PP s časem dotlaku 23 sekund propadlina není tak výrazná jako u PP s časem dotlaku 25 sekund, což je viditelné i na Obrázku 29.

9 TESTOVÁNÍ PRACOVNÍ TEPLoty

9.1 Postup měření

Povlak SIGAAN Px by měl pomoci snížit pracovní teploty a snížit adhezi materiálu k formě. Z tohoto důvodu bylo navrženo experimentální testování, které bude závislé na teplotě formy a času chlazení. Byly testovány tři teploty forem pro PP a jedna teplota formy pro POE. Hledal se nejnižší čas chlazení, kdy výrobek z formy v určité teplotě vypadne bez jakéhokoliv problému. Dotlak byl 25 s pro PP a pro POM 15 s, zbytek vstřikovacích podmínek je uveden v Tabulce 8.

Tabulka 8 Vstřikovací podmínky pro testování adheze materiálu k formě

	Jednotky	PP Mosten GB005	POE Engage 8401
T vstup. pásmo	°C	180	110
T přech. p.	°C	210	130
T výstup p.	°C	220	135
T tryska	°C	230	140
T forma	°C	50, 60, 70	50
Vstřík. tlak	bar	600	600
Dotlak	bar	200	300
Čas dotlaku	s	25	15
Čas chlazení	s	testován	testován
Vstřík. rychlost	mm/s	80	100

9.1.1 Přístroje a pomůcky

- Vstřikovací stroj Demag ergotech 50-200 system
- Duralová forma
- Drobné laboratorní pomůcky

9.2 Naměřená data a diskuze

Cílem bylo najít nejnižší možný čas chlazení při dotlaku 25 s a teplotě formy 50 °C (Tabulka 9). Výrobek se odformoval bez jakéhokoliv problému i při 0 sekundách chlazení. Tedy teplota formy nebyla dostačující pro relevantní výsledek a aby mohla být porovnána s duralovou formou s povlakem.

Tabulka 9 Optimalizace času chlazení PP pro formu o teplotě 50 °C

Teplota formy 50 °C PP	Čas chlazení [s]	Čas dotlaku 25 s (ostatní podmínky viz Tabulka 1)
	20	Výrobek se odformoval bez problému
	19	Výrobek se odformoval bez problému
	18	Výrobek se odformoval bez problému
	10	Výrobek se odformoval bez problému
	5	Výrobek se odformoval bez problému
	0	Výrobek se odformoval bez problému

V případě formy s teplotou 60 °C a čas dotlaku 25 s pro PP byl nejnižší čas chlazení 65 s, kdy výrobek vypadl bez problému (Tabulka 10).

Tabulka 10 Nejnižší čas chlazení PP pro formu o teplotě 60 °C

Teplota formy 60 °C PP	Čas chlazení [s]	Čas dotlaku 25 s (ostatní podmínky viz Tabulka 1)
	0	Výrobek se lepil na tvárnici
	2	Výrobek se lepil na tvárnici
	5	Výrobek se lepil na tvárnici
	8	Výrobek se lepil na tvárnici
	12	Výrobek se lepil na tvárnici
	18	Výrobek se lepil na tvárnici
	22	Mírné zlepšení
	30	Stejně jako u 22 sekund
	35	Stejně jako u 22 sekund
	40	Stejně jako u 22 sekund
	45	Stejně jako u 22 sekund
	55	Výrobek se mírně lepí na tvárnici
	65	Hraniční minimální čas bez lepení výrobku

Další testování bylo provedeno při teplotě formy 70 °C a času dotlaku 25 sekund. Z Tabulky 11 vyplývá, že nejnižší čas chlazení, kdy výrobek byl z formy vyhozen bez problémů, byl 90 sekund.

Tabulka 11 Nejnižší čas chlazení PP pro formu o teplotě 70 °C

Teplota formy 70 °C PP	Čas chlazení [s]	Čas dotlaku 25 s (ostatní podmínky viz Tabulka 1)
	0	Výrobek se lepil na tvárnici
	2	Výrobek se lepil na tvárnici
	5	Výrobek se lepil na tvárnici
	8	Výrobek se lepil na tvárnici
	12	Výrobek se lepil na tvárnici
	18	Výrobek se lepil na tvárnici
	22	Výrobek se lepil na tvárnici
	35	Výrobek se lepil na tvárnici
	45	Výrobek se lepil na tvárnici
	60	Výrobek se lepil na tvárnici
	70	Výrobek se lepil na tvárnici
	80	Výrobek se mírně lepí na tvárnici
	90	Hraniční minimální čas bez lepení výrobku

Pro POE byla zvýšena teplota formy na 50 °C a čas dotlaku byl 15 sekund. Nejnižší čas chlazení byl 150 sekund. Chování výrobku ve formě je popsáno v Tabulce 12.

Tabulka 12 Nejnižší čas chlazení POM pro formu o teplotě 50 °C

Teplota formy 50 °C POE	Čas chlazení [s]	Čas dotlaku 15 s (ostatní podmínky viz Tabulka 1)
	30	Výrobek se lepil na tvárnici
	35	Výrobek se lepil na tvárnici
	40	Výrobek se lepil na tvárnici
	45	Drží na tvárníku, vyhazovače výlisek nevyhodí
	120	Drží na tvárníku, vyhazovače výlisek nevyhodí
	125	Vypadl bez lepení, hraniční čas
	150	Výrobek se odformoval bez problému

Dalším krokem mělo být opatření duralové formy PVD-povlakem a provedení obdobných testů. Výsledky obou testů měly být porovnány. Bohužel z technických důvodů firma SHM s.r.o. Šumperk včas nedodala formu opatřenou daným povlakem A finální testování tudíž nemohlo proběhnout. Předpoklad je takový, že díky povlaku by se měly výrobky bez problému odformovat při stejné teplotě formy a času dotlaku, ale při nižších časech chlazení než u formy duralové bez povlaku.

ZÁVĚR

Cílem práce bylo zjištění vlivu PVD povlaku na vstřikovací formě na délku vstřikovacího cyklu a povrch výrobků. Cíl práce byl splněn pouze částečně, a to z důvodu nedodání formy s PVD povlakem před odevzdáním bakalářské práce.

V teoretické části byla popsána tematika metody PVD povlaků, jejich nanášení, výhody a nevýhody. Dále byla věnována kapitola strojním a vstřikovacím časům vstřikovacího cyklu. V poslední kapitole bylo nahlédnuto na povrchové defekty vstřikovaných dílů.

V experimentální části byly porovnány vzorky z ocelové a duralové formy, bohužel již ze zmíněných důvodů, povlakovaná forma nebyla do experimentu zahrnuta. Na ocelové formě a duralové formě bylo měřeno smrštění, metoda WAXS a deformace. Na duralové formě byl proveden experiment závislý na teplotě formy a hledání co nejkratšího času chlazení, který měl být porovnán s duralovou formou s povlakem.

Výrobní i dodatečné smrštění mezi duralovou a ocelovou formou bylo zanedbatelné. Výrobní i dodatečné smrštění bylo u duralové formy mírně větší v šířce a mírně menší v tloušťce. Nuance mohla být způsobená opotřebením ocelové formy.

Při měření širokoúhlého rozptylu rentgenového záření bylo zjištěno že u POM byla krystalinita v rámci chyby pro všechny časy chlazení stejná u ocelové i duralové formy. U POE se krystalinita mírně lišila u ocelové formy přesahovala 10 % u duralové se k 10 % velmi blížila, mohlo to být způsobené jiným vedením tepla duralové formy. U PP se krystalinita téměř neliší. PP má viditelný v úhlu 17° dva theta viditelnou beta fázi u ocelové formy tvoří zhruba 13,5 % a u duralové formy se fáze nevyskytuje pravidelně a nabývá hodnot zhruba od 8 % do 12,5 %, nebo 0 %.

Měření deformace probíhalo pro 5 materiálů a bylo zjištěno, že u duralové formy mají lopatky menší průměrné deformace a u trámečků jsou téměř identické se vzorky z ocelové formy. Pro stabilní chování byly testovány ještě jiné časy u PP a ABS, z důvodu neodformování výrobku, se nešlo s deformací na hranu a výrobky z PP a ABS držely stále stabilní chování. Materiály byly pro další testování deformace nevhodné. POE mělo celou dobu vyšší deformaci u duralové formy, proto se použilo pro další testování. Bylo zjištěno, že po zatížení závažím (z důvodu elasticity) nebyla deformace jiná než u ostatních polymerů.

V poslední části experimentu byly hledány nejnižší časy chlazení pro materiály PP a POE při různých teplotách duralové formy bez povlaku. Předpoklad byl takový, že při stejných parametrech u duralové formy s povlakem SIGAAN Px by čas chlazení byl kratší.

Dalším krokem by mohlo být provedení obdobných testů na duralové formě s povlakem SIGAAN Px. Dále by následovalo vyrobení a otestování různých duralových tvarových vložek se stejným povlakem. Stejně testy by se měly použít pro vložky s laserově upraveným povrchem (mikrostrukturovaný povrch) a s již zmíněným povlakem. Po měření a hodnocení výrobků z ocelové formy, duralové formy a povrchově upravených vložek by se stanovilo nejlepší řešení problému. Ráda bych se tím zabývala ve své diplomové práci.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Král, P., *Testování kvality PVD povlaků na řezných nástrojích* [online]. Zlín, 2014. Diplomová práce 97 s. [cit. 2022-04-12]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Hrdina, Josef. Dostupné z: <http://digilib.k.utb.cz/handle/10563/28613>
- [2] Mm průmyslové spektrum, *Současnost a trendy povlakování technologií PVD* [online]. [cit. 2022-04-12]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-atrendy-povlakovani-technologiei-pvd.html>
- [3] Vodák, M., *Zvyšování životnosti střížných noží povlakováním* [online]. Brno, 2018. Bakalářská práce 31 s. [cit.2022-04-12]. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojní technologie. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173256
- [4] Pospíšil, V., *Povlakování forem CrN* [online]. Zlín, 2016. Bakalářská práce 64 s. [cit. 2022-04-21]. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně. Fakulta technologická, Ústav výrobního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Ondřeji Bílkovi, Ph.D. Dostupné z: http://digilib.k.utb.cz/bitstream/handle/10563/38116/posp%C3%AD%20il_2016_dp.pdf?sequence=1
- [5] Kantar, F., *PVD povlaky nové generace* [online]. Brno, 2015, 46 s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Aleš Jaroš. [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=102944
- [6] Lamač, V., *Uspořádání naprašovacího systému typu trioda* [Online]. 2019 [cit. 2022-04-18]. Dostupné z: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Syst%C3%A9m_napra%C5%A1ov%C3%A1n%C3%AD_typu_trioda.png
- [7] Bosco, R., Beucken, J., Leeuwenburgh, S. A Jansen, J. *Surface Engineering for Bone Implants: A Trend from Passive to Active Surfaces* [online]. MDPI, 2012 [cit. 2022-04-23]. Dostupný z: <https://www.mdpi.com/2079-6412/2/3/95/htm>
- [8] Akhavan, B., *Transparent Conductive-Metal-Dielectric Structures for Electrochromic Applications Fabricated by High-Power Impulse Magnetron Sputtering* [online]. New South Wales, Iran, China, 2006. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z:

https://www.researchgate.net/figure/Schematic-diagram-of-the-HiPIMS-system-used-for-the-deposition-of-WO-3-Ag-WO-3-DMD_fig2_332084691

[10] UNITED INDUCTION HEATING MACHINE. *RF Induction evaporation* [online].

2014 [cit. 2022-05-10]. Dostupný z: <http://www.uihm.com/en/Other-Induction-Applications/RF-inductionevaporation377.html#.VLFkkslQWwc>

[11] K. Bobzina, C.H. Hopmannb, A. Gillnerc, T. Brögelmanna, N.C. Kruppea, M. Orthb, M. Stegerc, M. Naderia, *Enhanced replication ratio of injection molded plastic parts by using an innovative combination of laser-structuring and PVD coating*. *Surface & Coatings Technology* 332 (2017) 474–483

[12] Zeman, L., *Vstřikování plastů - teorie a praxe*, Grada Publishing, a.s., 2018, ISBN 978-80-271-0614-1

[13] ARBURG, *Preview of MSV 2012* [online], 2012. [cit. 2022-05-16] Dostupné z: <https://www.arburg.com/cs/cz/cast-pro-novinare/tiskova-zpravy/bulletin/nl/2206/>

[14] Bryce, Douglas, M., *Plastic Injection Molding, Volume I – Manufacturing Proces, Fundamentals*. Society of Manufacturing Engineers. Michigan, 1996. ISBN 0-87263-472-8

[15] Lenfeld, P., *Technologie vstřikování*. [online] Svitavy, 2016, ISBN 978-80-88058-74-8. [cit. 2022-05-11] Dostupné z: <https://publi.cz/books/184/Impresum.html>

[16] Lacrampe, M. F., Pabiot, J., Defects in surface appearance of injection molded thermoplastic parts--a review of some problems in surface gloss distribution. *Journal of Injection Molding Technology* [online], 4(4), 167. Francie, 2000. Dostupné z: <https://www.proquest.com/scholarly-journals/defects-surface-appearance-injection-molded/docview/217290195/se-2?accountid=15518>

[17] Rogers, T., *Top-10 Injection Molding Defects And How To Fix Them* [online], 2015. [cit. 2022-05-17] Dostupné z: <https://www.creativemechanisms.com/blog/what-cause-injection-molding-defects-and-how-to-fix-them>

[18] Oktem, H., Erzurumlu, T., Uzman, I., *Application of Taguchi optimization technique in determining plastic injection molding process parameters for a thin-shell part*. Turecko, 2005.

[19] SHM, *SIGAAN Px* [online], Šumperk, 2022. [cit. 2022-05-13] Dostupné z: <https://shm-cz.cz/zakladni-nabidka-povlaku-shm/>

- [20] Goodship, V., *Practical Guide to Injection Moulding* [online] 2004, Rapra Technology Limited and ARBURG Limited [cit. 2022-05-16] Dostupné z: [file:///C:/Users/DELL/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/3/Attachments/Arburg%20practical%20guide%20to%20injection%20moulding\[1166\].pdf](file:///C:/Users/DELL/AppData/Local/Packages/microsoft.windowscommunicationsapps_8wekyb3d8bbwe/LocalState/Files/S0/3/Attachments/Arburg%20practical%20guide%20to%20injection%20moulding[1166].pdf)
- [21] Sova, M., *Smrštění a dodatečné smrštění při vstřikování plastů* [online]. 2015. [cit. 2022-05-11] Dostupné z: <https://www.techportal.cz/33/smrsteni-a-dodatecne-smrsteni-pri-vstrikovani-plastu-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EqQUkSFod1GxXa2VafSdbW0/>
- [22] Frost K., Kaminski D., Kirwan G., Lascaris E., Shanks R., *Crystallinity and structure of starch using wide angle X-ray scattering, Carbohydrate Polymers*, Volume 78, Issue 3, 2009, Pages 543-548, ISSN 0144-8617
- [23] Lamba D., *Wide-Angle X-ray Diffraction Pattern*. In: Drioli E., Giorno L. (eds.) *Encyclopedia of Membranes*. Springer. Berlín Heidelberg, 2014. https://media.springernature.com/original/springer-static/image/chp%3A10.1007%2F978-3-642-40872-4_1099-1/MediaObjects/217813_0_En_1099-1_Fig1_HTML.gif
- [24] Navrátilová, J., *Přednášky z předmětu Makromolekulární chemie II – Přednáška č. 2 PP, PB, PMP, POM*, Zlín, Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta technologická
- [25] S.R. Schricker, *9 - Composite resin polymerization and relevant parameters*, Editor(s): Theodore Eliades, William A. Brantley, *Orthodontic Applications of Biomaterials*, Woodhead Publishing, 2017, Pages 153-170, ISBN 9780081003831
- [26] ALUMINIUM INJECTION MOLD. *Why Aluminium?* [online]. 2010 [2022-05-19]. Dostupné z: <http://www.aluminuminjectionmold.com/why-aluminum/>
- [27] Ozcelik, B., Ozbay, A., Demirbas, E., *Influence of injection parameters and mold materials on mechanical properties of ABS in plastic injection molding*, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, Volume 37, Issue 9, 2010, Pages 1359-1365, ISSN 0735-1933,

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SHM	Název firmy (Super Hard Materials)
PVD	Fyzikální depozice par (Physical Vapour Deposition)
3D	Význam druhé zkratky
HiPIMS	Impulzivní magnetronové naprašování vysokým výkonem (Higt Power Impulse Magnetron Sputtering)
EB-PVD	Napařování elektronovým paprskem (Electron Beam Evaporation)
IBED	Iontová implantace za pomoci pistole
mfMS	Mikrostrukturovaná forma
Pa	Paskal
MHz	Megahertz
PC	Polykarbonát
ABS	Akrylonitrilbutadienstyren
PP	Polypropylen
POM	Polyacetal
POE	Polyolefinový elastomer
WAXS	Širokouhlý rozptyl rentgenového záření (Wide-angle X-ray scattering)
SIGAAN Px	PVD povlak na bázi křemíku
VS	Výrobní smrštění
L _F	Rozměry dutiny formy
L _V	Rozměry výrobku
SAXS	Maloúhlového rozptylu rentgenového záření (small-angle X-ray scattering)
PET	Polyethylentereftalát

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 Vznik souvislé vrstvy povlaku [3]	11
Obrázek 2 Rozdělení PVD dle naprašování [4].....	13
Obrázek 3 Naprašování doutnavým výbojem rovinné diody [3].....	14
Obrázek 4 Diodové naprašování [5]	14
Obrázek 5 Naprašování triodou [6]	15
Obrázek 6 Magnetronové naprašování [3].....	16
Obrázek 7 Schéma vyváženého a nevyváženého magnetronu [3].....	16
Obrázek 8 Radiofrekvenční naprašování [3]	17
Obrázek 9 Schéma HiPIMS metody [8]	17
Obrázek 10 Rodělení PVD dle napařování [4]	18
Obrázek 11 Schéma odporového napařování [5].....	19
Obrázek 12 Schéma obloukového odpařování [3].....	19
Obrázek 13 Schéma RF indukčního napařování [10].....	20
Obrázek 14 Schéma napařování elektronovým paprskem [5]	21
Obrázek 15 Schéma iontové implantace [3]	22
Obrázek 16 a) Schéma mikrostrukturované formy b) zkoumané mikrostruktury se strukturními výškami $h = 50$ a $h = 100 \mu\text{m}$ [11].....	22
Obrázek 17 Vstřikovací lis značky ARBURG [13].....	23
Obrázek 18 Povlakované vložky do formy pro trámeček.....	30
Obrázek 19 Povlakované vložky do formy pro lopatku	30
Obrázek 20 Výrobní smršťení pro ocelovou i duralovou formu.....	33
Obrázek 21 Dodatečné smršťení u ocelové i duralové formy	34
Obrázek 22 Metoda WAXS pro vzorek PET [23].....	35
Obrázek 23 Hodnoty krystalinity u POM.....	37
Obrázek 24 WAXS graf pro POM.....	37
Obrázek 25 Hodnoty krystalinity u PP	38
Obrázek 26 WAXS graf pro PP	39
Obrázek 27 Hodnoty krystalinity u POE	40
Obrázek 28 WAXS graf pro POE.....	40
Obrázek 29 Graf maximální deformace u duralové a ocelové formy.....	42
Obrázek 30 Poměr deformace v duralové formě na ocelové formě	42
Obrázek 31 Sken ocelové formy trámečku.....	44
Obrázek 32 ABS dotlak 20 s (trámeček)	44
Obrázek 33 ABS dotlak 25 s (trámeček)	44

Obrázek 34 POM chlazení 30 s (trámeček)	45
Obrázek 35 POM chlazení 40 s (trámeček)	45
Obrázek 36 PP dotlak 23 s (trámeček).....	45
Obrázek 37 PP dotlak 25 s (trámeček).....	45

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 Vstřikovací podmínky pro vzorky na zjištění smrštění [20]	32
Tabulka 2 Výrobní smrštění u ocelové a duralové formy	32
Tabulka 3 Dodatečné smrštění u ocelové i duralové formy	33
Tabulka 4 Vstřikovací podmínky pro vzorky na měření metodou WAXS	36
Tabulka 5 Beta fáze polypropylenu pro duralovou a ocelovou formu	39
Tabulka 6 Vstřikovací podmínky pro vzorky na měření deformace	41
Tabulka 7 Barevný spektrum deformace	44
Tabulka 8 Vstřikovací podmínky pro testování adheze materiálu k formě	47
Tabulka 9 Optimalizace času chlazení PP pro formu o teplotě 50 °C	48
Tabulka 10 Nejnižší čas chlazení PP pro formu o teplotě 60 °C	48
Tabulka 11 Nejnižší čas chlazení PP pro formu o teplotě 70 °C	49
Tabulka 12 Nejnižší čas chlazení POM pro formu o teplotě 50 °C	50

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1: Materiálový list APEC 1895

Příloha 2: Materiálový list MAGNUM 3504

Příloha 3: Materiálový list MOSTEN GB005

Příloha 4: Materiálový list DARLIN 100

Příloha 5: Materiálový list ENGAGE 8401

Příloha 6: Produktový list SIGAAN Px

PŘÍLOHA 1: MATERIÁLOVÝ LIST APEC 1895



Apec® 1895

Easy-flow grades / easy-release

MVR (330 °C/2.16kg) 18 cm³/10 min; easy release; softening temperature (VST/B 120)=183 °C; injection molding - melt temperature 330 - 340 °C; Covers for brake lights and indicator lights; Recessed light fixtures/reflexors; Raised brake lights; Headlamp reflectors/bezels

ISO Shortname

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Rheological properties				
C Melt volume-flow rate	330 °C; 2.16 kg	cm ³ /10 min	ISO 1133	18
Melt mass-flow rate	330 °C; 2.16 kg	g/10 min	ISO 1133	19
C Molding shrinkage, parallel	60x60x2 mm	%	ISO 294-4	0.85
C Molding shrinkage, normal	60x60x2 mm	%	ISO 294-4	0.85
Mechanical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Tensile modulus	1 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	2450
C Yield stress	50 mm/min	MPa	ISO 527-1,-2	74
C Yield strain	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	6.6
C Nominal strain at break	50 mm/min	%	ISO 527-1,-2	> 50
C Charpy impact strength	23 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N
C Charpy impact strength	-30 °C	kJ/m ²	ISO 179-1eU	N
C Flexural modulus	2 mm/min	MPa	ISO 178	2450
C Flexural strength	2 mm/min	MPa	ISO 178	108
C Ball indentation hardness		N/mm ²	ISO 2039-1	127
Thermal properties				
C Temperature of deflection under load	1.80 MPa	°C	ISO 75-1,-2	158
C Temperature of deflection under load	0.45 MPa	°C	ISO 75-1,-2	173
C Vicat softening temperature	50 N; 120 °C/h	°C	ISO 306	183
Relative temperature index (Tensile strength)		°C	UL 746B	150
Relative temperature index (Tensile impact strength)		°C	UL 746B	130
Relative temperature index (Electric strength)		°C	UL 746B	150
C Coefficient of linear thermal expansion, parallel	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Coefficient of linear thermal expansion, transverse	23 to 55 °C	10 ⁻⁶ /K	ISO 11359-1,-2	0.65
C Burning behavior UL 94 (1.5 mm)	1.5 mm	Class	UL 94	HB
C Oxygen index	Method A	%	ISO 4589-2	26
C Glow wire test (GWFI)		°C	IEC 60695-2-12	850
Electrical properties (23 °C/50 % r. h.)				
C Relative permittivity	100 Hz	-	IEC 60250	2.9
C Relative permittivity	1 MHz	-	IEC 60250	2.8
C Dissipation factor	100 Hz	10 ⁻⁴	IEC 60250	10
C Dissipation factor	1 MHz	10 ⁻⁴	IEC 60250	80
C Volume resistivity		Ohm·m	IEC 60093	1E15
C Surface resistivity		Ohm	IEC 60093	1E16
C Electrical strength	1 mm	kV/mm	IEC 60243-1	35
C Comparative tracking index CTI	Solution A	Rating	IEC 60112	250
C Comparative tracking index CTI M	Solution B	Rating	IEC 60112	100
C Electrolytic corrosion		Rating	IEC 60426	A1
Other properties (23 °C)				
C Water absorption (saturation value)	Water at 23 °C	%	ISO 62	0.3
C Water absorption (equilibrium value)	23 °C; 50 % r. h.	%	ISO 62	0.12
C Density		kg/m ³	ISO 1183-1	1150
Material specific properties				
C Refractive index	Procedure A	-	ISO 489	1.573
C Luminous transmittance (clear transparent materials)	1 mm	%	ISO 13468-2	89



Apec® 1895

Property	Test Condition	Unit	Standard	typical Value
Processing conditions for test specimens				
C Injection molding-Melt temperature		°C	ISO 294	330
C Injection molding-Mold temperature		°C	ISO 294	100
C Injection molding-Injection velocity		mm/s	ISO 294	200
Recommended Processing and Drying Conditions				
Melt Temperatures		°C	-	320 - 340
Standard Melt Temperature		°C	-	335
Barrel Temperatures - Rear		°C	-	315 - 325
Barrel Temperatures - Middle		°C	-	320 - 330
Barrel Temperatures - Front		°C	-	325 - 335
Barrel Temperatures - Nozzle		°C	-	315 - 340
Mold Temperatures		°C	-	100 - 140
Hold Pressure (% of injection pressure)		%	-	50 - 75
Plastic Back Pressure (specific)		bar	-	100 - 200
Peripheral Screw Speed		m/s	-	0.05 - 0.2
Shot-to-Cylinder Size		%	-	30 - 70
Dry Air Drying Temperature		°C	-	130
Dry Air Drying Time		h	-	2.0 - 4.0
Moisture Content max. (%)		%	-	≤ 0.02
Vent Depth		mm	-	0.025 - 0.05

C These property characteristics are taken from the CAMPUS plastics data bank and are based on the international catalogue of basic data for plastics according to ISO 10350.

Impact properties: N = non-break, P = partial break, C = complete break



Apec® 1895

Disclaimer

Typical value

These values are typical values only. Unless explicitly agreed in written form, they do not constitute a binding material specification or warranted values. Values may be affected by the design of the mold/die, the processing conditions and coloring/pigmentation of the product. Unless specified to the contrary, the property values given have been established on standardized test specimens at room temperature.

General

The manner in which you use and the purpose to which you put and utilize our products, technical assistance and information (whether verbal, written or by way of production evaluations), including any suggested formulations and recommendations, are beyond our control. Therefore, it is imperative that you test our products, technical assistance, information and recommendations to determine to your own satisfaction whether our products, technical assistance and information are suitable for your intended uses and applications. This application-specific analysis must at least include testing to determine suitability from a technical as well as health, safety, and environmental standpoint. Such testing has not necessarily been done by Covestro. Unless we otherwise agree in writing, all products are sold strictly pursuant to the terms of our standard conditions of sale which are available upon request. All information and technical assistance is given without warranty or guarantee and is subject to change without notice. It is expressly understood and agreed that you assume and hereby expressly release us from all liability, in tort, contract or otherwise, incurred in connection with the use of our products, technical assistance, and information. Any statement or recommendation not contained herein is unauthorized and shall not bind us. Nothing herein shall be construed as a recommendation to use any product in conflict with any claim of any patent relative to any material or its use. No license is implied or in fact granted under the claims of any patent. With respect to health, safety and environment precautions, the relevant Material Safety Data Sheets (MSDS) and product labels must be observed prior to working with our products.

Disclaimer Non Medical Grade

This product is not designated for the manufacture of a medical device or of intermediate products for medical devices (1). [This product is also not designated for Food Contact (2), including drinking water, or cosmetic applications. If the intended use of the product is for the manufacture of a medical device or of intermediate products for medical devices, for Food Contact products or cosmetic applications Covestro must be contacted in advance to provide its agreement to sell such product for such purpose.] Nonetheless, any determination as to whether a product is appropriate for use in a medical device or intermediate products for medical devices, for Food Contact products or cosmetic applications must be made solely by the purchaser of the product without relying upon any representations by Covestro. 1) Please see the "Guidance on Use of Covestro Products in a Medical Application" document. 2) As defined in Commission Regulation (EU) 1935/2004.

Recommended Processing and Drying Conditions

Barrel temperatures are valid for a standard 3-zone barrel. Temperature set-up for different barrel types may change according to configuration. Values for hold pressure as percentage of injection pressure may vary depending on, amongst others, part geometry, injection molding machine and injection mold. Drying conditions are for dry air dryers only. Drying times and drying temperatures may differ depending on valid dryer type. Further information is provided by your local Covestro support as well as in the following brochures: Injection Molding of High Quality Molded Parts - Drying; Determining the Dryness of Makrolon by TVI Test; The fundamentals of shrinkage in thermoplastics; Shrinkage and deformation of glass fiber reinforced thermoplastics [...]. <https://www.plastics.covestro.com/Library/Overview.aspx>

Covestro AG
Polycarbonates Business Unit
Kaiser-Wilhelm-Allee 60
51373 Leverkusen
Germany
plastics@covestro.com
www.plastics.covestro.com

PŘÍLOHA 2: MATERIÁLOVÝ LIST MAGNUM 3504

Technical Information



MAGNUM™ 3504 ABS Resin

Overview

MAGNUM® 3504 is a general purpose resin and can be used for both injection moulding and extrusion applications. This grade combines high impact with medium-high heat resistance. The mass (continuous process) ABS technology ensures an ABS resin that combines excellent processability with a stable light base colour that is ideal for self-colouring.

Applications:

- General purpose extrusion and injection moulding applications

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	1.05 g/cm ³	1.05 g/cm ³	ISO 1183/B
Apparent (Bulk) Density	0.65 g/cm ³	0.65 g/cm ³	ISO 60
Melt Mass-Flow Rate (MFR) (220°C/10.0 kg)	5.2 g/10 min	5.2 g/10 min	ISO 1133
Melt Volume-Flow Rate (MVR) (220°C/10.0 kg)	0.323 in ³ /10min	5.30 cm ³ /10min	ISO 1133
Molding Shrinkage - Flow	4.0E-3 to 7.0E-3 in/in	0.40 to 0.70 %	ISO 294-4
Mechanical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tensile Modulus			ISO 527-2
0.126 in (3.20 mm), Injection Molded	310000 psi	2140 MPa	
Tensile Stress			ISO 527-2/50
Yield, 0.126 in (3.20 mm), Injection Molded	6240 psi	43.0 MPa	
Tensile Strain			ISO 527-2/50
Yield, 0.126 in (3.20 mm), Injection Molded	2.7 %	2.7 %	
Flexural Modulus ^{1,2}			ISO 178
0.126 in (3.20 mm), Injection Molded	297000 psi	2050 MPa	
Flexural Stress ^{1,2}			ISO 178
0.126 in (3.20 mm), Injection Molded	9430 psi	65.0 MPa	
Impact	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Charpy Notched Impact Strength			
-22°F (-30°C), Injection Molded	6.2 ft-lb/in ²	13 kJ/m ²	ISO 179/1eA
-22°F (-30°C), Injection Molded	4.3 ft-lb/in ²	9.0 kJ/m ²	ISO 179/2C
73°F (23°C), Injection Molded	11 ft-lb/in ²	23 kJ/m ²	ISO 179/1eA
73°F (23°C), Injection Molded	7.1 ft-lb/in ²	15 kJ/m ²	ISO 179/2C
Notched Izod Impact Strength			ISO 180/1A
-22°F (-30°C), Injection Molded	5.7 ft-lb/in ²	12 kJ/m ²	
73°F (23°C), Injection Molded	12 ft-lb/in ²	25 kJ/m ²	
Thermal	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Heat Deflection Temperature			ISO 75-2/A
264 psi (1.8 MPa), Annealed	214 °F	101 °C	
Vicat Softening Temperature	216 °F	102 °C	ISO 306/B50
Flammability	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Burning Rate ³ (0.0787 in (2.00 mm))	2.2 in/min	55 mm/min	ISO 3795
Flame Rating ³			UL 94
0.06 in (1.5 mm)	HB	HB	
0.12 in (3.0 mm)	HB	HB	
Carbon Emission	30.0 µg/g	30.0 µg/g	VDA 277
Fogging ³	98 %	98 %	ISO 6452

Notes

These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.

¹ 0.079 in/min (2.0 mm/min)

² 3-points

³ This rating not intended to reflect hazards presented by this or any other material under actual fire conditions.



The principles of Responsible Care® and Sustainable Development influence the production of printed literature for Trinseo S.A. and its affiliated companies. As a contribution towards the protection of our environments, Trinseo's printed literature is produced in small quantities and on paper containing recovered/post-consumer fiber and using 100 percent soy-based ink whenever possible.

PRODUCT STEWARDSHIP

Trinseo and its affiliated companies have a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products and for the environment in which we live. This concern is the basis for our Product Stewardship philosophy by which we assess the safety, health and environmental information on our products so that appropriate steps may be taken to protect employee and public health and our environment. The success of our product stewardship program rests with each and every individual involved with Trinseo products – from the initial concept and research, to manufacture, use, sales, disposal and recycle of each product

CUSTOMER NOTICE

Customers are responsible for reviewing their manufacturing processes and their applications of Trinseo products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that Trinseo products are not used in ways for which they are not suitable. Trinseo personnel are available to answer questions and to provide reasonable technical support. Trinseo product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to the use of Trinseo products. Current safety data sheets are available from Trinseo.

No freedom from infringement of any patent owned by Trinseo or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, the customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for the customer's use and for ensuring that the customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable legal requirements. Although the information herein is provided in good faith and was believed to be accurate when prepared, Trinseo assumes no obligation or liability for the information in this document

NOTICE REGARDING MEDICAL APPLICATION RESTRICTIONS

Trinseo requests that customers refer to Trinseo's Medical Application Policy <http://www.trinseo.com/medical.htm> Before considering the use of Trinseo products in medical applications. The restrictions and disclaimers set forth in that policy are incorporated by reference.

DISCLAIMER

TRINSEO MAKES NO WARRANTIES, EITHER EXPRESS OR IMPLIED, IN THIS DOCUMENT; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE (INCLUDING MEDICAL APPLICATIONS) ARE EXPRESSLY EXCLUDED. TRINSEO DISCLAIMS ANY AND ALL LIABILITY FOR LOSSES OR DAMAGES THAT MAY RESULT FROM THE USE OF TRINSEO PRODUCTS IN UNSUPPORTED USE. TRINSEO MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, THAT THE USE OF ANY TRINSEO PRODUCT WILL BE FREE FROM ANY INFRINGEMENT CLAIMS

For more information on products, innovations, expertise, and other services available from Trinseo, visit www.trinseo.com, or contact us as indicated below.

North America	
U.S.	+1-855-TRINSEO (+1-855-874-6736)
U.S. - Canada	+1-989-633-1718
Latin America	
Brazil	+55-11-5184-8722
Argentina, Chile, South Region of LAA	+54-11-4319-0100
Mexico, Colombia, North Region of LAA	+52-55-5201-4700
Europe/Middle East/Africa	
	+800-444-11-444
	+31-11567-2601
Asia Pacific	
China	+86-21-3851-1017
Email	CIG@trinseo.com

www.trinseo.com

GENERAL NOTICE

Any photographs of end-use applications in this document represent potential end-use applications but do not necessarily represent current commercial applications, nor do they represent an endorsement by Trinseo of the actual products. Further, these photographs are for illustration purposes only and do not reflect either an endorsement or sponsorship of any other manufacturer for a specific potential end-use product or application, or for Trinseo, or for specific products manufactured by Trinseo.

If products are described as "experimental" or "developmental": (1) product specifications may not be fully determined; (2) analysis of hazards and caution in handling and use are required; (3) there is greater potential for Trinseo to change specifications and/or discontinue production, and (4) although Trinseo may from time to time provide samples of such products, Trinseo is not obligated to supply or otherwise commercialize such products for any use or application whatsoever.

For additional information not covered by the content of this document or to ensure you have the latest version of this document available, please refer to the Customer Information Group contact information on our website at www.trinseo.com/contact/.

Previously called "Styron", the company announced plans to change the name of all Styron affiliated companies to "Trinseo". Some, but not all, of the Styron companies have completed the name change process and are currently known as "Trinseo"; Styron companies that have not completed this process will continue to do business as Styron until their respective name changes are complete. Styron's operating companies also continue to do business as Styron at this time.

Copyright ©Trinseo (2017) All rights reserved.
™Trademark of Trinseo S.A. or its affiliates
®Responsible Care is a service mark of the American Chemistry Council

PŘÍLOHA 3: MATERIÁLOVÝ LIST MOSETEN GB 005

PP MOSTEN® GB 005

TECHNICKÝ LIST

HOMOPOLYMER PRO TERMOFORMING, VSTŘIKOVÁNÍ A PÁSKY

MFR (230/2,16): 5 g/10 min

Mosten GB 005 je polypropylen vyráběný v Unipetrolu RPA technologií INNOVENE™ PP.

Charakteristika

- AGF stabilizace
- bezftalátový
- splňuje EN 71-3,9 Bezpečnost hraček
- splňuje Evropský lékopis 8 (Ph. Eur. 8, 3.1.3)

Mezinárodní označení

ISO 19069-PP-H,,G,16-05-045

Aplikace

- tvarované obaly pro balení potravin
- technické díly
- stříž
- monoaxiálně orientované pásky
- motouzy

Materiálové vlastnosti (typické hodnoty, netvoří specifikaci daného typu)

Parameter	Zkušební metoda	Jednotka	Hodnota	
REOLOGICKÉ VLASTNOSTI				
Index toku taveniny (230 °C/2,16 kg)	ISO 1133-1	g/10 min	5	
Výrobní smrštění podélně	ISO 294-3,4	%	1,8	
Výrobní smrštění napříč			2,0	
MECHANICKÉ VLASTNOSTI				
Modul pružnosti v ohybu	ISO 178	MPa	1600	
Modul pružnosti v tahu	ISO 527-1,2	MPa	1500	
Napětí na mezi kluzu		MPa	34	
Prodloužení na mezi kluzu		%	9	
Celková tažnost		%	250	
Křípový modul v tahu (5 MPa)	1 h	ISO 899-1	MPa	1000
	1000 h			400
Vrubová houževnatost Charpy 23 °C	ISO 179-1	kJ/m ²	4	
TEPLOTNÍ VLASTNOSTI				
Teplota tání (DSC)	ISO 11357-1, 3	°C	168 - 172	
Teplota měknutí dle Vicata (VST)	ISO 306	°C	155	
HDT (1,8 MPa)	ISO 75-1,2	°C	55	
OSTATNÍ VLASTNOSTI				
Tvrdost Shore D	ISO 868	-	65	

Zpracovatelské podmínky (termoforming)

Parametr	Doporučená hodnota	Jednotka
Teplota taveniny	200 - 260	°C
Délka šneku	≥ 25d*	-
Teplota chladicího válce	1. válec 40 - 80	°C
	2. válec 50 - 80	°C
	3. válec 40 - 70	°C

*Průměr šneku

PP MOSTEN®

TECHNICKÝ LIST

Vzhledové vlastnosti

PP Mosten neobsahuje žádné mechanické nečistoty. Je dodáván v podobě přírodního granulátu. Typické rozmezí sypné hmotnosti PP Mosten je (450 - 600) kg/m³.

Teplotní vlastnosti

PP Mosten se vyznačuje dobrými tepelně-izolačními vlastnostmi. Oblast teplot tání krystalického podílu homopolymerů je (160 - 168) °C, kopolymerů (125 - 168) °C. Teplota skelného přechodu T_g homopolymerů je cca -10 °C. Se snižující se teplotou klesá houževnatost materiálu a pod teplotou -20 °C je materiál již značně křehký. V oblasti záporných teplot je vhodnější použít kopolymer, které mají obecně teplotu skelného přechodu T_g posunutou k výrazně nižším hodnotám než homopolymer. V oblasti vysokých teplot lze PP Mosten používat trvale do 100 °C, tepelně stabilizované typy do 105 °C. Stupeň tepelné stability všech typů PP Mosten je takový, že při obvyklém způsobu zpracování nedochází k významné degradaci materiálu.

Fyzikálně-chemické vlastnosti

PP Mosten je díky svému nepolárnímu charakteru v širokém rozsahu teplot a koncentrací chemicky velmi stálý vůči roztokům anorganických solí, kyselin a zásad. Neodolává pouze oxidačním činidlům (např. koncentrovaná kyselina dusičná, oleum, halogeny), v halogenovaných aromatických uhlovodících a v některých rozpouštědlech za zvýšených teplot bobtná. Navlhavost a nasákavost PP Mosten je velmi malá (0,2 %). Sorpce vody se týká pouze povrchu materiálu, je ho proto použit v prostředí s proměnnou relativní vlhkostí, aniž by docházelo k rozměrovým změnám výrobků či změnám mechanických vlastností.

Při zpracování PP Mosten může působit obtíž vlhkost, z kondenzovaná při přenosu materiálu z prostředí chladnějšího do prostředí teplejšího. Při teplotách skladování nižších než 20 °C se doporučuje kondicionovat materiál min. 24 h před vlastním zpracováním ve výrobní hale.

Zdravotní nezávadnost

PP Mosten splňuje požadavky těchto nařízení a předpisů, v platném znění:

- Zákona č. 152/1995 Sb.;
- Vyhlášky MZ ČR č. 38/2001 Sb.;
- Nařízení Evropského Parlamentu (EP) a Rady (ES) č. 1935/2004;
- Nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH) - při výrobě tohoto typu PP Mosten nebyly použity žádné ftaláty;
- Nařízení Komise (EU) č. 10/2011, v platném znění.

Požární a bezpečnostně-technické charakteristiky

PP Mosten není podle nařízení EP a Rady (ES) č. 1272/2008 (CLP) klasifikován jako nebezpečná látka ani nespĺňuje žádnou z dalších podmínek uvedených v čl. 31 nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH), a proto se na něj nevztahuje povinnost poskytovat příjemci bezpečnostní list. Povinné informace o produktu podle čl. 32 nařízení EP a Rady (ES) č. 1907/2006 (REACH) a další údaje jsou uvedeny ve „Sdělení“ výrobce. Dokument je k dispozici na www.unipetrolrpa.cz nebo na vyžádání.

Skladování a manipulace

PP Mosten se dodává v polyetylenových pytlích (>PE-LD<) o hmotnosti 25 kg. Pytle se ukládají v počtu 55 kusů na paletách, fixovaných smršťovací fólií (>PE-LD<). Fólie chrání výrobek proti poškození a zvyšuje jeho životnost. Ložené palety jsou určeny ke stohování do 2 vrstev, výjimečně do 3 vrstev. PP Mosten může být alternativně dodáván volně ložený v autocisternách. Jiný způsob balení nebo dopravy je možný po dohodě s odběratelem.

PP Mosten je skladován v suchém, větraném, zastřešeném skladu, jehož prostory jsou chráněny před přímými účinky slunečního záření. Doporučené rozmezí teplot ve skladu je -20 °C až +50 °C. Vzdálenost od zdroje tepla je nejméně 1 m. Doporučená doba skladování PP Mosten v uzavřených obalech za stanovených podmínek skladování je až 1 rok. Při delším skladování je vhodné ověřit vlastnosti materiálu před jeho zpracováním.

Obaly

Obaly, použité výrobcem pro balení materiálu PP Mosten splňují požadavky §3 a 4 zákona č. 477/2001 Sb. o obalech, v platném znění. Obaly jsou navrženy a vyrobeny podle technických předpisů pro hmotnost a objem výrobků, pro které jsou určeny.

Materiál obalů neobsahuje klasifikované nebezpečné látky. Součet obsahu těžkých kovů v obalu (olova, kadmia, rtuti a šestimocného chromu) nepřekračuje limitní hodnotu 100 ppm.

Doporučené zařazení dle Katalogu odpadů: č. 15 01 02 (plastové obaly), č. 15 01 03 (dřevěné palety).

Doporučené způsoby využívání odpadů: materiálové využití, energetické využití.

Pokyny pro nakládání s odpadem ze zpracování PE

Výrobky z PP Mosten a neznečištěný odpad, který vzniká při jeho zpracování, lze recyklovat a dále zpracovat na technické výrobky. V souladu s ČSN 77 0052-2 a ČSN EN ISO 11469 se pro polypropylen používá druhová materiálová značka >PP<. Materiálové značení na výrobcích z polypropylenu usnadňuje identifikaci materiálu při sběru, třídění, využívání či odstraňování uživatelského odpadu.

PP Mosten z produkce Unipetrol RPA neobsahuje olovo, kadmium, rtuť ani šestimocný chrom, přičemž součet koncentrací těchto těžkých kovů nepřesahuje limitní hodnotu 100 ppm. Odpad z PP Mosten zařazuje původce odpadu dle platné legislativy.

Doporučené zařazení podle Katalogu odpadů - č. 07 02 13.

Doporučené způsoby využívání odpadů: materiálové využití, energetické využití.

PŘÍLOHA 4: MATERIÁLOVÝ LIST DERLIN 100

Product Information

DuPont™ Delrin®

acetal resin

Delrin® 100 NC010

Delrin® 100 is a high viscosity acetal homopolymer for use in easy to fill molds. Delrin® 100 provides maximum toughness in the product line without modification, and optimum mechanical performance.

Property	Test Method	Units	Value
Identification			
Resin Identification	ISO 1043		POM
Part Marking Code	ISO 11469		>POM<
Mechanical			
Yield Stress	ISO 527	MPa (kpsi)	71 (10.3)
Yield Strain	ISO 527	%	25
Strain at Break	ISO 527	%	70
Nominal Strain at Break	ISO 527	%	45
Tensile Modulus	ISO 527	MPa (kpsi)	3100 (450)
Tensile Creep Modulus	ISO 899	MPa (kpsi)	
1h			2900 (421)
1000h			1600 (232)
Flexural Modulus	ISO 178	MPa (kpsi)	2700 (390)
Flexural Stress	ISO 178	MPa (kpsi)	
@ 3.5% Strain			76 (11)
Notched Charpy Impact Strength	ISO 179/1eA	kJ/m ²	
-30°C (-22°F)			11
23°C (73°F)			14
Unnotched Charpy Impact Strength	ISO 179/1eU	kJ/m ²	
-30°C (-22°F)			NB
23°C (73°F)			NB

Contact DuPont for Material Safety Data Sheet, general guides and/or additional information about ventilation, handling, purging, drying, etc.

ISO Mechanical properties measured at 4.0mm, ISO Electrical properties measured at 2.0mm, and all ASTM properties measured at 3.2mm.

Test temperatures are 23°C unless otherwise stated.

The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™ and Delrin® are trademarks or registered trademarks of DuPont Company. Copyright© 2005.

060123/060123

The information provided in this data sheet corresponds to our knowledge on the subject at the date of its publication. This information may be subject to revision as new knowledge and experience becomes available. The data provided fall within the normal range of product properties and relate only to the specific material designated; these data may not be valid for such material used in combination with any other materials, additives or pigments or in any process, unless expressly indicated otherwise. The data provided should not be used to establish specification limits or used alone as the basis of design, they are not intended to substitute for any testing you may need to conduct to determine for yourself the suitability of a specific material for your particular purposes. Since DuPont cannot anticipate all variations in actual end-use conditions DuPont makes no warranties and assumes no liability in connection with any use of this information. Nothing in this publication is to be considered as a license to operate under or a recommendation to infringe any patent rights. DuPont advises you to seek independent counsel for a freedom to practice opinion on the intended application or end-use of our products. Caution: Do not use this product in medical applications involving permanent implantation in the human body. For other medical applications see "DuPont Medical Caution Statement", H-50102.

plastics.dupont.com



The miracles of science®

Product Information

Delrin® 100 NC010

Property	Test Method	Units	Value
Thermal			
Deflection Temperature 0.45MPa	ISO 75f	°C (°F)	165 (329)
1.80MPa			98 (210)
Melting Temperature 10°C/min	ISO 11357-1/-3	°C (°F)	178 (352)
CLTE, Normal -40 - 23°C (-40 - 73°F)	ISO 11359-1/-2	E-4/C (E-4/F)	1.0 (0.56)
23 - 55°C (73 - 130°F)			1.1 (0.61)
55 - 100°C (130 - 212°F)			1.5 (0.83)
CLTE, Parallel -40 - 23°C (-40 - 73°F)	ISO 11359-1/-2	E-4/C (E-4/F)	1.0 (0.56)
23 - 55°C (73 - 130°F)			1.1 (0.61)
55 - 100°C (130 - 212°F)			1.4 (0.78)
Vicat Softening Temperature 50N	ISO 306	°C (°F)	160 (320)
Rheological			
Melt Mass-Flow Rate 190°C, 2.16kg	ISO 1133	g/10 min	2.3
Electrical			
Surface Resistivity	IEC 60093	ohm	>1E15
Relative Permittivity	IEC 60250		
1E2 Hz			3.8
1E6 Hz			3.7
Volume Resistivity	IEC 60093	ohm m	1E12
Dissipation Factor	IEC 60250	E-4	
1E2 Hz			180
1E6 Hz			50
Electric Strength	IEC 60243-1	kV/mm	22
1.0mm			32 (812)
CTI	IEC 60112	V	600

Contact DuPont for Material Safety Data Sheet, general guides and/or additional information about ventilation, handling, purging, drying, etc.
ISO Mechanical properties measured at 4.0mm, ISO Electrical properties measured at 2.0mm, and all ASTM properties measured at 3.2mm.
Test temperatures are 23°C unless otherwise stated.

The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™ and Delrin® are trademarks or registered trademarks of DuPont Company. Copyright© 2005.

060123/060123

The information provided in this data sheet corresponds to our knowledge on the subject at the date of its publication. This information may be subject to revision as new knowledge and experience becomes available. The data provided fall within the normal range of product properties and relate only to the specific material designated; these data may not be valid for such material used in combination with any other materials, additives or pigments or in any process, unless expressly indicated otherwise. The data provided should not be used to establish specification limits or used alone as the basis of design; they are not intended to substitute for any testing you may need to conduct to determine for yourself the suitability of a specific material for your particular purposes. Since DuPont cannot anticipate all variations in actual end-use conditions DuPont makes no warranties and assumes no liability in connection with any use of this information. Nothing in this publication is to be considered as a license to operate under or a recommendation to infringe any patent rights. DuPont advises you to seek independent counsel for a freedom to practice opinion on the intended application or end-use of our products. Caution: Do not use this product in medical applications involving permanent implantation in the human body. For other medical applications see "DuPont Medical Caution Statement", H-50102.

plastics.dupont.com



The miracles of science®

Product Information

Delrin® 100 NC010

Property	Test Method	Units	Value
Flammability			
Flammability Classification	IEC 60695-11-10		
0.75mm			HB
1.5mm			HB
3.0mm			HB
6.0mm			HB
Oxygen Index	ISO 4589-1/-2	%	22
Temperature Index			
RTI, Electrical	UL 746B	°C	
0.75mm			50
1.5mm			105
3.0mm			105
6.0mm			105
RTI, Impact	UL 746B	°C	
0.75mm			50
1.5mm			85
3.0mm			85
6.0mm			85
RTI, Strength	UL 746B	°C	
0.75mm			50
1.5mm			90
3.0mm			90
6.0mm			90

Contact DuPont for Material Safety Data Sheet, general guides and/or additional information about ventilation, handling, purging, drying, etc.
 ISO Mechanical properties measured at 4.0mm, ISO Electrical properties measured at 2.0mm, and all ASTM properties measured at 3.2mm.
 Test temperatures are 23°C unless otherwise stated.

The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™ and Delrin® are trademarks or registered trademarks of DuPont Company. Copyright© 2005.

060123/060123

The information provided in this data sheet corresponds to our knowledge on the subject at the date of its publication. This information may be subject to revision as new knowledge and experience becomes available. The data provided fall within the normal range of product properties and relate only to the specific material designated; these data may not be valid for such material used in combination with any other materials, additives or pigments or in any process, unless expressly indicated otherwise. The data provided should not be used to establish specification limits or used alone as the basis of design; they are not intended to substitute for any testing you may need to conduct to determine for yourself the suitability of a specific material for your particular purposes. Since DuPont cannot anticipate all variations in actual end-use conditions DuPont makes no warranties and assumes no liability in connection with any use of this information. Nothing in this publication is to be considered as a license to operate under or a recommendation to infringe any patent rights. DuPont advises you to seek independent counsel for a freedom to practice opinion on the intended application or end-use of our products. **Caution:** Do not use this product in medical applications involving permanent implantation in the human body. For other medical applications see "DuPont Medical Caution Statement", H-50102.

Product Information

Delrin® 100 NC010

Property	Test Method	Units	Value
Other			
Density	ISO 1183	kg/m ³ (g/cm ³)	1420 (1.42)
Hardness, Rockwell	ISO 2039/2		
Scale M			92
Scale R			120
Water Absorption	ISO 62, Similar to	%	
Equilibrium 50%RH			0.2
Saturation, immersed			0.9
Molding Shrinkage	ISO 294-4	%	
Normal, 2.0mm			1.9
Parallel, 2.0mm			2.1
Processing			
Melt Temperature Range		°C (°F)	210-220 (410-430)
Melt Temperature Optimum		°C (°F)	215 (420)
Mold Temperature Range		°C (°F)	80-100 (175-210)
Mold Temperature Optimum		°C (°F)	90 (195)
Drying Time, Dehumidified Dryer		h	2-4
Drying Temperature		°C (°F)	80 (175)
Processing Moisture Content		%	<0.2
Hold Pressure Range		MPa (kpsi)	90-110 (13-16)

Contact DuPont for Material Safety Data Sheet, general guides and/or additional information about ventilation, handling, purging, drying, etc.
 ISO Mechanical properties measured at 4.0mm, ISO Electrical properties measured at 2.0mm, and all ASTM properties measured at 3.2mm.
 Test temperatures are 23°C unless otherwise stated.

The DuPont Oval Logo, DuPont™, The miracles of science™ and Delrin® are trademarks or registered trademarks of DuPont Company. Copyright© 2005.

060123/060123

The information provided in this data sheet corresponds to our knowledge on the subject at the date of its publication. This information may be subject to revision as new knowledge and experience becomes available. The data provided fall within the normal range of product properties and relate only to the specific material designated; these data may not be valid for such material used in combination with any other materials, additives or pigments or in any process, unless expressly indicated otherwise. The data provided should not be used to establish specification limits or used alone as the basis of design; they are not intended to substitute for any testing you may need to conduct to determine for yourself the suitability of a specific material for your particular purposes. Since DuPont cannot anticipate all variations in actual end-use conditions DuPont makes no warranties and assumes no liability in connection with any use of this information. Nothing in this publication is to be considered as a license to operate under or a recommendation to infringe any patent rights. DuPont advises you to seek independent counsel for a freedom to practice opinion on the intended application or end-use of our products. Caution: Do not use this product in medical applications involving permanent implantation in the human body. For other medical applications see "DuPont Medical Caution Statement", H-50102.

plastics.dupont.com



The miracles of science®

PŘÍLOHA 5: MATERIÁLOVÝ LIST ENGAGE 8401

Technical Information



ENGAGE™ 8401 Polyolefin Elastomer

Overview ENGAGE™ 8401 Polyolefin Elastomer is an ethylene-octene copolymer that offers excellent performance in durable, flexible injection molded industrial and consumer goods.

ENGAGE 8401 provides high clarity in products requiring visual inspection and allows the use of hot runner molds to enhance production efficiency. In addition, its low density can help control resin and production costs, while reducing the weight of end products.

Main Characteristics:

- Pellet form
- Excellent flow characteristics
- High clarity
- Reduced part weight

Applications:

- Injection molded industrial and consumer durable goods
- Impact modification

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	0.885 g/cm ³	0.885 g/cm ³	ASTM D792
Melt Index (190°C/2.16 kg)	30 g/10 min	30 g/10 min	ASTM D1238
Mooney Viscosity (ML 1+4, 250°F (121°C))	2 MU	2 MU	ASTM D1646
Mechanical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tensile Modulus - 100% Secant ¹ (Compression Molded)	580 psi	4.00 MPa	ASTM D638
Tensile Strength ¹ (Break, Compression Molded)	1230 psi	8.50 MPa	ASTM D638
Tensile Elongation ¹ Break, Compression Molded	940 %	940 %	ASTM D638
Flexural Modulus			ASTM D790
1% Secant : Compression Molded	4450 psi	30.7 MPa	
2% Secant : Compression Molded	4440 psi	30.6 MPa	
Elastomers	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Tear Strength ²	321 lbf/in	56.2 kN/m	ASTM D624
Hardness	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Durometer Hardness			ASTM D2240
Shore A, 1 sec, Compression Molded	84	84	
Shore D, 1 sec, Compression Molded	26	26	
Thermal	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Glass Transition Temperature	-52.6 °F	-47.0 °C	Dow Method
Vicat Softening Temperature	120 °F	49.0 °C	ASTM D1525
Melting Temperature (DSC) ³	176 °F	80.0 °C	Dow Method
Peak Crystallization Temperature (DSC)	138 °F	59.0 °C	Dow Method

Notes

These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.

¹ 20 in/min (510 mm/min)

² Die C

³ 10°C/min

Product Stewardship

The Dow Chemical Company and its subsidiaries ("Dow") has a fundamental concern for all who make, distribute, and use its products, and for the environment in which we live. This concern is the basis for our Product Stewardship philosophy by which we assess the safety, health, and environmental information on our products and then take appropriate steps to protect employee and public health and our environment. The success of our Product Stewardship program rests with each and every individual involved with Dow products — from the initial concept and research, to manufacture, use, sale, disposal, and recycle of each product.

Customer Notice

Dow strongly encourages its customers to review both their manufacturing processes and their applications of Dow products from the standpoint of human health and environmental quality to ensure that Dow products are not used in ways for which they are not intended or tested. Dow personnel are available to answer your questions and to provide reasonable technical support. Dow product literature, including safety data sheets, should be consulted prior to use of Dow products. Current safety data sheets are available from Dow.

Medical Applications Policy

NOTICE REGARDING MEDICAL APPLICATION RESTRICTIONS: Dow will not knowingly sell or sample any product or service ("Product") into any commercial or developmental application that is intended for:

- long-term or permanent contact with internal bodily fluids or tissues. "Long-term" is contact which exceeds 72 continuous hours;
- use in cardiac prosthetic devices regardless of the length of time involved ("cardiac prosthetic devices" include, but are not limited to, pacemaker leads and devices, artificial hearts, heart valves, intra-aortic balloons and control systems, and ventricular bypass-assisted devices);
- use as a critical component in medical devices that support or sustain human life; or
- use specifically by pregnant women or in applications designed specifically to promote or interfere with human reproduction.

Dow requests that customers considering use of Dow products in medical applications notify Dow so that appropriate assessments may be conducted. Dow does not endorse or claim suitability of its products for specific medical applications. It is the responsibility of the medical device or pharmaceutical manufacturer to determine that the Dow product is safe, lawful, and technically suitable for the intended use. **DOW MAKES NO WARRANTIES, EXPRESS OR IMPLIED, CONCERNING THE SUITABILITY OF ANY DOW PRODUCT FOR USE IN MEDICAL APPLICATIONS.**

Disclaimer

NOTICE: No freedom from infringement of any patent owned by Dow or others is to be inferred. Because use conditions and applicable laws may differ from one location to another and may change with time, the Customer is responsible for determining whether products and the information in this document are appropriate for the Customer's use and for ensuring that the Customer's workplace and disposal practices are in compliance with applicable laws and other governmental enactments. Dow assumes no obligation or liability for the information in this document. **NO WARRANTIES ARE GIVEN; ALL IMPLIED WARRANTIES OF MERCHANTABILITY OR FITNESS FOR A PARTICULAR PURPOSE ARE EXPRESSLY EXCLUDED.**

NOTICE: If products are described as "experimental" or "developmental": (1) product specifications may not be fully determined; (2) analysis of hazards and caution in handling and use are required; (3) there is greater potential for Dow to change specifications and/or discontinue production; and (4) although Dow may from time to time provide samples of such products, Dow is not obligated to supply or otherwise commercialize such products for any use or application whatsoever.

NOTICE: This data is based on information Dow believes to be reliable, as demonstrated in controlled laboratory testing. They are offered in good faith, but without guarantee, as conditions and method of use of Dow products are beyond Dow's control. Dow recommends that the prospective user determine the suitability of these materials and suggestions before adopting them on a commercial scale.

To the best of our knowledge, the information contained herein is accurate and reliable as of the date of publication, however we do not assume any liability for the accuracy and completeness of such information.

Additional Information

North America		Europe/Middle East	+800-3694-6367
U.S. & Canada:	1-800-441-4369		+31-11567-2626
	1-989-832-1426	Italy:	+800-783-825
Mexico:	+1-800-441-4369		
Latin America		South Africa	+800-99-5078
Argentina:	+54-11-4319-0100		
Brazil:	+55-11-5188-9000		
Colombia:	+57-1-219-6000	Asia Pacific	+800-7776-7776
Mexico:	+52-55-5201-4700		+603-7965-5392

www.dowplastics.com

This document is intended for use within Asia Pacific, Europe, Latin America, North America

Published: 2000-11-30

© 2019 The Dow Chemical Company



PŘÍLOHA 6: PRODUKTOVÝ LIST SIGAAN Px



Aplikace:

Výroba části světlometu.

Nástroj:

Vložka formy pro
vstřikování plastu.

Cíl:

Eliminace nalepování
materiálu LCP Vectra E540L.



*výlisk z formy bez povlaku
s vytržením materiálu*



*výlisk z formy s povlakem
SIGAAN Px bez vytržení
materiálu*

SIGAAN Px

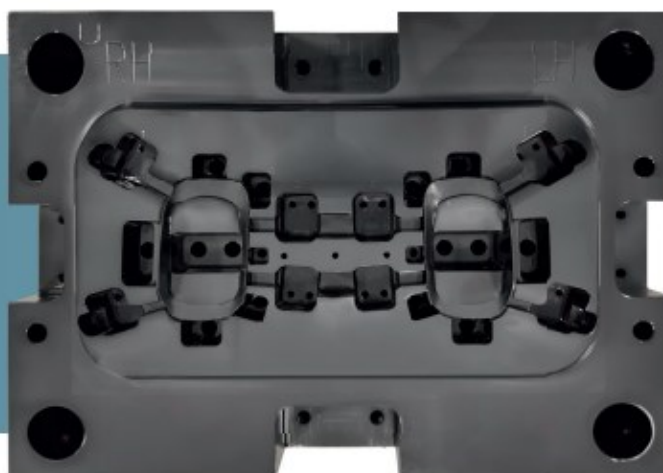
UNIKÁTNÍ KERAMICKÝ POVLAK NA BÁZI KŘEMÍKU
MODIFIKOVANÝ PRO VSTŘIKOVÁNÍ PLASTŮ

Povlak plně využívá potenciál patentované technologie segmentové katody, která umožňuje průmyslovou přípravu PVD povlaků neobvyklého chemického složení.

Shodně s konvenčními PVD povlaky vykazuje vysokou tvrdost, výjimečnou otěruvzdornost či tepelnou a chemickou stabilitu.

Svým mimořádným složením a vlastnostmi přináší následující efekty:

- eliminace nalepování plastu na formy,
- minimální nároky na údržbu forem (čištění, leštění),
- zkrácení výrobního cyklu - odformování při vyšší teplotě,
- zrychlení toku taveniny,
- zvýšení životnosti forem.



forma s povlakem SIGAAN Px

PRŮMYSLOVÉ
PVD POVLAKY

SHM, s.r.o. Šumperk SHM Slovakia, s.r.o. Rajec

WWW.SHM-CZ.CZ

SIGAAN Px