



Pedagogická
fakulta
Faculty
of Education

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Pedagogická fakulta
Katedra fyziky

Diplomová práce

Optimalizace svařovacích parametrů pro bezkontaktní svařovací technologie vybraných termoplastů

Vypracoval: Bc. Stanislav Brůha
Vedoucí práce: PaedDr. Bedřich Veselý, Ph.D.

České Budějovice 2013

ANOTACE

Tato diplomová práce se zabývá optimalizací svařovacích parametrů pro bezkontaktní technologie svařování horkým elementem a svařování horkým plynem u vybraných termoplastů, konkrétně POM a PPA. V teoretické části jsou v jednotlivých kapitolách shrnuty: bezkontaktní technologie svařování horkým elementem, bezkontaktní technologie svařování horkým plynem, popis zkušebních svařovacích strojů a přípravků, hlavní procesní parametry a zhodnocení výhod a nevýhod jednotlivých technologií. V praktické části jsou optimalizovány svařovací parametry pomocí systematiky Design of Experiment, vyhodnocení krátkodobé způsobilosti stroje a vyhodnocena mikrotomová analýza. V závěru se nachází výsledky optimalizace svařovacích parametrů a porovnání jednotlivých bezkontaktních technologií svařování.

Klíčová slova: svařování horkým elementem, svařování horkým plynem, polyoxymetylén, polyphthalamid, tlaková destrukční zkouška, mikrotomová analýza, způsobilost svařovacího stroje

ABSTRACT

This diploma thesis deals with the technology of noncontact hot plate welding and hot gas welding and with the optimizing of welding parameters of the chosen thermoplastics, especially of POM and PPA. The individual chapters in the theoretical part focus on following topics: technology of noncontact hot plate welding, technology of noncontact hot gas welding, description of the test welding machines and tools, main process parameters and evaluation of the advantages and disadvantages of each technology. In the practical part the welding parameters are optimized by the Design of Experiment systematic, the short-term capability machine and the microtome analysis are evaluated. In the end there are the results of the welding parameters optimization and comparison of noncontact welding technologies.

Key words: hot plate welding, hot gas welding, polyoxymethylene, polyphthalamid, burst pressure test, microtome analysis, welding machine capability

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury uvedené v seznamu citované literatury.

Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, v úpravě vzniklé vypuštěním vyznačených částí archivovaných Pedagogickou fakultou elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejích internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Č. Budějovicích dne 30. 04. 2013

.....

Podpis studenta

PODĚKOVÁNÍ

Především bych chtěl poděkovat vedoucímu diplomové práce PaedDr. Bedřichu Veselému, Ph.D. za jeho cenné rady a připomínky týkající se řešení diplomové práce. Mé velké díky patří kolegům panu Ing. Bohumilu Málkovi a panu Ing. Petru Kučerovi, kteří svými zkušenostmi, ochotou a poskytnutými praktickými informacemi přispěli ke vzniku této práce. Rovněž děkuji společnosti Robert Bosch spol. s r.o. České Budějovice za poskytnutí podkladů, potřebné měřicí techniky a možnosti využití HES zkušebního svařovacího stroje, HGS zkušebního svařovacího stroje ve firmě KVT Bielefeld a celému oddělení TEF3 za pomoc při provádění zadaných zkoušek a za jejich ochotu, s jakou mi poskytovali veškeré dostupné informace.

V neposlední řadě mé poděkování patří rodině, která mě po celou dobu studia výrazně podporovala.

OBSAH

ÚVOD	8
CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE	9
I. TEORETICKÁ ČÁST	10
1 BEZKONTAKTNÍ SVAŘOVÁNÍ HORKÝM ELEMENTEM	11
1.1 Stroje pro technologii svařování horkým elementem.....	12
1.2 Stroje pro technologii bezkontaktního svařování horkým elementem v RBCB	13
1.3 Zkušební svařovací stroj TEAZ BB017 v RBCB na oddělení TEF3	13
1.3.1 Popis postupu při vysokoteplotním bezkontaktním svařování na stroji TEAZ BB017 ..	15
1.4 Hlavní procesní parametry při bezkontaktním svařování horkým elementem	16
1.4.1 Teplota horkého elementu	16
1.4.2 Odstup dílů od svařovacích desek.....	17
1.4.3 Čas ohřevu.....	17
1.4.4 Čas přestavení	17
1.4.5 Dráha spojení	18
1.5 Svařovací přípravek	18
1.6 Výhody a nevýhody bezkontaktního svařování horkým elementem.....	20
2 SVAŘOVÁNÍ HORKÝM PLYNEM	21
2.1 Stroje pro technologii svařování horkým plynem	23
2.2 Stroje pro technologii svařování horkým plynem v RBCB.....	23
2.3 Zkušební svařovací stroj	24
2.3.1 Popis postupu při svařování horkým plynem.....	26
2.4 Hlavní procesní parametry	26
2.4.1 Teplota plynu.....	27
2.4.2 Odstup dílů od trysek	27
2.4.3 Čas ohřevu.....	27
2.4.4 Čas přestavení	27
2.4.5 Dráha spojení	27
2.5 Svařovací přípravek	28
2.6 Výhody a nevýhody	29
3 METODY PLÁNOVÁNÍ.....	30
3.1 Statistické plánování.....	30

3.1.1	Plackett-Burman.....	30
3.1.2	Design of Experiment	31
3.1.2.1	<i>Postup pro Design of Experiment</i>	<i>32</i>
4	HODNOCENÍ KVALITY SVAROVÉHO SPOJE	34
4.1	Tlaková destrukční zkouška - Berstdruck	34
4.1.1	Zkušební kapalina používaná při tlakové destrukční zkoušce.....	34
4.1.2	Provedení zařízení	35
4.1.3	Průběh zkoušky	36
4.1.4	Výkonové požadavky.....	37
4.1.5	Strojní část.....	37
4.1.6	Řízení a SW	38
4.1.7	Přípravek na tlakovou destrukční zkoušku.....	39
4.2	Univerzální stanice na měření těsnosti – MKS	39
4.2.1	Provedení zařízení	39
4.2.2	Průběh zkoušky	40
4.3	Ověřování způsobilosti strojů a procesů	42
4.3.1	Analýza způsobilosti	42
4.3.1.1	<i>Analýza způsobilosti stroje (C_m, C_{mk}).....</i>	<i>42</i>
4.3.1.2	<i>Analýza způsobilosti procesu (C_p, C_{pk}).....</i>	<i>44</i>
4.4	Mikrotomová analýza	44
II.	PRAKTICKÁ ČÁST.....	46
5	ZKUŠEBNÍ SVAŘOVACÍ TĚLÍSKO	47
6	TESTOVANÉ MATERIÁLY.....	48
6.1	POM Kepital FA-20 black	48
6.1.1	Zpracování a použití	49
6.2	PPA Grivory HTV-4X1 black 9205.....	49
6.2.1	Zpracování a použití	50
7	VÝSLEDKY BEZKONTAKTNÍHO SVAŘOVÁNÍ HORKÝM ELEMENTEM.....	51
	ZÁVĚR.....	75
	SEZNAM OBRÁZKŮ	78
	SEZNAM TABULEK.....	80

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	81
SEZNAM PŘÍLOH.....	82

ÚVOD

Využití plastů a jeho zpracování patří v dnešní době k neodmyslitelné části našeho každodenního života. Plasty velkou měrou zasahují do našeho života a tvoří jeho nedílnou součást. V posledních desetiletí prodělaly plasty strmý vývoj a obliba tohoto druhu materiálu neustále roste.

Plasty se do průmyslového odvětví dostaly postupným nahrazováním konvenčních materiálů. Materiály jako např. kov, bavlna, keramika, dřevo aj. jsou postupně nahrazovány polymerními materiály. Za posledních pětadvacet let se polymerní materiály staly nepostradatelnými ve všech oblastech průmyslu a to hlavně díky svým charakteristickým vlastnostem, dostupnosti a poměrně snadnému zpracování. Největší využití polymerních materiálů při výrobě dopravních prostředků je v automobilovém průmyslu. Zde se hlavně uplatňují takové vlastnosti, jako jsou např. dobrá měrná pevnost, dobrá chemická odolnost, nízká cena vyráběných součástí, elektrické a dielektrické vlastnosti, nízká hmotnost a možnost výroby hotového výrobku během jedné operace (vstřikování).

S rostoucím zájmem využití tohoto druhu materiálu se musíme také zabývat různými druhy jejich spojování. Spojování plastů můžeme rozdělit do dvou skupin a to na rozebíratelné a nerozebíratelné. Mezi rozebíratelné spoje patří např. šroubové, západkové, aj. Do nerozebíratelných spojů řadíme např. lisování, nýtování, lepení a svařování. Právě svařováním se bude zabývat tato práce.

V RBCB se pro svařování termoplastů využívá velké množství technologií jako např.:

- ultrazvukové svařování
- rotační svařování
- vibrační svařování
- laserové svařování
- svařování horkým elementem
- svařování za pomoci horkého plynu

Každá z výše uvedených technologií má své výhody a nevýhody a nelze ji dokonale aplikovat na všechny druhy termoplastů. Tato práce bude zaměřena na svařování termoplastů, přesněji polymerních materiálů (Polyoxymethylen – POM, Polyftalamid – PPA) bezkontaktními svařovacími technologiemi (svařování horkým elementem – HPW, svařování za pomoci horkého plynu – HGW).

CÍL DIPLOMOVÉ PRÁCE

Impulzem pro zadání této diplomové práce bylo nalezení nové technologie svařování (svařování horkým plynem), které by mohlo firmě Robert Bosch spol. s r.o., České Budějovice do budoucna přinést spoustu výhod, jako např. zpracování nových, jinými technologiemi hůře svažitelných, materiálů. Požadavky na svařené díly jsou absolutní těsnost a maximální hodnota tlakové destrukční zkoušky. Mezi ostatní požadavky, které se nebudou vyhodnocovat, ale bude k nim přihlédnuto, patří: minimální čas cyklu, nízké výrobní náklady aj.

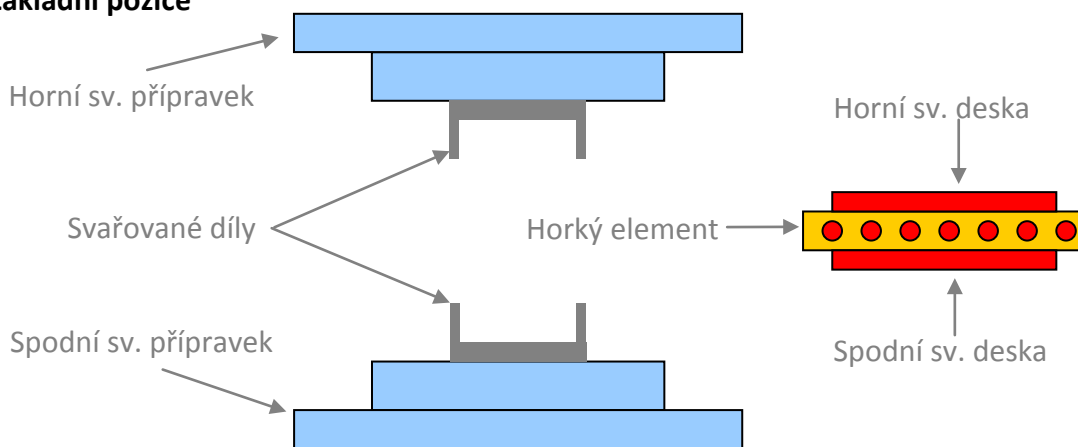
Hlavním cílem této diplomové práce bude nalezení optimálních svařovacích parametrů pro bezkontaktní technologie vybraných termoplastů. Bude se jednat o technologie bezkontaktního svařování horkým elementem a bezkontaktního svařování horkým plynem. Materiály určené k provádění optimalizace svařovacích parametrů pro dané technologie svařování budou POM Kepital FA-20 black a PPA Grivory HTV-4X1 black. Optimalizace svařovacích parametrů, ověření a vyhodnocení způsobilostí svařovacích strojů bude provedeno pomocí standardních statistických nástrojů, kterými firma Robert Bosch spol. s r. o. disponuje. Na závěr proběhne porovnání obou technologií svařování na základě získaných a naměřených výsledků z procesu uvolňování.

I. TEORETICKÁ ČÁST

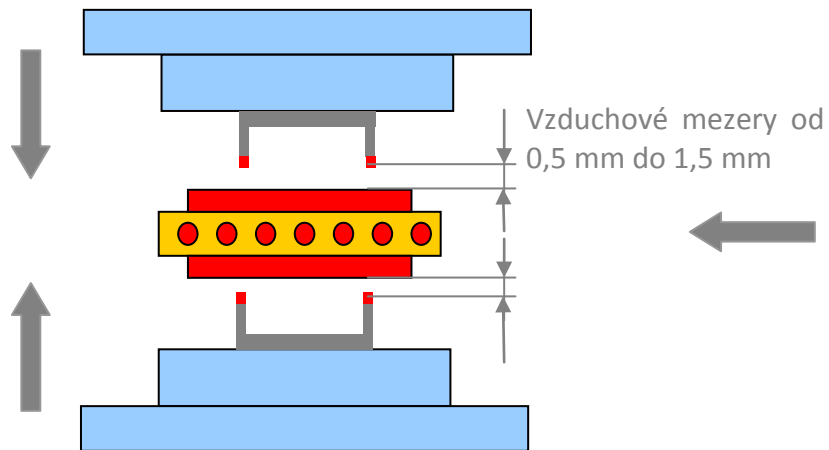
1 Bezkontaktní svařování horkým elementem

Bezkontaktní svařování je jeden ze způsobů jak dosáhnout dobrého svarového spoje, aniž bychom museli řešit problémy s nalepením svařovaného materiálu k svařovací desce. Na obrázku č. 1 jsou znázorněny jednotlivé fáze a postup u bezkontaktního svařování horkým elementem. [2]

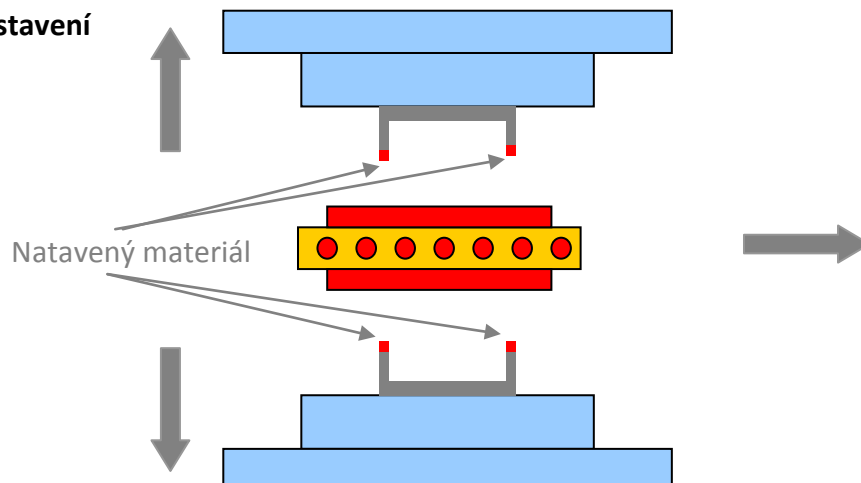
A) Základní pozice

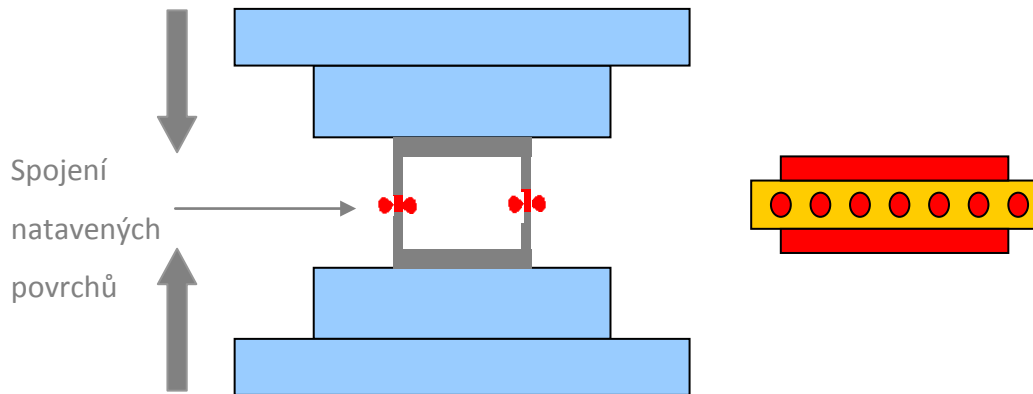


B) Nahřívání



C) Přestavení



D) Spojení a chlazení**Obr. č. 1** Jednotlivé fáze a postup u bezkontaktního svařování horkým elementem [1]

Je to způsob, kdy nedochází ke vzniku taveniny přímým kontaktem dílu a svařovací desky ale bezkontaktním přestupem tepla do dílu přes vzduchovou mezeru. Teplota je závislá na druhu svařovaného materiálu, většinou se pohybuje v rozmezí od 400 °C do 550 °C. U této technologie je bezpodmínečně nutné zajistit rovinnost celé svařovací geometrie daných dílů do 0,2 mm. Takovou odchylku je prakticky možné udržet pouze u dílů menších rozměrů. Plastové díly větších rozměrů se po vystříknutí deformují, a tím znemožňují použití tohoto způsobu svařování. Pokud by byla např. rovinnost svařovací geometrie větší než povolená rozměr, docházelo by k nerovnoměrnému prohřátí dílů a tím oslabení svarového spoje. Díly jsou od svařovacích desek při fázi nahřívání vzdáleny od 0,5 mm do 1,5 mm. Svařovací parametry musejí být zvoleny tak, aby nedocházelo ke vzniku velkého či malého množství taveniny, degradaci materiálu apod. Rovinnost svařovací geometrie velkou mírou omezuje technologii bezkontaktního svařování, rozměr dílů svařovaných touto technologií obvykle nepřesáhne rozměr 100 mm x 100 mm. [2]

1.1 Stroje pro technologii svařování horkým elementem

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.2 Stroje pro technologii bezkontaktního svařování horkým elementem v RBCB

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.3 Zkušební svařovací stroj TEAZ BB017 v RBCB na oddělení TEF3

Následující pasáž o rozsahu 2 stránek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.3.1 Popis postupu při vysokoteplotním bezkontaktním svařování na stroji TEAZ BB017

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.4 Hlavní procesní parametry při bezkontaktním svařování horkým elementem

Níže uvedené svařovací parametry patří mezi nejdůležitější. Vhodnou kombinací těchto svařovacích parametrů lze dosáhnout kvalitního svarového spoje.

1.4.1 Teplota horkého elementu

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.4.2 Odstup dílů od svařovacích desek

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.4.3 Čas ohřevu

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.4.4 Čas přestavení

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.4.5 Dráha spojení

Následující pasáž o rozsahu 2 odstavců obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.5 Svařovací přípravek

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

1.6 Výhody a nevýhody bezkontaktního svařování horkým elementem

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2 Svařování horkým plynem

Následující pasáž o rozsahu 2 stránek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.1 Stroje pro technologii svařování horkým plynem

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.2 Stroje pro technologii svařování horkým plynem v RCB

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.3 Zkušební svařovací stroj

Následující pasáž o rozsahu 2 stránek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.3.1 Popis postupu při svařování horkým plynem

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.4 Hlavní procesní parametry

Níže uvedené svařovací parametry patří mezi nejdůležitější. Vhodnou kombinací těchto svařovacích parametrů lze dosáhnout kvalitního svarového spoje.

2.4.1 Teplota plynu

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.4.2 Odstup dílů od trysek

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.4.3 Čas ohřevu

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.4.4 Čas přestavení

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.4.5 Dráha spojení

Následující pasáž o rozsahu 2 odstavců obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.5 Svařovací přípravek

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

2.6 Výhody a nevýhody

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

3 Metody plánování

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

3.1 Statistické plánování

K dobrému poznání zkoumaného procesu je důležité si jeho postup poznávání dobře naplánovat. K tomu slouží několik statistických metod a systematik, mezi které např. patří:

- Plackett-Burman test - slouží k rozřídění velkého množství vstupujících faktorů na významné, méně významné a nevýznamné
- Design of Experiment - tento experiment se skládá z dvouúrovňového faktoriálního testu (2LFT) a optimalizace, zjistí hlavní trendy závislosti odezvy na vstupujících faktorech, které byly z Plackett-Burmanova testu vyhodnoceny jako významné, a to včetně jejich kombinace [3]

3.1.1 Plackett-Burman

Návrh experimentu podle Plackett-Burmana se často označuje jako negeometrický návrh, protože nemůže být reprezentovaný krychlemi. Tento plán využívá předem určené matice. Tyto

matice se vyznačují tím, že minimální počet měření, které je potřebné v experimentu uskutečnit, je rovný počtu faktorů zvýšených o jeden. Tento plán je možno využívat pro $4N$ měření, kde N je celé číslo a je ≥ 2 . Potom při 8-mi měřeních můžeme zkoumat až 7 faktorů, při 12-ti měřeních 11 faktorů atd. [3]

Replikace = Opakování pokusu při stejných hodnotách parametrů. Díky replikaci jsou potlačeny šумы v měření a zvýšena přesnost výsledků. Maximální počet opakování je 10.

Randomizace = znáhodnění. Princip randomizace je takový, že jednotlivé replikace kombinací hladin faktorů by se měly měřit při experimentování v náhodném pořadí, randomizace tak eliminuje systematickou variabilitu nekontrolovatelných faktorů, které by nebylo možné přiřadit do náhodné složky modelu (v praxi je randomizace problematická z hlediska časové náročnosti, před každým pokusem se musí přestavit nastavení stroje).

Center point = středový bod. Je to důležitý bod pro zachycení zakřivení průběhu odezvy v závislosti na některém faktoru. [3]

3.1.2 Design of Experiment

Pojmem statisticky navržený experiment označujeme strategii řešení úloh pomocí vhodně navržených a vyhodnocených experimentů. Takový experiment je nejčastěji označován zkratkou DoE - Design of Experiment. DoE je účinným nástrojem optimalizace procesů a významnou měrou jej lze využít i při návrhu nových výrobků. [3]

Na proces nebo produkt, který chceme optimalizovat, působí řada vlivů. Některé z nich dokážeme řídit, to jsou tzv. faktory. Měřitelným výstupům říkáme odezvy. Úkolem DoE je najít takovou kombinaci faktorů, aby hodnota odezvy (nebo několika odezev) byla co nejpříznivější dle požadavků. K tomu účelu experimentátor zkoumá odezvu v několika bodech experimentálního prostoru. Uvědomuje si přitom, že pracuje s omezenými prostředky a prozkoumání každého bodu stojí čas a peníze. Proto je důležité umístit „body“ v experimentálním prostoru co nejúčelněji. [3]

Plánovaný experiment je zkouška nebo posloupnost zkoušek, ve kterých cílevědomě provádíme změnu vstupních faktorů procesu, abychom mohli pozorovat a identifikovat odpovídající změny výstupní proměnné – tzv. odezvy (response). Tabulka č. 3 znázorňuje některé faktory a odezvy. [3]

Faktory	Odezvy
parametry stroje	jakostní charakteristiky
technologie, metody výroby	sledované veličiny zlepšující proces
vstupní materiál	např. pevnost spoje, čas cyklu,
operátoři nebo směny	životnost výrobku atd.
vše, co transformuje výsledný produkt	

Tab. č. 3 Ukázka možných faktorů a odezev [4]

DoE se uplatní všude tam, kde se navrhují nebo provozují procesy v prostředí proměnlivosti - počínaje proměnlivostí vstupních surovin, přes proměnlivé vlivy prostředí až po subjektivní vlivy pracovníka nebo zákazníka. DoE lze s výhodou použít i tam, kde procesy nedokážeme popsat jednoznačnými, deterministickými vztahy. [4]

Využití systematiky Design of Experiment:

- zlepší výtěžnost procesu (z minimálního počtu experimentů získat maximální množství informací)
- zmenší variabilitu procesu
- redukuje dobu vývoje nového produktu
- určí klíčové parametry ovlivňující proces
- snižuje celkové náklady zejména náklady na provedené zkoušky [4]

3.1.2.1 Postup pro Design of Experiment

Doporučený postup při aplikaci plánovaného experimentu

1. Definice nebo popis problému.
2. Stanovení sledované proměnné – response.
3. Výběr faktorů, výstupů a úrovní.
4. Výběr plánu experimentu.
5. Provedení experimentu.
6. Analýza dat a vyhodnocení.
7. Závěry a doporučení. [5]

V prvním experimentu se zjistí podle zkušenosti ne více než 25 % dosažitelných informací. Ze začátku se lze jen domnívat, že známe dominantní faktory. Postupně se zjišťuje, které faktory nebo kombinace faktorů se musí opravdu řídit, abychom ovládali proces. Zjišťuje se, v jakém

rozmezí musíme jednotlivé faktory udržovat, jak citlivé jsou jednotlivé faktory a kolik měření se musí provádět, abychom opravdu řídili proces. [5]

Počet pokusů pro daný experiment je dán vztahem 2^k , kde k představuje počet vstupujících faktorů. Dále je dán počtem „center pointů“ (střední hodnota mezi minimem a maximem) a počtem replikací. Maximální počet faktorů může být 7 ($2^7 = 128$ pokusů), ale vzhledem k následnému velkému počtu pokusů je optimální počet 3 až 4. Právě proto se provádí redukce vstupujících parametrů Plackett-Burmanovým testem. [5]

4 Hodnocení kvality svarového spoje

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.1 Tlaková destrukční zkouška - Berstdruck

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.1.1 Zkušební kapalina používaná při tlakové destrukční zkoušce

Následující pasáž o rozsahu 2 odstavců obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.1.2 Provedení zařízení

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.1.3 Průběh zkoušky

Následující pasáž o rozsahu 2 odstavců obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.1.4 Výkonové požadavky

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.1.5 Strojní část

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.1.6 Řízení a SW

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.1.7 Přípravek na tlakovou destrukční zkoušku

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.2 Univerzální stanice na měření těsnosti – MKS

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.2.1 Provedení zařízení

Následující pasáž o rozsahu 1 odstavce obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.2.2 Průběh zkoušky

Následující pasáž o rozsahu 2 stránek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

4.3 Ověřování způsobilosti strojů a procesů

Ke sledování procesů a případně pro měření procesů musí být aplikovány vhodné metody. Tyto metody musí dokládat, že procesy jsou schopny dosahovat plánovaných výsledků. Pokud nebude plánovaných výsledků dosaženo, je třeba za účelem zajištění splnění požadavků výrobku provést změny a učinit nápravná opatření, bude-li to zapotřebí např. opakování DoE. [5]

4.3.1 Analýza způsobilosti

U nového nebo změněného výrobního procesu (včetně montáže) se provádí tzv. analýza způsobilosti procesu. Tato analýza se provádí proto, aby se ověřila způsobilost a výkonnost procesu a získaly údaje k řízení procesu. Rozlišují se analýzy krátkodobé a dlouhodobé (short term, long term). U krátkodobé analýzy (např. analýza způsobilosti stroje) se evidují a hodnotí parametry výrobků, které byly vyrobeny v kontinuálním výrobním běhu. U dlouhodobých analýz (např. analýza způsobilosti procesu) pochází proměřované díly z delšího časového období reprezentujícího sériovou výrobu. [5]

4.3.1.1 Analýza způsobilosti stroje (C_m , C_{mk})

Je krátkodobá analýza, jejímž cílem je odkrývat vlivy působící na výrobní proces, způsobené výhradně strojem. Při této analýze se soustředíme na vlastnosti stroje, tzn. zkouší se vyloučit možné ovlivňující/poruchové veličiny resp. minimalizovat jejich ovlivňování (např. konstantní udržování). [5]

Příklady neřiditelných veličin:

- člověk (obsluha, střídání směn, ...)
- materiál (polotovary)
- okolní prostředí (teplota, otřesy, stanoviště stroje, ...)
- kavita

Příklady říditelných veličin:

- otáčky vřetena
- rychlost posuvu
- teplota
- proud apod.

Očekává se, že na výrobek a jeho vlastnosti působí už jen neodstranitelné (náhodné) vlivy stroje, je-li to možné, jsou tyto vlivy udržovány konstantní. Není-li toto v jednotlivých případech možné, budou dokumentovány změny příslušných ovlivňujících veličin. Tato informace nabízí šanci pro optimalizační opatření, pokud nebude dosaženo specifikace pro způsobilost. [5]

Postup při vyhodnocení:

1. Výroba reprezentativního počtu (minimální 50, pokud možno 100) vzorků v nepřerušovaném výrobním běhu = po sobě jdoucí. Odchytky je třeba dokumentovat.
2. Měření parametru nebo parametrů dle požadavků na zkušební vzorek a dokumentace výsledků v souladu s výrobním pořadím.
3. Statistické vyhodnocení. [5]

Rozeznáváme dva indexy způsobilosti, C_m a C_{mk} . C_m zohlední pouze šířku rozptylu, ne však polohu souboru dat vzhledem k tolerančnímu poli. C_{mk} zohledňuje oba tyto parametry, tj. šířku rozptylu i polohu vůči tolerančnímu poli. Způsobilost stroje je dána, pokud je index způsobilosti C_m nebo $C_{mk} \geq 1,67$. [5]

V praxi je tato analýza z důvodů nákladných měření často spojena s vysokými výdaji. V takových případech je přípustný i následující dvoustupňový postup.

Postup při vyhodnocení s redukovanými náklady:

1. Z 50 za sebou vyrobených dílů se nejprve proměří jen každý 2. díl. Tak se získá 25 skutečných hodnot (pro každý požadavek). Stroj je způsobilý, pokud pro index způsobilosti vypočítaný z 25 hodnot platí $C_{mk} \geq 2,00$.
2. Pokud je $1,67 < C_{mk} < 2,00$, bude provedeno měření i u zbývajících 25 dílů, které doplní výsledky měření a zohlední se při statickém vyhodnocení. Stroj je způsobilý, pokud pro index způsobilosti vypočítaný z 50 hodnot platí $C_{mk} \geq 1,67$.

„Kvalita“ měření se tím nemění. Menší jistota měření v případě $n = 25$ ve srovnání s $n = 50$ ohledně rozptylu se kompenzuje prostřednictvím příslušného zvýšení prahové hodnoty C_{mk} z 1,67 na 2,00. [5]

4.3.1.2 Analýza způsobilosti procesu (C_p , C_{pk})

Je analýzou prováděnou po delší dobu. Vedle vlivů poruch, které jsou způsobeny strojem, by měly být dodatečně podchyceny pokud možno všechny vlivy, které na výrobní proces působí zvenčí během delší provozní doby např. výměna obsluhy stroje, šarže materiálu apod. [5]

Postup:

1. Odběr reprezentativního počtu nepřebíraných dílů; minimálně 25 namátkových odběrů po 5 dílech (125 dílů je nejmenší množství pro vyhodnocení).
2. Měření parametrů dílu a dokumentace výsledků podle výrobního pořadí.
3. Statistické vyhodnocení: posouzení stability v čase, statistická distribuce těchto hodnot a výpočet indexů způsobilosti procesu C_p nebo $C_{pk} \geq 1,33$. [5]

4.4 Mikrotomová analýza

Následující pasáž o rozsahu 2 stránek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

5 Zkušební svařovací tělísko

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

6 Testované materiály

Cílem této diplomové práce je optimalizace svařovacích parametrů pro bezkontaktní svařovací technologie (HES, HGS). Optimalizace byla provedena s materiály POM Kepital FA-20 black a PPA Grivory HTV-4X1 black, které patří do skupiny termoplastů.

Termoplasty jsou polymery, které lze ze stavu tuhého tepelným účinkem uvést do stavu plastického až tekutého a po ochlazení se opět stanou pevnými. Tyto změny jsou vratné.

Běžně se termoplasty v podobě samostatného polymeru nevyskytují. Celý plast tvoří polymerní matrice s přísadami podle požadovaných výsledných vlastností mechanických, elektrických, tepelných, optických, strukturních, chemických, antidegradačních a jiných. V technické praxi jsou nejčastěji používány vláknité (skleněné, uhlíkové, kovové) výztuže zlepšující mechanické vlastnosti a rozměrovou stálost základního materiálu při namáhání ve směru orientace vláken. Mezi vláknitá plniva pak patří také různá nano-vlákná (nejznámější uhlíkové nano-trubičky). Často se také používají částicová plniva, jakými mohou být skleněné kuličky, saze, minerální prášky, jí, křída, fullereny (uhlíkové „nano-koule“).

Mimo mechanických a rozměrových vlastností materiálu ovlivňují uhlíková, kovová a některá speciální minerální plniva i vlastnosti týkající se elektrické a tepelné vodivosti. Těchto kombinovaných vlastností se hojně užívá u materiálů určených např. pro výrobu topných těles nebo těla a dalších součástí průtočné filtrační nádoby, které jsou mechanicky namáhané vnitřním přetlakem a zároveň vlivem průtoku média dochází k nahromadění elektrostatického náboje. Nejběžnější a nejjednodušší řešení z materiálového hlediska je použít termoplast plněný uhlíkovými vlákny (zvyšují pevnost výrobku, vytváří od určité koncentrace v polymerní matrici vodivé dráhy umožňující bezpečné odvedení nahromaděného elektrostatického náboje, jejich velká výhoda je také proti kovovým vláknům nízká hmotnost, vyšší ohebnost a menší oděr nástrojů při jejich zpracování).

6.1 POM Kepital FA-20 black

Polyoxymethylen (též nazývaný polyacetál, polyformaldehyd, polytrioxan) byl uveden na trh v USA roku 1958. Formaldehyd sám polymeruje velmi snadno a velice reaktivní monomerní formaldehyd se obtížně připravuje ve vysoce čisté formě, neboť polymeraci vyvolávají již stopy nečistot. Všechny polymery vzniklé samovolnou neřízenou polymerací jsou však křehké a při tavení

se rozkládají na plynný formaldehyd. Materiál Kepital FA-20 black obsahuje méně jak 10 % skelných vláken a méně jak 10 % skelných částic tzv. sazí.

Vlastnosti:

- lineární
- nejlehčí vyráběný polymer
- vysoce krystalický
- do 70 °C se nerozpouští v žádném rozpouštědle
- teplota tání je 164 – 172 °C
- dobrá odolnost proti vytváření skvrn
- velmi nízká nasákavost
- houževnatý s vysokým modulem a pevností v tahu i ohybu
- dobrá rozměrová stabilita [7]

6.1.1 Zpracování a použití

Polyoxymethylen se dodává jako granulát v přírodním provedení nebo jako obarvený. Používají se také typy vyztužené skelnými vlákny, a to 10 - 40 %. Mnohá zlepšení vlastností lze docílit přidávkem dalších aditiv, z nichž nejpoužívanější jsou silikonový olej, různé vosky, sirník molybdeničitý, PTFE či křída. Polotovary jsou známy ve formě bloků, tyčí, desek a trubek. [8]

Převážně se zpracovává vstřikováním, vytlačováním (u druhů s nízkým indexem toku), vyfukováním při 200 - 210 °C. Dá se i svařovat a lze jej také pokovovat, lakovat a potiskovat. Jako konstrukční plast se užívá na výrobu ozubených kol, různých ložisek, tlakových nádob, čerpadel, součástí automobilů, trubek atd. [8].

Materiál POM Kepital FA-20 black je vyroben a dodán firmou KEP Americas. Materiálový list se nachází v příloze P IV.

6.2 PPA Grivory HTV-4X1 black 9205

Skupinu polyamidů lze podle jejich stavby rozdělit do tří skupin. Polyamidy alifatické (lineární), jako je PA6 (silon), PA66 (nylon), polyamidy částečně aromatické, mezi které patří právě polyphthalamidy a polyamidy aromatické, mezi které patří např. Kewlar nebo Nomex. Vznikají syntézou dikarboxylové kyseliny a diaminu, přičemž dikarboxylová kyselina je alespoň z 55 % kyselina isoftalová nebo tereftalová. Odtud typové rozlišení podle složení např. PA6T/66 = kyselina

tereftalová (aromatická dikarboxylová kyselina) + kyselina adipová (alifatická/lineární dikarboxylová kyselina) + hexamethyldiamin = zjednodušeně také polyamid 66 + kyselina tereftalová. Aromatický cyklus isomeru kyseliny ftalové v makromolekule PPA má na svědomí zvýšení pevnosti, teploty tání a chemické odolnosti a snížení nasákavosti výsledného materiálu. Velmi často se vyskytují plněné skleněnými vlákny, která zlepšují houževnatost, pevnost při vysokých teplotách a výrazně snižují cenu materiálu. Svými vlastnostmi se řadí mezi hi-tech materiály (špička pyramidy plastů). Materiál Grivory HTV-4X1 black 9205 hmotnostně obsahuje 40 % skelných vláken.

Vlastnosti:

- semikrystalický
- teplota dlouhodobého použití > 100 °C podle typu
- vysoká pevnost
- rozměrová stálost
- nízká nasákavost
- chemická odolnost
- teplota tání >300 °C [9]

6.2.1 Zpracování a použití

Zpracovává se zejména vstřikováním, díky rychlosti a praktičnosti tohoto procesu. Avšak vysoká teplota tání znamená nutnost použití výrazně vyšších zpracovatelských teplot než u běžných technických termoplastů. Teplota taveniny se podle typu pohybuje v rozmezí od 300 °C do 350 °C, teplota nástroje je mezi 100 - 160 °C. [8]

Jeho vysoké teplotní odolnosti a výborných mechanických vlastností se využívá k náhradě tepelně namáhaných kovových součástí v automobilovém průmyslu, jakými jsou např. různé krytky elektronických součástek. [8]

Materiál PPA Grivory HTV-4X1 black 9205 je vyroben a dodán firmou EMS Grivory. Materiálový list se nachází v příloze P V.

7 Výsledky bezkontaktního svařování horkým elementem

Následující pasáž o rozsahu 22 stránek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

ZÁVĚR

Následující pasáž o rozsahu 3 stránek obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. č. 1 Jednotlivé fáze a postup u bezkontaktního svařování horkým elementem [1]12

SEZNAM TABULEK

Tab. č. 3 Ukázka možných faktorů a odezev [4].....	32
---	----

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Stanislav Brůha: *Optimalizace svařovacích parametrů pro technologii svařování horkým elementem u vybraných termoplastů*: Bakalářská práce PF JČU: České Budějovice, 2010
- [2] Grewell D., Benatar A., Park J. B.: *Plastics and Composites Welding Handbook*, HANSER, 2003.
- [3] DOE: *Několik otázek a odpovědí o statisticky navrženém experimentu* [online]. [cit. 2008-12-15]. Available from www: <http://www.interquality.cz/INTERN%C3%8DKURZY/DOEInterquality/tabid/79/Default.aspx>
- [4] Prezentace: *Plánovaný experiment*, [online]. [cit. 2008-12-17]. Available from www: <http://www2.humusoft.cz/www/akce/witkonf06/prispevky/ppt/maros.ppt>
- [5] Centrála řízení jakosti Robert Bosch: *Způsobilost strojů a procesů*: Firemní materiály, sešit č. 9: Robert Bosch, spol. s r. o., 2004
- [6] MUK, K. *Zkušební zařízení pro destrukční zkoušky plastových dílů vnitřním přetlakem : diplomová práce*. FS ČVUT : Praha, 2008. 84 p.
- [7] MLEZIVA, J.: *Polymery – výroba, struktura, vlastnosti a použití*: Sobotáles: 1st ed. Praha, 1993.
- [8] Sova, M., Krebs, J.: *Termoplasty v praxi: Svazek 1*: ISBN 80-86229-15-7: Praha, 2001
- [9] Harper, Charles A: *Handbook of plastics, elastomers, and composites*: ISBN 978-0-07-138476-6, (2002-06-10).

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Seznam použitých symbolů a zkratk

Příloha P II: Výkres zkušebního svařovacího tělíska

Příloha P III: 3D model zkušebního svařovacího tělíska

Příloha P IV: Materiálový list POM kepital FA-20 black

Příloha P V: Materiálový list PPA Grivory HTV-4x1 black 9205

Příloha P VI: Naplánovaný a vyhodnocený DoE plán pro materiál POM Kepital FA-20 black (HES)

Příloha P VII: Vyhodnocení způsobilosti svařovacího stroje pro materiál POM Kepital FA-20 black (HES)

Příloha P VIII: Vyhodnocení způsobilosti svařovacího stroje pro materiál PPA Grivory HTV-4X1 black 9205 (HES)

Příloha P IX: Naplánovaný a vyhodnocený DoE plán pro materiál POM Kepital FA-20 black (HGS)

Příloha P X: Vyhodnocení způsobilosti svařovacího stroje pro materiál POM Kepital FA-20 black (HGS)

Příloha P XI: Naplánovaný a vyhodnocený DoE plán pro materiál PPA Grivory HTV-4X1 black 9205 (HGS)

Příloha P XII: Vyhodnocení způsobilosti svařovacího stroje pro materiál PPA Grivory HTV-4X1 black 9205 (HGS)

PŘÍLOHA P I: SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Název veličiny / význam zkratky	Znak	Jednotka
Dvouúrovňový faktoriálový test (<i>Two level factorial test</i>)	2LFT	[-]
Druh povlaku s vysokou odolností proti otěru za tepla	AlTiCrN	[-]
Systém sloužící ke snížení hodnoty oxidů dusíku ve výfukových plynech	DNOX	[-]
Hodnota tlaku při destrukci (<i>Burst pressure</i>)	Berstdruck	[bar]
Index způsobilosti stroje	C_m, C_{mk}	[-]
Index způsobilosti procesu	C_p, C_{pk}	[-]
Chromnitridový povrch	CrN	[-]
Úspěšnost splnění požadavku	d	[%]
Celkové splnění optimalizace	D	[%]
Plánování experimentů (<i>Design of Experiment</i>)	DoE	[-]
Dolní toleranční mez	DTM, LSL	[-]
Horký element (<i>Hot plate</i>)	HE	[-]
Svařování horkým elementem (<i>Heizelementschweissen</i>) (<i>Hot Plate welding</i>)	HES, HPW	[-]
Svařování za pomoci horkého plynu	HGS, HGW	[-]
Horní toleranční mez	HTM, USL	[-]
Polyamid	PA66	[-]
Plackett Burmanův test	PB	[-]
Polyoxymethylen	POM	[-]
Polyphthalamid	PPA	[-]
Polytetrafluoretylen, (např. teflon)	PTFE	[-]
Technologie nanášení vysoce odolných povrchů proti otěru	PVD	[-]
Satistický software	QS STAT ME 5	[-]
Robert Bosch spol. s r.o. v Českých Budějovicích	RBCB	[-]
Optimalizace procesu	Response Optimizer	[-]
Čas	t	[s]
Teplota	T	[°C]

Oddělení technických funkcí	TEF3	[-]
Průměrná hodnota, aritmetická průměrná hodnota	x	[-]
Maximální hodnota	x_{\max}	[-]
Minimální hodnota	x_{\min}	[-]
Aktuální hodnota výstupní odezvy	y	[-]
Standardní centimetr kubický	Q	[SCCM]

PŘÍLOHA P II: VÝKRES ZKUŠEBNÍHO SVAŘOVACÍHO TĚLÍSKA

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

PŘÍLOHA P III: 3D MODEL ZKUŠEBNÍHO SVAŘOVACÍHO TĚLÍSKA

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

PŘÍLOHA P IV: MATERIÁLOVÝ LIST POM KEPITAL FA-20 BLACK

Kepital® FA-20
Acetal (POM) Copolymer
KEP Americas



Prospector

Product Description

Carbon fiber reinforced conductive grade with 10⁴ ohms of surface resistivity. FA-20 provides high stiffness and strength.

General

Material Status	• Commercial: Active		
Availability	• Latin America	• North America	• South America
Filler / Reinforcement	• Carbon Fiber Reinforcement		
Features	• Copolymer	• Electrically Conductive	• High Stiffness

Physical	Nominal Value Unit	Test Method
Density	1.43 g/cm ³	ISO 1183
Melt Mass-Flow Rate (MFR)	3.0 g/10 min	ISO 1133
Mechanical	Nominal Value Unit	Test Method
Tensile Stress (Break, 23°C)	100 MPa	ISO 527-2
Nominal Tensile Strain at Break (23°C)	2.0 %	ISO 527-2
Flexural Modulus (23°C)	7150 MPa	ISO 178
Flexural Strength (23°C)	135 MPa	ISO 178
Impact	Nominal Value Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength	4.0 kJ/m ²	ISO 179/1eA
Thermal	Nominal Value Unit	Test Method
Heat Deflection Temperature 1.8 MPa, Unannealed	160 °C	ISO 75-2/A
Electrical	Nominal Value Unit	Test Method
Surface Resistivity	1.0E+3 ohms	IEC 60093
Flammability	Nominal Value Unit	Test Method
Flame Rating - UL	HB	UL 94

Notes

¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.

PŘÍLOHA P V: MATERIÁLOVÝ LIST PPA GRIVORY HTV-4X1 BLACK 9205

Grivory® HTV-4X1 Black 9205
 Polyphthalamide
 EMS-GRIVORY



Product Description

Grivory HTV-4X1 black 9205 is a 40% glassfibre reinforced engineering thermoplastic material based on a semi-crystalline, partially aromatic copolyamide.
 Grivory HTV-4X1 is a specially heat stabilized injection moulding material. It is particularly suitable and approved for parts in house-hold appliances in contact with food and drinking water.
 The main distinguishing feature of Grivory HT-PPA, when compared to other polyamides, is its good performance values at high temperatures providing parts which are stiffer, stronger and have better heat distortion stability and chemical resistance.

General

Material Status	• Commercial: Active		
Availability	• Europe	• North America	
Filler / Reinforcement	• Glass Fiber Reinforcement, 40% Filler by Weight		
Additive	• Heat Stabilizer		
Features	• Food Contact Acceptable • Good Chemical Resistance • Good Stiffness	• Good Strength • Heat Stabilized • High Heat Resistance	• Semi Crystalline
Uses	• Appliances • Automotive Applications	• Electrical/Electronic Applications • Engineering Parts	• Safety Equipment
Agency Ratings	• EU 2002/96/EC		
RoHS Compliance	• RoHS Compliant		
Appearance	• Black		
Forms	• Pellets		
Processing Method	• Injection Molding		
Multi-Point Data	• Isothermal Stress vs. Strain (ISO 11403-1) • Secant Modulus vs. Strain (ISO 11403-1)	• Shear Modulus vs. Temperature (ISO 11403-2) • Specific Volume vs Temperature (ISO 11403-2)	• Viscosity vs. Shear Rate (ISO 11403-2)

Physical	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Density				
--	1.53	--	g/cm ³	ISO 1183
--	1530	1530	kg/m ³	ISO 1183 ²
Melt volume-flow rate (340°C/21.6 kg)	100	--	cm ³ /10min	ISO 1133 ²
Molding Shrinkage				ISO 294-4 ISO 2577 ²
Across Flow	0.55	--	%	
Flow	0.10	--	%	
Water Absorption				
Saturation, 23°C	3.5	--	%	ISO 62
Saturation	3.5	--	%	ISO 62 ²
Equilibrium, 23°C, 50% RH	1.5	--	%	ISO 62
Equilibrium	1.5	--	%	ISO 62 ²
Mechanical	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Tensile Modulus	14500	14000	MPa	ISO 527-2/1 ISO 527-2 ²
Tensile Stress (Break)	220	210	MPa	ISO 527-2/5 ISO 527-2 ²
Tensile Strain (Break)	2.0	2.0	%	ISO 527-2/5 ISO 527-2 ²
Tensile Creep Modulus				ISO 899-1 ²
1 hr	--	13000	MPa	
1000 hr	--	11500	MPa	
Impact	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Charpy Notched Impact Strength				
-30°C	8.0	8.0	kJ/m ²	ISO 179/1eA
23°C	8.0	8.0	kJ/m ²	ISO 179/1eA
-30°C	8.00	8.00	kJ/m ²	ISO 179/1eA ²

1 of 3

Copyright © 2010 - IDES - The Plastics Web ® | 800-788-4668 or 307-742-9227 | www.ides.com

Document Created: Friday, September 03, 2010

The information presented on this datasheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

Grivory® HTV-4X1 Black 9205
Polyphthalamide
EMS-GRIVORY

Friday, September 03, 2010

Impact	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
23°C	8.00	8.00	kJ/m ²	ISO 179/1eA ²
Charpy Unnotched Impact Strength				
-30°C	70	70	kJ/m ²	ISO 179/1eU
23°C	70	70	kJ/m ²	ISO 179/1eU
-30°C	70.0	70.0	kJ/m ²	ISO 179/1eU ²
23°C	70.0	70.0	kJ/m ²	ISO 179/1eU ²
Puncture energy (23°C)	2.50	2.50	J	ISO 6603-2 ²
Puncture - maximum force (23°C)	1000	1100	N	ISO 6603-2 ²
Hardness	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Ball Indentation Hardness	310	300	MPa	ISO 2039-1
Thermal	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Heat Deflection Temperature				
1.8 MPa, Unannealed	280	--	°C	ISO 75-2/A
1.8 MPa	280	--	°C	ISO 75-2 ²
8.0 MPa, Unannealed	200	--	°C	ISO 75-2/C
8.0 MPa	200	--	°C	ISO 75-2 ²
Melting Temperature (DSC)				
--	325	--	°C	ISO 3146
-- ₃	325	--	°C	ISO 11357-3 ²
CLTE				
Flow: 23 to 55°C	0.000015	--	cm/cm/°C	ISO 11359-2
Flow	0.000015	--	cm/cm/°C	ISO 11359-2 ²
Transverse: 23 to 55°C	0.000050	--	cm/cm/°C	ISO 11359-2
Transverse	0.000050	--	cm/cm/°C	ISO 11359-2 ²
Electrical	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Surface Resistivity	--	1.0E+12	ohms	IEC 60093
Volume Resistivity				
--	1.0E+13	1.0E+13	ohm·cm	IEC 60093
--	1.0E+11	1.0E+11	ohm·m	IEC 60093 ²
Comparative Tracking Index				
--	--	600	V	IEC 60112
--	--	600		IEC 60112 ²
Electric Strength	35	35	kV/mm	IEC 60243-1
Flammability	Dry	Conditioned	Unit	Test Method
Flame Rating - UL (0.800 mm)	HB	--		UL 94
Burning Behav. at 1.6mm nom. thickn.				ISO 1210 ²
1.60 mm, UL	HB	--		
Burning Behav. at thickness h (0.800 mm, UL)	HB	--		ISO 1210 ²
Additional Information				
Dry	The value listed as Melting Point, ISO 3146, was tested in accordance with ISO 11357. Maximum Usage Temperature, ISO 2578, Long Term: 150°C Maximum Usage Temperature, ISO 2578, Short Term: 250°C			

Injection	Nominal Value Unit
Drying Temperature	< 80.0 °C
Drying Time	4.0 to 12 hr
Rear Temperature	330 to 340 °C
Middle Temperature	330 to 345 °C
Front Temperature	330 to 345 °C
Nozzle Temperature	330 to 340 °C
Processing (Melt) Temp	340 °C
Mold Temperature	140 to 160 °C
Injection Rate	Moderate-Fast
Holding Pressure	50.0 to 75.0 MPa

2 of 3

Copyright © 2010 - IDES - The Plastics Web ® | 800-788-4668 or 307-742-9227 | www.ides.com.

Document Created: Friday, September 03, 2010

The information presented on this datasheet was acquired by IDES from the producer of the material. IDES makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, IDES assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

Injection	Nominal Value Unit
Back Pressure	0.500 to 1.50 MPa
Screw Speed	50 to 100 rpm
Clamp Tonnage	7.5 kN/cm ²
Screw L/D Ratio	18.0:1.0 to 22.0:1.0
Screw Compression Ratio	2.0:1.0 to 2.5:1.0
Vent Depth	0.020 mm

Injection Notes

Dew Point of the Dryer: -40°C
The drying conditions listed above are for a desiccant dryer.
Vacuum Oven Drying Temperature: max. 100°C
Vacuum Oven Drying Time: 4 to 12 hr
Flange Temperature: 80 to 100°C

Notes

- ¹ Typical properties: these are not to be construed as specifications.
² Tested in accordance with ISO 10350. 23°C/50%r.h. unless otherwise noted.
³ 10 °C/min

PŘÍLOHA P VI: NAPLÁNOVANÝ A VYHODNOCENÝ DOE PLÁN PRO MATERIÁL POM KEPITAL FA-20 BLACK (HES)

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

PŘÍLOHA P VII: VYHODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI SVAŘOVACÍHO STROJE PRO MATERIÁL POM KEPITAL FA-20 BLACK (HES)

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

PŘÍLOHA P VIII: VYHODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI SVAŘOVACÍHO STROJE PRO MATERIÁL PPA GRIVORY HTV-4X1 BLACK 9205 (HES)

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

PŘÍLOHA P IX: NAPLÁNOVANÝ A VYHODNOCENÝ DOE PLÁN PRO MATERIÁL POM KEPITAL FA-20 BLACK (HGS)

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

PŘÍLOHA P X: VYHODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI SVAŘOVACÍHO STROJE PRO MATERIÁL POM KEPITAL FA-20 BLACK (HGS)

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

PŘÍLOHA P XI: NAPLÁNOVANÝ A VYHODNOCENÝ DOE PLÁN PRO MATERIÁL PPA GRIVORY HTV-4X1 BLACK 9205 (HGS)

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.

PŘÍLOHA P XII: VYHODNOCENÍ ZPŮSOBILOSTI SVAŘOVACÍHO STROJE PRO MATERIÁL PPA GRIVORY HTV-4X1 BLACK 9205 (HGS)

Následující pasáž o rozsahu 1 stránky obsahuje utajované skutečnosti a je obsažena pouze v archivovaném originále diplomové práce uloženém na Pedagogické fakultě JU.