

Studium pevnosti v tahu ultrazvukem svařovaných překlátovaných spojů.

Jan Volejník

Diplomová práce
2012

 Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická
Ústav výrobního inženýrství
akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Jan VOLEJNÍK**
Osobní číslo: **T100025**
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Studium pevnosti v tahu ultrazvukem svařovaných
přeplátovaných spojů**

Zásady pro vypracování:

- 1. Vypracujte literární rešerši na dané téma**
- 2. Experimentálně vyšetřete únosnost v tahu vzorků zvolené geometrie**
- 3. Sestavte FEM modelovou studii namáhání spoje**
- 4. Získané výsledky vyhodnoťte**

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

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

Seznam odborné literatury:

Dle doporučení vedoucího práce.

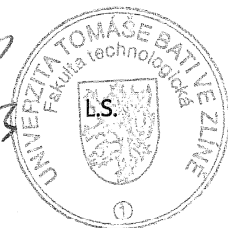
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Oldřich Šuba, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **13. února 2012**

Termín odevzdání diplomové práce: **18. května 2012**

Ve Zlíně dne 2. února 2012


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že:

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/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 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/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);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ 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, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ 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, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá využitím Ultrazvukového svařování pro polymerní materiály a řeší problémy s tímto tématem úzce spjaté: výběr vhodného ultrazvukového zařízení, volba vhodného polymerního materiálu s ohledem na obsah aditiv, tj. příměsí, majících vliv na kvalitu procesu ultrazvukového svařování. Problematika bude řešena na zkušebních trhacích tyčinkách, které byly vyrobeny vstřikováním, svařeny pomocí ultrazvuku ve firmě Herrmann Ultraschalltechnik GmbH&Co.KG a následně experimentálně trhány. Práce bude doplněna příklady z produkce dílů svařovaných ze segmentu automobilového průmyslu ve firmě Plastica a.s., Kroměříž .

Klíčová slova: ultrazvuk, polymerní materiál, svařování, trhání

ABSTRACT

This Master thesis is about use ultrasonic welding mechanism for polymeric material and solving problems with this thesis closely linked: as a choosing suitable ultrasonic welding mechanism, polymeric materials with additives that they have effect on the process of welding. This all we be able to see on tested tear stick. They were made by injection molding and after that they were welded at Herrmann Ultraschalltechnik GmbH&Co.KG. All tested tear stick were broken at university laboratory UTB Zlin. At the end we get close look on produkt from automotive industry.

Keywords: Ultrasonic, polymeric materials, welding, tear sticks

Rád bych poděkoval vedoucímu práce panu doc. Ing Oldřichovi Šubovi, CSc. a paní doc. Ing Libuši Sýkorové, CSc. za je jich ochotu a trpělivost při zpracovávání této diplomové práce. Rád bych také poděkoval Firmě Hermann Ultraschalltechnik za možnost použití jejich zařízení a odbornou spolupráci s p. Ing Jiřím Musilem.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....
Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD	10
1 VÝZNAMNÉ POJMY V TECHNOLOGII	12
1.1 <i>Technologie zpracování materiálů</i>	12
2 PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE	14
2.1 <i>Klasifikace nekonvenčních technologií dle hlavního zdroje energie obrábění</i>	14
2.2 <i>Mechanické procesy</i>	15
3 ULTRAZVUK	16
3.1 <i>Historie ultrazvukového svařování</i>	17
3.2 <i>Definice frekvence a amplitudy</i>	18
3.3 <i>Polymery určené pro ultrazvukové svařování</i>	19
3.4 <i>Komponenty pro ultrazvukové svařování</i>	20
3.5 <i>Aplikace ultrazvuku (svařování)</i>	22
4 POLYMERNÍ MATERIÁLY	23
4.1 <i>Základní rozdělení polymerů</i>	23
4.2 <i>Fyzikálně-mechanické charakteristiky použitých polymerů</i>	24
4.2.1 <i>Polymetylmetakrylát (PMMA)</i>	24
4.2.2 <i>Terpolymer akrylonitril/butadien/ styrén - ABS</i>	25
4.2.3 <i>Polyamid 66 obohacený o 30%skelných vláken</i>	26
5 SHRUTÍ POZNATKŮ A STANOVENÍ CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE	28
6 ULTRAZVUKOVÉ ZAŘÍZENÍ	30
6.1 <i>Ultrazvuková svářečka HiQ Vario – digital</i>	30
6.1.1 <i>Jednouúčelové ultrazvukové svářečky</i>	34
7 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	35
7.1.1 <i>Tvar zkušebních vzorků</i>	35
7.1.2 <i>Dělení zkušebních vzorků pomocí laseru</i>	37
8 SVAŘOVÁNÍ A TRHÁNÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ	38
8.1 <i>Parametry svařování jednotlivých zkušebních vzorků</i>	38
8.2 <i>Zkouška tahem</i>	40
8.2.1 <i>Výsledky jednotlivých měření trhací zkoušky</i>	43
8.2.2 <i>Statistické vzorce pro výpočet jednotlivých výsledků</i>	46
8.3 <i>Výsledky tahový zkoušek</i>	47

8.4	<i>Vliv parametrů svařování na výsledky trhací zkoušky</i>	51
9	ANALÝZA TRHACÍ ZKOUŠKY POMOCÍ FEM	56
10	VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH MĚŘENÍ.....	59
	ZÁVĚR.....	60
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	61
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	62
	SEZNAM OBRÁZKŮ	63
	SEZNAM TABULEK.....	65
	SEZNAM PŘÍLOH	66

ÚVOD

Tato diplomová práce se zabývá analýzou ultrazvukového svařování, které je prováděno na zkušebních trhacích tyčinkách. Tyto tyčinky svým charakterem zvolených materiálů odpovídají výrobkům firmy Plastika, a.s., která má ve své padesátileté historii v oblasti průmyslového zpracování plastů velké zkušenosti v tom, jak uspět u náročných renomovaných zákazníků z oblasti automobilového nebo elektrotechnického průmyslu. Cíle mé práce je seznámit čtenáře s problematikou ultrazvukovým svařováním polymerních materiálů, které funguje v Plastice již od roku 2005.

V teoretické části diplomové práce popisují problematiku svařování ultrazvukem jako takovou. Jsou vysvětleny základní pojmy a historie této technologie. Hlavní částí je vysvětlení fungování ultrazvuku, které nezbytné části musí obsahovat, aby vzniklo tolik energie a jaké další přenosové komponenty nám ovlivňují výsledky zpracovávaného polymerního materiálu. Také si rozdělíme ultrazvuky podle potřeb – na co jsou určeny, jaké mají vlnové délky, jak se generuje jejich energie, jakým způsobem čerpají energii a kde jsou ultrazvuky využívány díky svým specifikacím.

V praktické části této práce se seznámíme podrobněji se stojanovou svářečkou firmy Hermann Vario HiQ, na které budou probíhat praktické zkoušky materiálů, a to na trhacích tyčinkách. Proto bude nezbytné se na úvod seznámit s tímto ultrazvukovým zařízením, jaké jsou jeho důležité části, jak fungují a jakým způsobem se to projevuje na výsledcích našich zkoušených materiálů. Ukážeme si, jak se změnou parametrů (výkon, frekvence, hloubka, síla při svařování a energie) a nastavením samotného ultrazvukového zařízení, projeví na svařovaném polymeru. Zjistíme, že i další procesy zpracování polymerních materiálů (vstřikování, lakování), mohou ovlivnit výsledný efekt ultrazvukového svaření.

Výsledkem této diplomové práce bude shrnutí si všech praktických a teoretických poznatků tak, že přinesou zlepšení a zefektivnění stávající výroby ultrazvukově svařovaných dílů pro profesionální použití. Důležitým výsledkem práce bude také podpora rozvoje výroby prostřednictvím vylepšení zpracovatelských podmínek polymerních materiálů.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝZNAMNÉ POJMY V TECHNOLOGII

Technologie je soubor procesů a pravidel, které jsou určující pro výrobu a výrobní procesy. Jediným limitujícím faktorem je použitá technologie. Technologie proto, že stanovuje nároky nejen na energie, spotřebu jednotlivých surovin a jejich využití. Technologie určuje také celkové funkční využití, designové a komerční nasazení výrobků, čímž mohou vznikat nová výrobní odvětví.

Technologie je vědním oborem, který spojuje lidské, vědecké a praktické znalosti a převádí je do praxe.

Technologie se v dnešní době posunula v myšlení lidí jako technologický postup, výroba polotovarů i celých sestav. Do polohy, která rozlišuje dva přístupy jejího vnímání:

- a) Technologie jakou součást rozvoje vědy a společnosti – technologie souvisejí nejen s rozvojem společnosti, ale vycházejí také z pojmu technologie jako souboru vědeckých poznatků, které definují nové a nově koncipované vědní obory – ve všech vědních a lidských oborech. Z našeho hlediska jsou důležité nové poznatky ve sféře průmyslové a materiálové technologie a posledních 50let.
- b) Technologie uplatňované přímo ve výrobě – jedná se o technologie uplatňované přímo v procesu výroby, které představují komplex věd, jejichž cílem je nejen odkrývání, formulace zákonů a principů průmyslové výroby. Technologie v praxi přináší pokrok do výroby na základě teoretických a vědeckých principů.

1.1 Technologie zpracování materiálů

Technologie zpracování materiálů se dělí na šest základních oblastí, které se od sebe liší realizací ve výrobě, technologickými a výslednými efekty.

- 1) Procesy tvarování materiálů a polotovarů – dále se dělí na:
 - a) tvarování materiálů v tekutém stavu;
 - b) tvarování materiálů plastickou deformací;
 - c) tvarování práškovou metalurgií;
 - d) tvarování řezáním materiálů;

e) tvarování odstraňováním materiálu fyzikálně - chemickým úběrem.

- 2) Procesy dělení materiálů (stříhání, řezání, ...);
- 3) Procesy spojování materiálů (svařování, pájení, lepení, lisování, ...);
- 4) Procesy změny fyzikálně mechanických vlastností materiálu (tepelné zpracování, galvanizace, ...);
- 5) Procesy změny stavu povrchu: částečně se prolínají s rozměrovým opracováním dílců, využívají se procesy, které zlepšují a vylepšují kvalitu povrchu nebo i zlepšují rozměrovou přesnost (honování, superpřesné broušení, ...);
- 6) Rozměrové zpracování dílců: odstraňují se nepřesnosti po předchozích operacích (lapování, mikrořezání, nanotechnologie, ...).

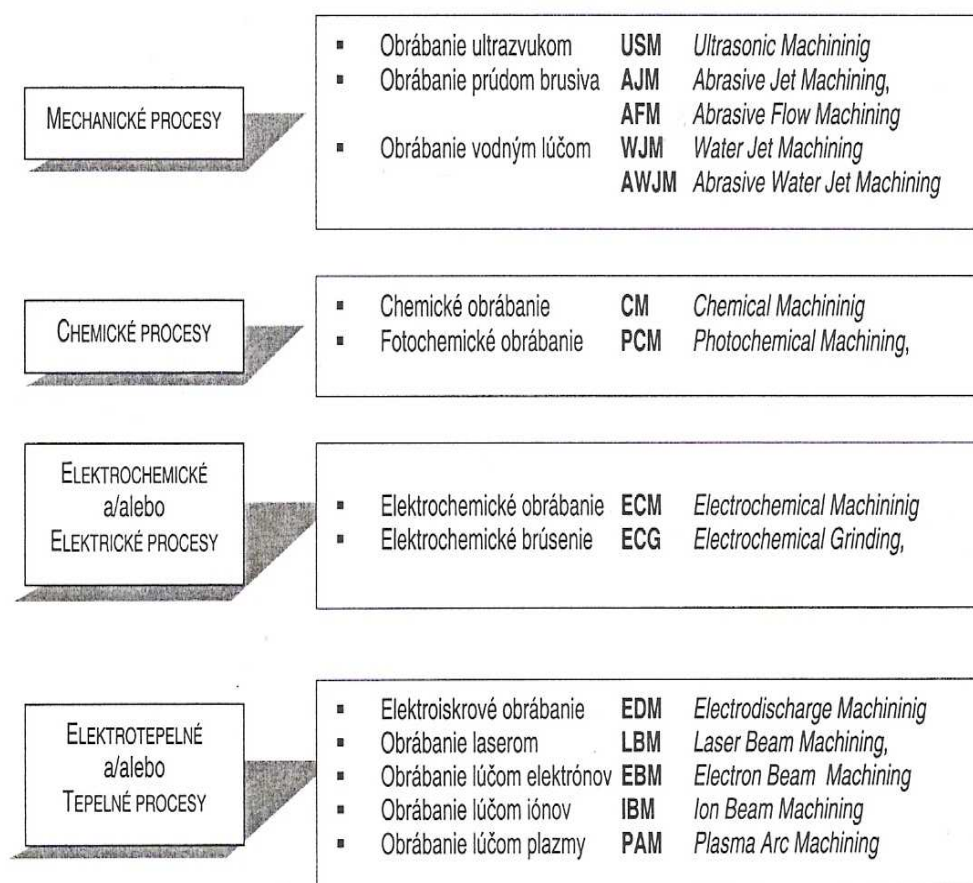
Z výše uvedeného dělení vyplývá, že je možné technologie rozčlenit podle stupně jejich vývoje a průmyslového použití do třech základních kategorií označené jako:

- klasické resp. konvenční technologie, založené na mechanické povaze zpracování materiálů;
- doplňkové progresivní technologie, založené na fyzikální a chemické povaze dějů při zpracování materiálů;
- vylepšené, inovační metody zpracování materiálů.

2 PROGRESIVNÍ TECHNOLOGIE

Progresivní technologie jsou v některých literaturách uváděné jako nekonvenční technologie obrábění. Využívají se v případech, kdy by byl materiál běžnými způsoby obrábění neobrobitelný (např. monolitické a kompozitní materiály). Těchto technologií se využívá také tehdy, kdy by mohly vzniknout těžkosti při obrábění způsobené tvrdostí, křehkostí, žáruvzdorností, chemickou reaktivitou s řezným nástrojem, nehomogenní mikrostrukturou.

2.1 Klasifikace nekonvenčních technologií dle hlavního zdroje energie obrábění

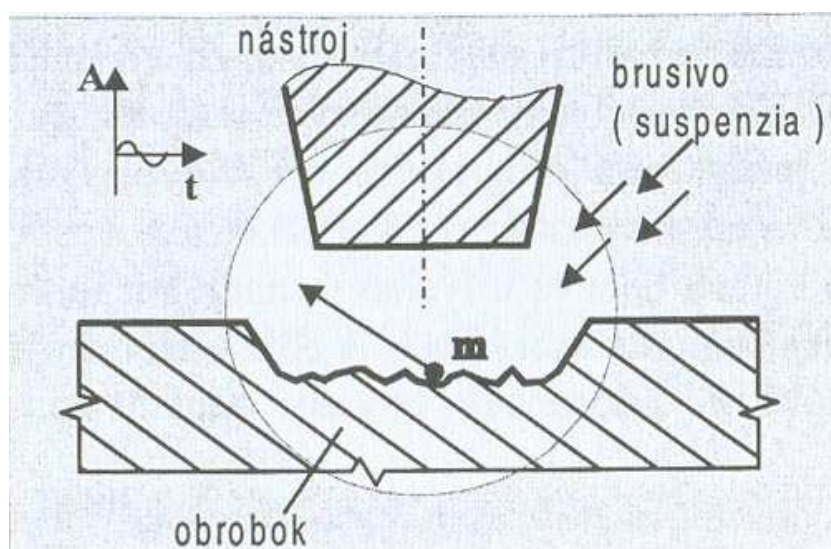


Obr. 1. Klasifikace nekonvenčních technologií [1]

2.2 Mechanické procesy

Mezi základní mechanické procesy patří:

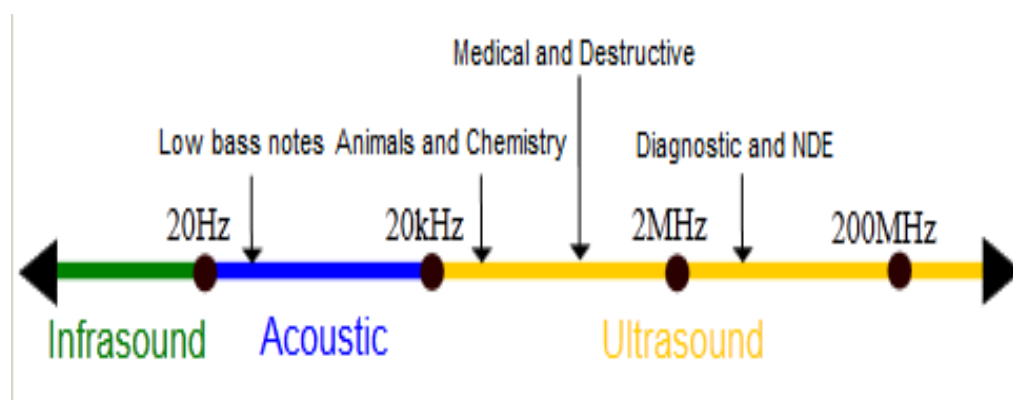
- Obrábění vodním paprskem (WJM, AWJM) - jedná se o erozivní obrábění čistým vodním paprskem bez nebo s použitím brusných částic. Obrábět se tímto způsobem může velký výběr materiálů – nejčastěji se používá pro řezání plátových materiálů.
- Obrábění abrazivním paprskem (AJM, AFM) – jedná se o erozivní obrábění za použití stlačeného vzduchu nebo plynu. K urychlení procesu se používají brusné částice. Toto obrábění je vhodné pro dokončovací operace a čištění povrchu obrobku.
- Obrábění ultrazvukem (USM) – přímý mechanický účinek volného abraziva na povrch obráběné plochy, které dopadají na povrch materiálu. Je vhodné použít pro vytváření plitkých povrchů velmi malý úběr z povrchu obrobku. Do této kategorie obrábění spadá také ultrazvukové svařování, u kterého nedochází k odebrání materiálů, ale dochází ke spojení dvou stejných či částečně rozdílných materiálů.



Obr. 2. Ultrazvukové obrábění

3 ULTRAZVUK

Ultrazvuk je akustické vlnění, jehož frekvence leží za slyšitelností lidského ucha cca 20kHz. I když je z fyzikálního hlediska stejný jako zvuk, pro lidské ucho je neslyšitelný. Někteří živočichové tohoto ultrazvuku využívají pro orientaci či dorozumívání. Z obrázku 3 je patrné, kde se přímce vlnové délky ultrazvuk vyskytuje. Vlnová délka ultrazvuku je menší než vlnová délka zvukového vlnění. Ultrazvuk není ovlivněn ohybem a jeho prostupnost pevnými a kapalnými materiály je mnohem větší.

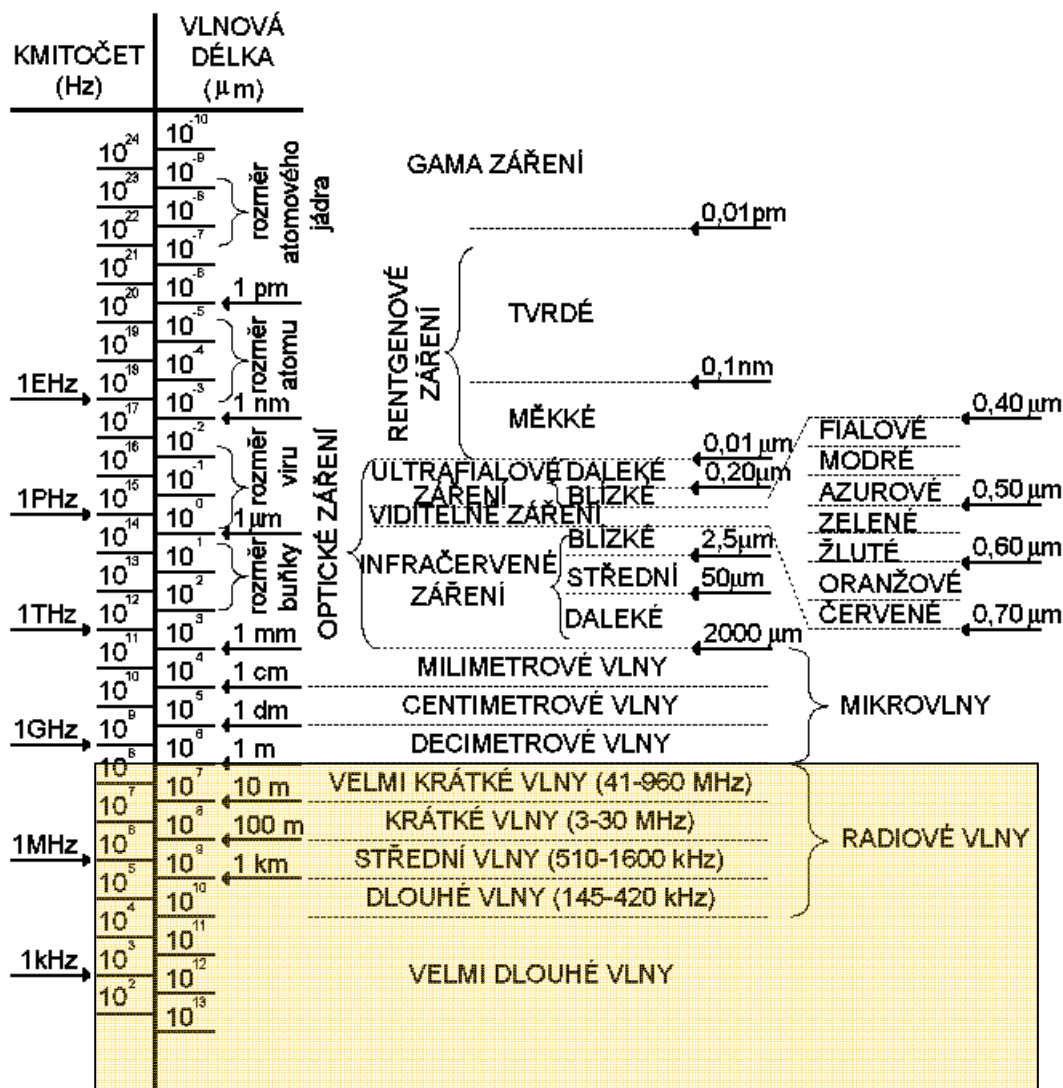


Obr. 3. Přímka zvukového vlnění

Zvuk je vytvořen změnou vzdušného tlaku ve formě vln. Frekvence je součástí zvuku a je definovaná výškou. Zvuk je součástí vlnění, která mají rychlost v . Bude tedy platit vztah (1) pro vlnovou délku λ a frekvenci f . Zvuk se nemůže pohybovat ve vakuu.

$$v = \lambda \times f \quad (1)$$

Vlnové délky ultrazvuku spadají do oblasti velmi dlouhé vlny až po oblast radiových vln. Přehled vlnových délek a odpovídajících frekvencí elektromagnetického záření je na obr. 4.



Obr. 4. Tabulka vlnových délek a frekvencí známých elektromagnetických záření s vyznačenou oblastí ultrazvuku

3.1 Historie ultrazvukového svařování

Ultrazvukové svařování je technika, při níž je vysoká frekvence zvuku aplikovaná pomocí vibrací na díl, který je přidržován tlakem tak, aby vytvořili pevný spoj. Nejčastěji se používá na spojování rozdílných plastů, a to bez použití lepidel, hřebíků či šroubů tak, aby se vytvořil pevný nerozebíratelný spoj, který vydrží léta.

Historie ultrazvukové svařování sahá do 60. let 20. století, kdy byla v Americe postavena první ultrazvuková svářečka známá pod názvem Aeroprojects.

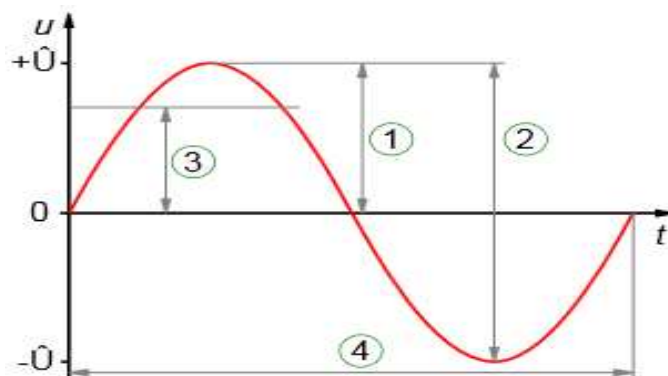
V těchto letech, kdy byla představena první ultrazvuková svářečka, se daly svařovat pouze tvrdé plasty. Až teprve v roce 1965 navařili ve firmě Branson paní Sollof a Linselly pomocí ultrazvukové svářečky tenký plastový film na tubus a tašku. Přitom zjistili, že nemusí pohybovat svařovaným dílem, ale že ultrazvuk se šíří celým dílem. Na základě těchto skutečností byl sestaven první ultrazvukový lis tak, jak je známý dnes – byl použit na hračky. První použití ultrazvuku v automobilovém průmyslu bylo zaznamenáno na začátku 70. let 20. století. Masově se začal ultrazvuk pro svařování v automobilovém odvětví používat na počátku 80. let 20. století. Dnes se pomocí ultrazvuku spojují nejrůznější díly tvarů, použitelných pro interiéry i exteriéry.

3.2 Definice frekvence a amplitudy

Frekvence je definovaná pro opakující se cykly (rotace, oscilace nebo vlnění) jako množství cyklů za jednotku času. V SI jednotkách má jednotku 1 Hertz (Hz), pojmenované po německém fyzikovi Heinrich Hertz. Znamená to, že akce se opakuje jednou za sekundu. Perioda je vyjádřena pomocí T , jako délka času na jeden cyklus a je převrácenou hodnotou frekvence f . (2)

$$T = \frac{1}{f} \quad (2)$$

Amplituda je definovaná jako maximální hodnota periodicky měnící se veličiny. U zvuku, který se šíří v atmosféře, dochází ke kolísání tlaku. U ultrazvukového svařování dochází ke kompresi a expanzi sonotrody. Grafické vyjádření amplitudy je v obr. 5.



Obr. 5. Grafické vyjádření amplitudy, 1- amplituda, 2- max a min amplituda, 3- střední hodnota čtverce amplitudy, 4- časový úsek

3.3 Polymery určené pro ultrazvukové svařování

Polymerní materiály, které jsou vhodné a méně vhodné pro ultrazvukové svařování jsou děleny do základních kategorií:

- termoplasty: s lineárním nebo rozvětveným řetězcem – velmi vhodné pro svařování;
- elastomery: se širokou sítí a vulkanizovaný – nejsou vhodné pro svařování;
- duroplasty: bakelity – nejsou vhodné pro svařování.

Všechny termoplasty mohou být svařeny, pouze Teflon nelze svařovat, jelikož nevytvoří kapalný roztok. Termoplasty se mohou svařovat se sebou navzájem. Materiály typu ABS, PMMA, PC a PVC mohou být svařeny mezi sebou navzájem.

Amorfnní termoplasty mají komplexní molekuly s vedlejšími řetězci zaručující nižší bod tavení, opakovatelné tavení. Většinou jsou transparentní, tvrdé, tuhé, lámavý a dobře vedou zvukové vlny.

Semikrystalické termoplasty mají jednotlivé molekuly bez postranních řetězců, částečně uspořádaných krystalů, vyšší bod tavení, s nenadálým tavením, většinou jsou neprůhledné, měkké, pružné, tažné, zvuk je veden na krátkou vzdálenost.

Jednotlivé materiály potřebují rozdílné nastavení svařovací amplitudy a vydané amplitudy. Přehled je znázorněn v tabulce 1.

Tab. 1. Jednotlivá nastavení pro běžně svařované materiály

Materiál	Frekvence	
	35kHz	20kHz
ABS	14 μm	25 μm
PC	20 μm	30 μm
POM	32 μm	40 μm
PP	26 μm	38 μm
PA 66	35 μm	45 μm

3.4 Komponenty pro ultrazvukové svařování

Všechny ultrazvukové svářečky pracují na stejném principu, liší se pouze zpracováním jednotlivých komponent.

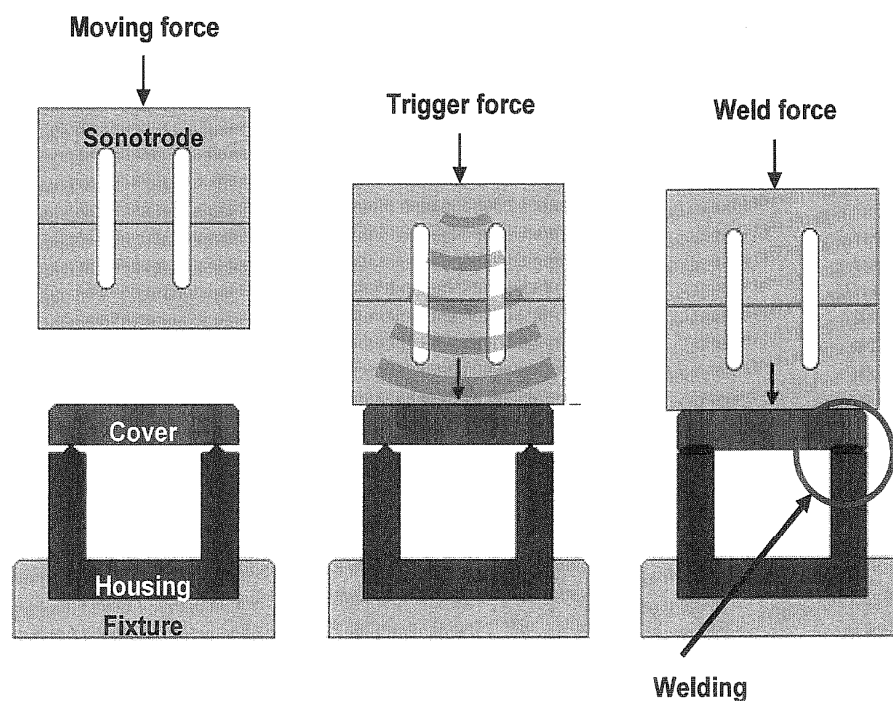
Generátor: přivádí vysoké napětí AC s frekvencí odpovídající ultrazvukové frekvenci. Udržuje amplitudu v konstantním stavu, snaží se balancovat výkyvy na vstupním napětí.

Converter – měnič: mění přicházející vysokou frekvenci z generátoru na mechanické pohyby. Stavba měniče je jednoduchá – jedná se o piezoelektrický krystalový sendvič pod napětím mezi dvěma titanovými kousky. Oscilace (rozšířit&stáhnout) vytvoří mechanické pohyby. Příklady účinnosti měniče jsou uvedeny v tabulce 2.

Tab. 2. Příklady účinnosti měniče

Frekvence	Výkon	Amplituda
20 kHz	2000 W	10,6 μm
	4000 W	12,0 μm
	5000 W	13,3 μm
30 kHz	1700 W	7,5 μm
35 kHz	1000 W	6,5 μm

Booster: Modifikuje amplitudu vibrace. Může být použit ve standartním systému k podržení nahromaděného tlaku.



Obr. 6. Systém ultrazvukového svaření

Sonotroda: slouží k přenosu mechanických vibrací do svařovaného dílu. Sonotroda je většinou ve tvaru svařovaného dílu navíc přenáší tlakovou sílu, která slouží k upevnění jednotlivých dílů.

Controler: je určen ke kontrole pohybu sonotrody do tlaku a využití celkové ultrazvukové energie tak, aby byla beze zbytku spotřebována, a tím došlo k úplnému provaření dvou svařovaných dílů.

Zakládací přípravek: slouží k uložení jednoho ze svařovaných dílů do zařízení tak aby nedošlo při svařování k nežádoucím pohybům.

3.5 Aplikace ultrazvuku (svařování)

Ultrazvuk najdeme ve všech odvětvích technické praxe a také v přírodě. V přírodě se můžeme s ultrazvukem setkat u některých zvířecích druhů, které ho využívají ke komunikaci, ale také k orientaci v prostředí (kytovci, netopýři).

V technické praxi využíváme ultrazvuk k čištění využití destruktivního chování čisticí kapaliny na znečištěný povrch, k orientaci v mořských hlubinách (ponorky, průzkum mořského dna), dále lze využít ultrazvuk ke zkoumání vnitřní struktury železných i neželezných kovů (kontrola úplnosti, testování). Ultrazvuk s malou frekvencí okolo 50-500kHz může být dokonce využit ke snímání vnitřní struktury u dřeva, betonu a cementu. V medicíně se ultrazvuku využívá k sonografii, rozpadu bakterií, u malých frekvencí je využíván k terapeutické obnově zubů a kostí. Ultrazvuk je též využíván ke zvlhčování prostředí, k identifikaci a lokalizaci pohybujících se předmětů. V neposlední řadě se pomocí ultrazvuku svařuje.

Svařování je využíváno ve více oborech jako elektrotechnika a počítačový průmysl, automobilový (obr. 7) a letecký průmysl, v obalovém průmyslu a v oblasti netkaných textiliích. Ultrazvuk je velmi populární technika všude tam, kde jsou spojovány rozdílné tloušťky a druhy materiálů. Jsou-li materiály příliš tlusté, nedojde ke svaření. Ultrazvuk se dá velmi rychle aplikovat do automatických linek, kde dochází k velmi rychlému svaření pod 1 sekundu. Je používán všude tam, kde není potřeba ventilace a odvětrávání, jelikož dochází k rychlému zahřátí a následnému rychlému zchlazení. Ultrazvuk je používán také pro svařování velmi malých, složitých a citlivých dílů, kde by jiné techniky svařování nebyly vhodné.



Obr. 7. Příklad ultrazvukového svaření pro automobilový průmysl

4 POLYMERNÍ MATERIÁLY

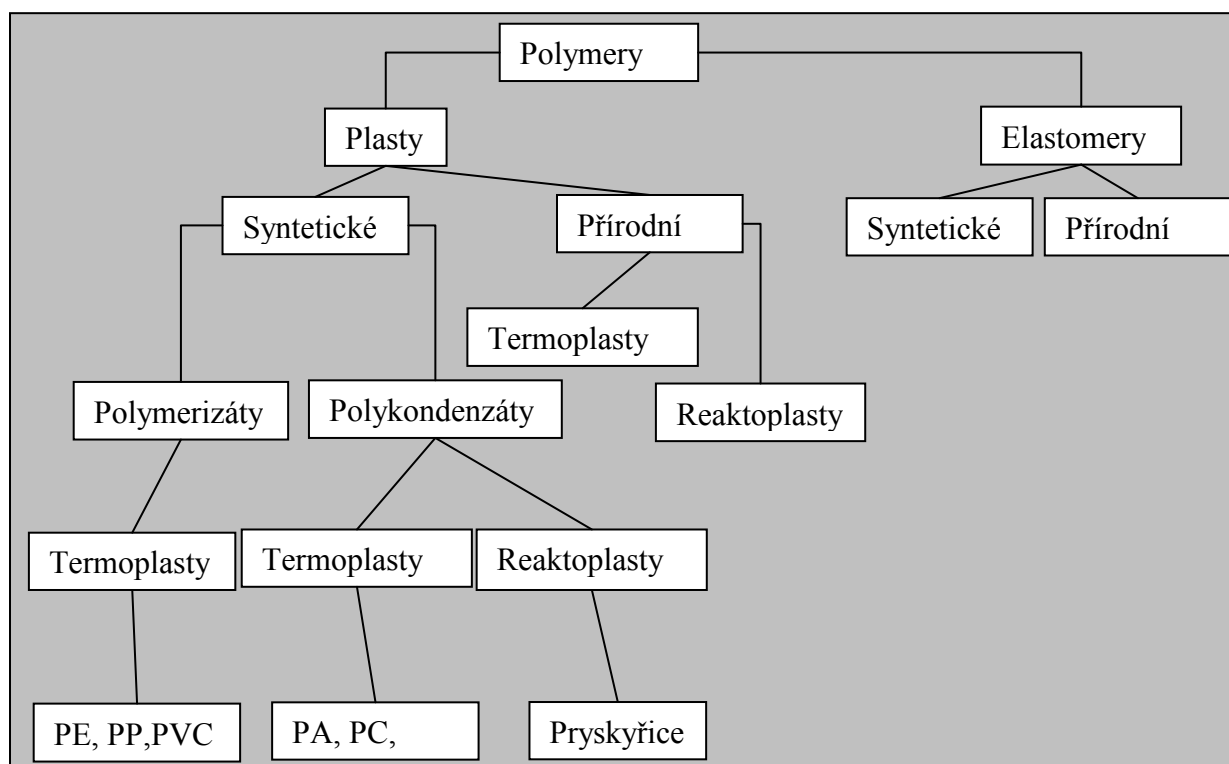
Polymery jsou chemické látky neobvyklé šíře vlastností, obsahující ve svých obrovských molekulách většinou atomy uhlíku, vodíku a kyslíku, často dusíku, chloru i jiných prvků. Polymery jsou ve formě výrobku prakticky v tuhém stavu, ale v určitém stádiu zpracování ve stavu v podstatě kapalném, dovolujícím, většinou za zvýšené teploty a tlaku, udělit budoucímu výrobku nejrůznější tvar, podle předpokládaného použití.[2]

4.1 Základní rozdělení polymerů

Polymery lze dělit dle různých hledisek, způsobu zpracování a použití u spotřebitele. Rozlišujeme vstřikovací, vytačovací, lisovací hmoty, licí pryskyřice, lehčené hmoty, obalové materiály, lékařská pojiva, vlákna, lepidla a mnoho jiných.

Podle způsobu vzniku můžeme polymery dělit na přírodní (škrob, celulóza, kaučuk aj.) nebo syntetické (polyetylén, polypropylén aj.).[3]

Podle zákl. technických vlastností dělíme polymerní materiály na elastomery a plasty – obr. 8.



*Obr. 8. Schéma rozdělení polymerů***Eleastomery**

Jedná se o hmoty, které jsou trvale pružné, a to v případě, že je zatížíme deformací. Po uvolnění deformace se většinou vrací do polohy, v které byly před zatížením. Z hlediska ultrazvuku jsou nepoužitelné a většinou se používají jako tlumiče mechanických vibrací.

Plasty

Dělí se podle způsobu chování po zahřátí:

- termoplasty – jsou to polymery, které působením tepla měknou a jsou opakovatelně tavitelné, ochlazením je převedeme do tuhého stavu. Mezi termoplasty patří většina používaných materiálů v technické praxi jako například PMMA, ABS, PA66;
- reaktoplasty – jsou to takové polymery, které za působení tlaku a tepla mění své vnitřní uspořádání (zesítují). Po zchladnutí mají velmi zajímavé mechanické, chemické a fyzikální vlastnosti. Nevýhodou u těchto polymerů je, že nejsou opakovatelně tavitelné. Mezi reaktoplasty patří fenolytické a epoxidové pryskyřice aj.

4.2 Fyzikálně-mechanické charakteristiky použitých polymerů

Jednotlivé typy plastů mají své charakteristické funkční i zpracovatelské vlastnosti, které se mohou měnit v závislosti na množství přísad aj.

4.2.1 Polymetylmetakrylát (PMMA)

Nejcharakterističtější vlastností PMMA je jeho tvrdost, pevnost, je poměrně křehký, odolný otěru, zdravotně nezávadný, čirý, s výbornými optickými vlastnostmi a vysokým leskem, vysoce odolný vůči povětrnostním vlivům, lehce barvitelný. Má vysokou korozi napětí.

V praxi ho snadno identifikujeme dle základních vlastností jako: lehce hoří, hoří svítivým plamenem i po oddálení od zdroje hoření, je slzotvorný, má sladkou ovocnou vůni, neodolává silným kyselinám a louhům, chlorovaným uhlovodíkům. Dá se dobře mechanicky obrábět. Odolává biologickým účinkům a sám je neovlivňuje. Z hlediska bezpečnosti má při stejné tloušťce 6krát vyšší rázovou houževnatost než anorganické sklo. [3]

I když je blokový PMMA relativně drahý plast, v určitých aplikacích je téměř nenahraditelný díky přednostem, kvůli kterým vyniká nad ostatními polymery. Využívá se především při zasklívání oken dopravních prostředků, při výrobě krytů přístrojů, kancelářských potřeb apod.

Tab. 3. Fyzikálně-mechanické charakteristiky PMMA

Vlastnosti		
Hustota	[kg m ⁻³]	1100-1200
Pevnost v tahu	[MPa]	50-90
Modul pružnosti v tahu	[MPa]	1700-3400
Modul pružnosti v ohybu	[MPa]	2800-3300
Tažnost	[%]	3-6
Teplota tavení	[°C]	160
Dlouhodobá teplotní odolnost	[°C]	60-80
Teplota zpracování	[°C]	170-246

4.2.2 Terpolymer akrylonitril/butadien/ styrén - ABS

Charakteristickou vlastností tohoto terpolymeru je jeho tuhost, velmi dobře odolný vůči kolísajícím teplotám, možnost zvýšit teplotní odolnost směrem k nízkým i vysokým teplotám, barven krycími barvami, malá nasákavost, dobré elektrické vlastnosti, hořlavý, zdravotně nezávadný, typy s antistatickou úpravou.

V praxi ho identifikujeme podle jeho hořlavosti, je lehce zápalný, po oddálení z plamene hoří svítivým plamenem se silným vývojem sazí, zapáchá sladce po styrénu. Neodolává benzínu, benzenu a většině rozpouštědel. Je velmi dobře mechanicky obrobitelný.[3]

I když v praxi je granulovaný ABS dražším materiálem, je stále více oblíbený v automobilovém průmyslu, kde si některé součásti již dnes nedokážeme představit z jiných materiálů. ABS se dá dále velmi dobře zpracovávat v následných operacích, jako například lakování, laserování, pokovování aj.

Tab. 4. Fyzikálně-mechanické charakteristiky ABS

Vlastnosti		
Hustota	[kg m ⁻³]	1010-1210
Pevnost v tahu	[MPa]	27-65
Modul pružnosti v tahu	[MPa]	1500-4000
Modul pružnosti v ohybu	[MPa]	320-1050
Tažnost	[%]	2-4
Teplota tavení	[°C]	88-128
Dlouhodobá teplotní odolnost	[°C]	80-90
Teplota zpracování	[°C]	160-274

4.2.3 Polyamid 66 obohacený o 30%skelných vláken

Semikrystalický materiál je při obsahu vody do 3 % velmi houževnatý, v suchém stavu je křehký, tuhý, tvrdý, vysoce odolný proti otěru, má dobré kluzné vlastnosti. Zdravotně je nezávadný, dobře barvitelný. Je hořlavý, hoří modře se žlutým okrajem. Při hoření skapává za tvorby bublin a vláken. Neodolává kyselinám a ozónu.

V praxi se nejčastěji používá na nepohledové, ale funkční díly ve všech odvětvích průmyslu, kde se využívají jeho mechanické a fyzikální vlastnosti. V automobilovém průmyslu je používán od nejmenších nosičů čidel pro nejrůznější aplikace až po ovládání madel dveří nebo úložných prostor. Z hlediska zpracovatelnosti jsou dobře využity ty polyamidy, které v sobě obsahují skelná vlákna, jelikož jsou vhodnější pro aplikace ultrazvukového svařování. Takto spojené součásti vykazují vysokou odolnost v tahu a ohybu. Většinou nepráská svár, ale samotný materiál.

Tab.5. Fyzikálně-mechanické charakteristiky PA66; PA66-GF30

Vlastnosti		
Hustota	[kg m ⁻³]	1370
Pevnost v tahu	[MPa]	160
Modul pružnosti v tahu	[MPa]	6000-15000
Modul pružnosti v ohybu	[MPa]	130-300
Tažnost	[%]	3-6
Teplota tavení	[°C]	50-90
Dlouhodobá teplotní odolnost	[°C]	50
Teplota zpracování	[°C]	270-300

5 SHRUTÍ POZNATKŮ A STANOVENÍ CÍLE DIPLOMOVÉ PRÁCE

- 1) Rozsáhlé seznámení s ultrazvukovou svářečkou Vario HiQ ve firmě Herrmann Ultraschall-technik. Popsání nejdůležitějších částí ultrazvukové svářečky.
- 2) Vývoj a výsledky tahové zkoušky polymerních materiálů s ohledem na technologické parametry svařování.
- 3) Shrnutím a výsledkem by mělo být hlubší porozumění ultrazvukového svařování u stávající a nové výroby.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 ULTRAZVUKOVÉ ZAŘÍZENÍ

V Plastice se již sedmým rokem používá ultrazvukové zařízení vyrobené firmou Herrmann Ultraschalltechnik GmbH. Podobná víceúčelová zařízení máme ještě čtyři, k tomu dalších pět jednoúčelových svářeček.

6.1 Ultrazvuková svářečka HiQ Vario – digital

Je vyrobena tak, jako většina jiných svářeček od různých výrobců. Klasické stojanové uspořádání je osazeno generátorem, dráhovým senzorem, tlumičem, sestavou svařovacího ústrojí (konvertor, booster, sonotroda), základacím přípravkem (obr. 9).



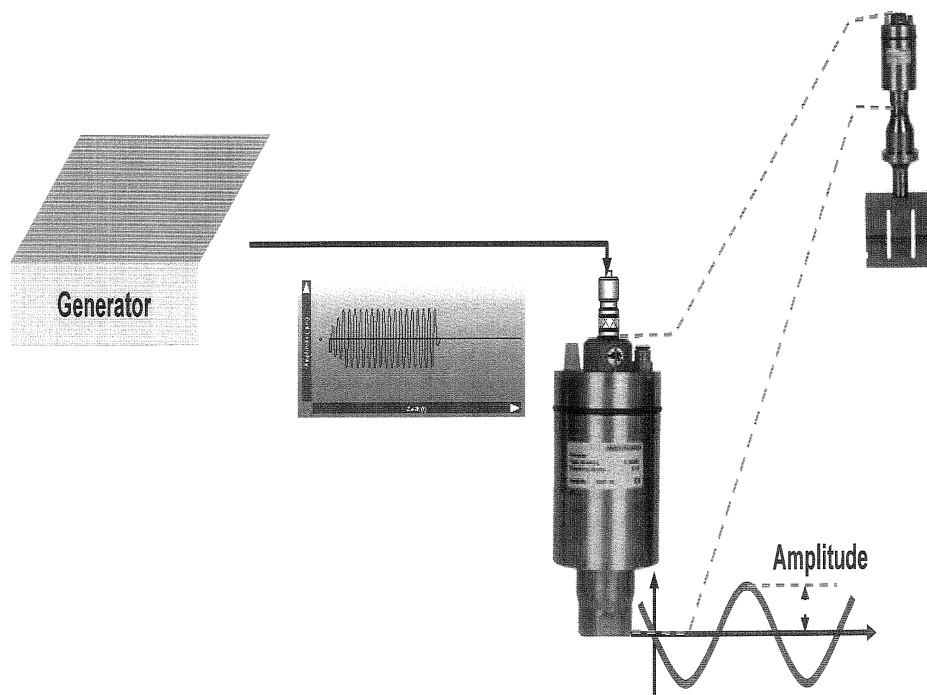
Obr.9. Celkový pohled na ultrazvukovou svářečku

Generátor: u tohoto zařízení je spojen zároveň s řídicí jednotkou. Toto uspořádání má velkou výhodu v kompaktnosti celého systému. Generátor je napájen zdrojem 230V 50Hz, který je generován na vyšší frekvenci 20kHz. Tato frekvence je přivedena pomocí UHF kabelu na konvertor (obr. 10).



Obr.10. Generátor s řídicí jednotkou

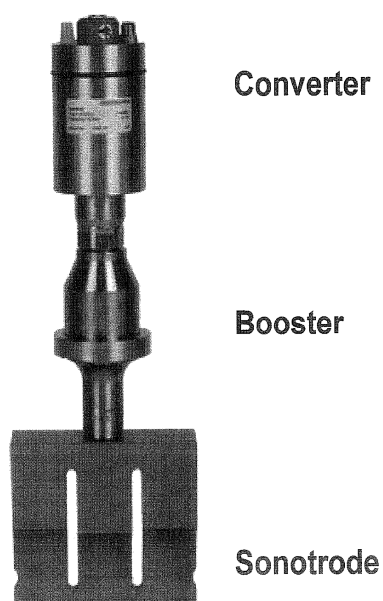
Konvertor: jak již bylo popsáno v teoretické části, je konvertor sestaven tak, aby signál vysoké frekvence změnil na mechanické rázy. K tomu mu pomáhá sendvič pizo-elektrického krystalu nebo elektromagnetu, který je umístěn mezi dvě titanové destičky. Takto může být frekvence rozkmitána na amplitudu mezi 5 - 80 μ m na povrchu kontaktní plochy sonotrody (obr. 11).



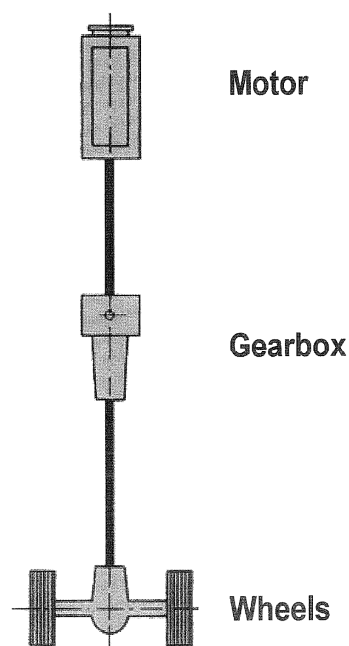
Obr.11. Konvertor a jeho funkce

Booster: slouží k zesílení nebo zeslabení oscilace, je přímo namontován na sonotrodě (obr. 12).

▪ Acoustic system



▪ Similar: Drive system of a car



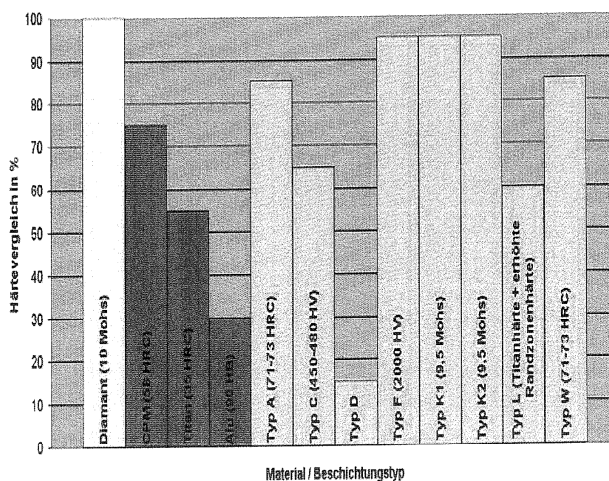
Obr.12. Booster a jeho funkce

Sonotroda: je většinou jednoduchého tvaru, v našem případě se jedná o obdélníkovou sonotrodu 10x15mm. Je vyrobena z hliníku, který je následně upraven na povrchovou tvrdost 450 – 480 HV. Složitější sonotrody mohou být vyrobeny z materiálů, které mají vysokou mez únavy, nízkou tlumivost materiálu tak, aby se vyvaroval zahřívání materiálu. Jestliže nebudou splněny tyto podmínky pro volbu materiálu sonotrod, vzniknou v materiálu mikro trhliny, které budou mít za následek celkovou destrukci sonotrody. Materiály, které jsou vhodné pro výrobu sonotrod, jsou slitiny titanu, slitiny hliníku a některé slitiny spékaných ocelí. Tyto slitiny se následně po zpracování do požadovaného tvaru povrchově upravují, a to z těchto důvodů:

- protekce svařované plochy proti opotřebení;
- zabránění kontaminace svařované plochy volnými částicemi;
- snížení koeficientu tření;
- tvar povrchu svařovaného dílů by neměl být ovlivněn povrchovou úpravou.

Příklady použitých materiálů jsou obsaženy v obr. 13.

Typ:	Verwendung:	Sono-Material:	Schicht-dicke:	Für Konturen:	Für Waffelstr.	Härte:
A	Verschleißschutz	Titan / Alu	50 - 800 µm	nein	bedingt	71 - 73 HRC
C	Verschleißschutz	Alu	30 - 35 µm	ja	ja	450 - 480 HV
D	Antihaft für Schaum	Titan / CPM		bedingt	nein	
F	Verschleißschutz	Titan / CPM	3 - 5 µm	ja	ja	2000 HV
K1	Verschleißschutz	Titan / CPM / Alu	50-1000µm	nein	bedingt	9,5 Mohs vergl. Diamant 10 Mohs
K2	Verschleißschutz elektrisch leitend	Titan / CPM / Alu	50-1000µm	nein	bedingt	9,5 Mohs vergl. Diamant 10 Mohs
L	Verschleißschutz	Titan		ja	ja	Eigenhärte des Titans im Randzonenbereich steigern
W	Verschleißschutz geläppt	Titan / Alu	50 - 800 µm	nein	nein	71 - 73 HRC



Obr.13. tabulka použitých materiálů

6.1.1 Jednoučelové ultrazvukové svářečky

Konstrukčně jsou velmi podobné víceúčelové stojanové svářečce, rozdíl je v malém rozsahu použití – jen pro jeden projekt. Většinou obsahuje více než jednu sestavu sonotrod. Množství sonotrod není limitováno, jde pouze o uložení v zařízení. Jediné, co není možné, je kombinace různých generátorů (frekvencí). Výsledkem svaření je většinou kompletní funkční díl (pohledové, tvarově složité díly). Příklad jednoučelové svářečky je vyobrazen na obr. 14.



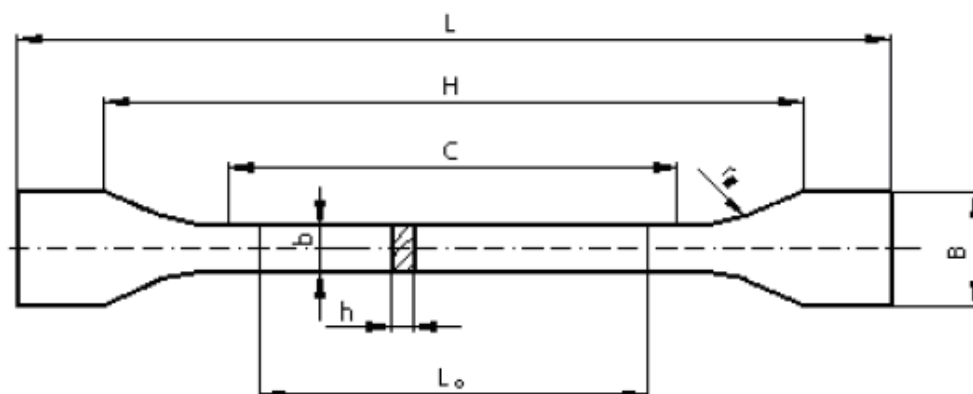
Obr. 14. Jednoučelová ultrazvuková svářečka

7 PŘÍPRAVA ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

Pro experimentální část diplomové práce byly použity čtyři materiály, a to ABS (Magnum 3416 + Stirenic Dow 39058 black 2%), PMMA (Plexiglas 8N), PA66 a PA66 GF30. Podrobnější informace o těchto materiálech byly popsány v teoretické části práce – kap. 4.2.

7.1.1 Tvar zkušebních vzorků

Základní tvar zkušebních vzorků použitý v experimentální části práce je tvaru oboustranné lopatky typu 1A, dle normy ČSN EN ISO 527-1 pro stanovení tahových vlastností plastů (obr. 15).



Obr.15. Základní tvar zkušebních vzorků

Rozměry použitých vzorků jsou zaznamenány v následující tabulce (tab. 6).

Tab. 6. Tabulka základních rozměrů zkušebních vzorků

Rozměr v mm	Typ 1A
Celková délka L	150
Počáteční vzdálenost čelistí H	110±5
Šířka upínací hlavy B	20±0,5
Šířka pracovní části b	10±0,5
Poloměr zakřivení r_1	20-25
Tloušťka h	4

Příprava proběhla u materiálů ABS a PMMA na vstřikovací stroji dle normy ČSN EN ISO 294-1 Plasty - Vstřikování zkušebních těles z termoplastů. Tato norma uvádí specifika pro konstrukci a výrobu zkušebních těles a jejich následné reprodukovatelnosti. Technologie vstřikování je pro každý polymer jiná s ohledem na užitné a ekonomické vlastnosti daného materiálu. Rozdílné jsou zejména parametry samotného vstřikování jako např.: teplota taveniny, teplota formy, rychlost vstřikování, doba chlazení aj.

Zkouška proběhla na vstřikovací stroji Engel ES 330/80 HLS. Parametry tohoto stroje jsou uvedené níže v tabulce (tab. 7).

Tab. 7. Tabulka základních parametrů vstřikovacího stroje

Parametry	
Uzavírací síla	80 t
Vstřikovací objem	132g(PS)
Rozměr upínacích desek	660 x 450 mm
Průměr šneku	40 mm
Délka šneku	700 mm

Technologické parametry stroje při výrobě zkušebních těles z jednotlivých materiálů jsou uvedeny v níže uvedené tabulce (tab. 8).

Tab. 8. Tabulka parametrů vstřikovacího procesu

Parametry	ABS	PMMA	PA 66
Teplota formy T_c (°C)	80	80	90
Vstřikovací tlak (MPa)	120	150	120
Dotlak p_{dot} (MPa)	40	100	90
Čas dotlaku t_{dot} (s)	2	6	4
Teplota pod násypkou (°C)	65	65	65
Teplota vstupního pásma (°C)	150	155	250
Teplota přechodového p. (°C)	195	190	270

Teplota výstupního pásma (°C)	230	200	280
Čas chlazení (s)	20	20	20

7.1.2 Dělení zkušebních vzorků pomocí laseru

Po procesu vstřikování obou materiálů testovacích vzorků (ABS, PMMA, PA66, PA66 GF30) byly tyto vzorky následně děleny dle výkresové dokumentace na laserovém zařízení TruFlow 500 CO₂ laseru. V programu Coreldraw byly vygenerovány dráhy řezu tak, aby plně odpovídaly výkresové dokumentaci. Byla stanovena jedna řezná rychlost tak, aby neovlivnila místo následného svaření. Parametry laserového zařízení jsou uvedeny v následující tabulce (tab. 9).

Tab. 9. Tabulka parametrů laserového zařízení

Parametry	TruFlow 500
Jmenovitý výkon	500 W
Stabilita jmenovitého výkonu	±2 %
Rozsah nastavení výkonu	5 – 100% jmen. výkonu
Zaručené parametry	2000 h
Vlnová délka záření	10,6 μm
Mód záření	TEM ₀₀
Frekvence pulzů	100Hz – 100kHz
Šířka pulzů	10 μs – cw

8 SVAŘOVÁNÍ A TRHÁNÍ ZKUŠEBNÍCH VZORKŮ

8.1 Parametry svařování jednotlivých zkušebních vzorků

Dělené vzorky dle výkresové dokumentace byly na sebe skládány za účelem vytvoření přeplátovaného spoje v definovaných přesazích, s definovanou geometrií a to v kombinacích ABS + ABS, PMMA + PMMA, ABS + PMMA, PA66 + PA66, PA66 GF30 + PA66 GF30. Výsledkem těchto spojení jsme dostali výsledky ultrazvukového svařování, které jsou zaznamenány v tabulce 10. Nastavení parametrů svařování je znázorněno v obr. 16, foto příkladu svařování je v obr. 17.

Tab. 10. Výsledky ultrazvukového svařování

Svařování dílů							
Svař. Díl	Svařovací čas	Svařovací tlak	Hloubka svaru	Energie	Výkon	Amplituda	Frekvence
	t(s)	F (N)	ABS(mm)	E (J)	P (W)	%	kHz
ABS + PMMA	0,05 – 0,09	200	18,56 – 18,76	10-32	100-500	60	20
ABS + ABS	0,03 – 0,1	100	18,56 – 18,76	1-24	45-350	60	20
PMMA + PMMA	0,05 – 0,15	300	18,56 – 18,76	15-87	200-750	60	20
PA66, PA66GF30	0,1 - 0,2	500	18,66 - 18,76	72-95	1750-2000	100	20
ABS + PMMA Skos	0,5	1500	12,65	150-250	330-620	85	20
ABS + ABS Skos	0,5	1500	12,65	50-120	150-320	90	20
PMMA + PMMA Skos	0,5	1500	12,65	75-150	200-400	95	20

Wertekontrolle



Schweißteil: TEST (0)
SM11.273/12, 23722

www.herrmannultraschall.com
service@herrmannultraschall.com

#	TP [mm]	t [s]	E [J]	Ppk [W]	RPN [mm]	ABS [mm]	P [W]	f [Hz]	RPN+ [mm]	MCT [s]	Code	Datum	Uhrzeit
62	18.74	0.098	76	2018	0.02	18.76	1959	20266	0.14	6.242	0	2012-07-31	12:54:11
61	18.67	0.106	94	2051	0.02	18.69	1909	20269	0.14	6.248	0	2012-07-31	12:53:14
60	18.67	0.106	76	1689	0.02	18.69	1647	20254	0.13	6.288	0	2012-07-31	12:52:06
59	18.66	0.103	72	1795	0.02	18.66	1731	20257	0.13	6.291	0	2012-07-31	12:51:11
58	18.67	0.106	73	1795	0.02	18.69	1747	20255	0.13	6.279	0	2012-07-31	12:49:58
57	18.67	0.101	94	2034	0.02	18.69	2034	20291	0.13	6.294	0	2012-07-31	12:48:12
56	18.68	0.108	108	2103	0.02	18.70	2044	20279	0.12	6.247	0	2012-07-31	12:47:38
55	18.66	0.043	4	396	0.01	18.67	396	20285	0.10	6.224	0	2012-07-31	12:46:55
54	18.66	0.041	3	302	0.01	18.67	302	20288	0.10	6.226	0	2012-07-31	12:46:34
53	18.64	0.085	61	1693	0.01	18.65	1693	20301	0.13	6.444	0	2012-07-31	12:43:52
52	18.65	0.241	266	1457	0.01	18.66	1427	20293	0.13	6.343	0	2012-07-31	12:42:49
51	18.66	0.204	226	1617	0.03	18.69	1368	20292	0.12	6.364	0	2012-07-31	12:41:57
50	18.67	0.326	385	1482	0.09	18.76	1175	20312	0.17	6.378	0	2012-07-31	12:41:04
49	18.45	0.057	4	264	0.09	18.54	264	20295	0.16	6.186	0	2012-07-31	12:40:32
48	18.42	0.091	11	231	0.09	18.51	231	20308	0.15	6.218	0	2012-07-31	12:37:36
47	18.27	0.059	4	172	0.09	18.36	172	20295	0.26	6.383	0	2012-07-31	12:37:09
46	18.50	0.333	87	334	0.09	18.59	319	20309	0.15	6.470	0	2012-07-31	12:36:36
45	18.47	0.175	35	304	0.09	18.56	304	20308	0.14	6.301	0	2012-07-31	12:36:07
44	18.36	0.046	2	152	0.06	18.42	152	20298	0.18	6.253	0	2012-07-31	12:34:26
43	18.45	0.124	23	336	0.06	18.51	336	20303	0.12	6.246	0	2012-07-31	12:33:27
42	18.40	0.180	43	358	0.06	18.46	355	20306	0.11	6.338	0	2012-07-31	12:32:29
41	18.51	0.086	25	632	0.06	18.57	632	20291	0.15	6.306	0	2012-07-31	12:29:24
40	18.47	0.052	6	381	0.06	18.53	381	20291	0.15	6.239	0	2012-07-31	12:29:03
39	18.47	0.048	6	411	0.06	18.53	411	20287	0.16	6.225	0	2012-07-31	12:28:39
38	18.45	0.049	5	322	0.06	18.51	322	20287	0.17	6.234	0	2012-07-31	12:27:54
37	18.47	0.064	14	515	0.06	18.53	515	20302	0.16	6.249	0	2012-07-31	12:27:36
36	18.53	0.092	32	649	0.06	18.59	611	20264	0.14	6.271	0	2012-07-31	12:27:17
35	18.46	0.065	14	538	0.06	18.52	538	20301	0.16	6.274	0	2012-07-31	12:26:41
34	18.46	0.068	15	580	0.06	18.52	580	20296	0.16	6.295	0	2012-07-31	12:26:19
33	18.47	0.062	12	554	0.06	18.53	554	20293	0.17	6.253	0	2012-07-31	12:26:29
32	18.49	0.103	26	519	0.06	18.55	519	20282	0.13	6.319	0	2012-07-31	12:23:15
31	18.43	0.040	2	176	0.05	18.48	176	20294	0.16	6.255	0	2012-07-31	12:22:39
30	18.54	0.111	26	472	0.05	18.59	472	20308	0.12	6.329	0	2012-07-31	12:21:06
29	18.51	0.095	19	445	0.05	18.56	445	20311	0.14	6.311	0	2012-07-31	12:19:55

2012-07-31 - 13:05:07

HIQ VARIO

1/2

Wertekontrolle



Schweißteil: TEST (0)
SM11.273/12, 23722

www.herrmannultraschall.com
service@herrmannultraschall.com

#	TP [mm]	t [s]	E [J]	Ppk [W]	RPN [mm]	ABS [mm]	P [W]	f [Hz]	RPN+ [mm]	MCT [s]	Code	Datum	Uhrzeit
28	18.50	0.074	11	354	0.05	18.55	354	20306	0.13	6.292	0	2012-07-31	12:18:26
27	18.40	0.039	1	106	0.05	18.45	106	20298	0.20	6.258	0	2012-07-31	12:17:53
26	18.42	0.051	4	229	0.05	18.47	229	20297	0.19	6.379	0	2012-07-31	12:17:05
25	18.22	0.037	1	75	0.05	18.27	75	20300	0.35	6.264	0	2012-07-31	12:16:23
24	18.51	0.093	21	488	0.05	18.56	488	20304	0.14	6.315	0	2012-07-31	12:13:38
23	18.39	0.039	1	76	0.04	18.43	76	20298	0.22	6.264	0	2012-07-31	12:13:13
22	18.50	0.102	24	496	0.06	18.56	496	20307	0.14	6.323	0	2012-07-31	12:10:51
21	18.39	0.037	1	82	0.03	18.42	82	20296	0.20	6.268	0	2012-07-31	12:10:27
20	18.44	0.040	2	184	0.03	18.47	184	20286	0.13	6.255	0	2012-07-31	12:09:14
19	18.43	0.046	3	234	0.03	18.46	234	20291	0.12	6.272	0	2012-07-31	12:08:35
18	18.46	0.072	12	375	0.03	18.49	375	20309	0.12	6.298	0	2012-07-31	12:08:03
17	18.46	0.076	13	400	0.03	18.49	400	20305	0.12	5.950	0	2012-07-31	12:07:25
16	18.39	0.032	1	95	0.03	18.42	95	20294	0.17	6.252	0	2012-07-31	12:01:35
15	18.47	0.062	8	381	0.02	18.49	381	20297	0.12	6.289	0	2012-07-31	11:57:38
14	18.46	0.026	0	64	0.01	18.47	64	20293	0.12	6.227	0	2012-07-31	11:56:52
13	18.45	0.140	21	249	0.01	18.46	144	20314	0.05	6.243	0	2012-07-31	11:49:59
12	18.46	0.064	12	404	0.02	18.48	387	20303	0.09	6.140	0	2012-07-31	11:48:41
11	18.48	0.107	32	468	0.04	18.52	464	20294	0.10	6.194	0	2012-07-31	11:44:17
10	18.47	0.105	28	431	0.06	18.53	431	20291	0.11	6.179	0	2012-07-31	11:41:54
9	18.47	0.154	53	488	0.08	18.55	484	20288	0.13	6.233	0	2012-07-31	11:40:52
8	18.48	0.182	65	509	0.10	18.58	508	20278	0.15	6.271	0	2012-07-31	11:38:07
7	18.43	0.105	28	463	0.10	18.53	463	20291	0.15	6.254	0	2012-07-31	11:34:53
6	18.46	0.121	48	643	0.10	18.56	643	20292	0.16	6.238	0	2012-07-31	11:31:20
5	18.43	0.083	22	497	0.10	18.53	405	20296	0.16	6.171	0	2012-07-31	11:30:16
4	18.48	0.243	147	781	0.15	18.53	626	20301	0.20	6.324	0	2012-07-31	11:27:34
3	18.47	0.200	96	634	0.15	18.62	582	20275	0.21	6.304	0	2012-07-31	11:20:39
2	18.52	0.319	195	938	0.20	18.72	879	20283	0.25	6.456	0	2012-07-31	11:13:06
1	18.56	0.588	284	1394	0.50	19.06	273	20319	0.55	6.700	0	2012-07-31	11:10:31

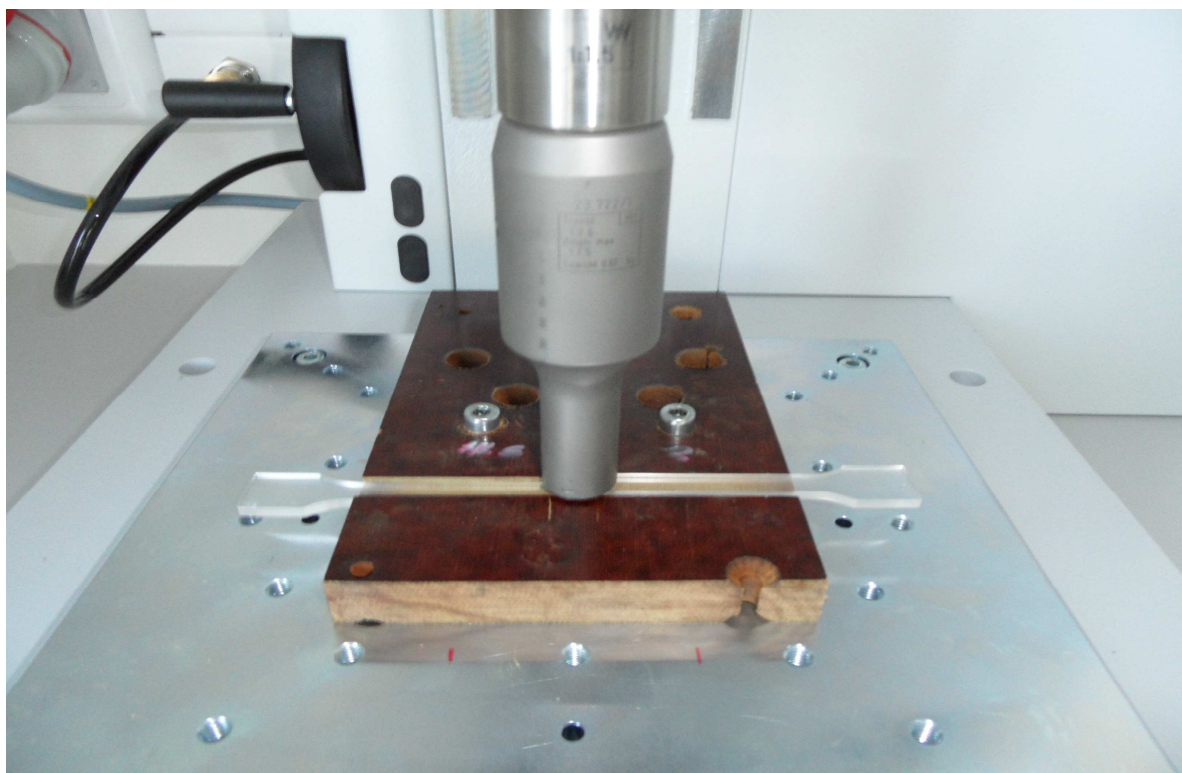
= Stücknummer, TP = Triggerpunkt, t = Schweißzeit, E = Energie, Ppk = Leistung (Max.), RPN = Schweißweg RPN, ABS = Wegposition ABS, P = Leistung (Ende), f = Frequenz (Ende), RPN+ = Weg RPN nach Haltezeit, MCT = Maschinenzustand, CODE = Störungsnummer

2012-07-31 - 13:05:07

HIQ VARIO

2/2

Obr. 16. Foto parametrů svařování



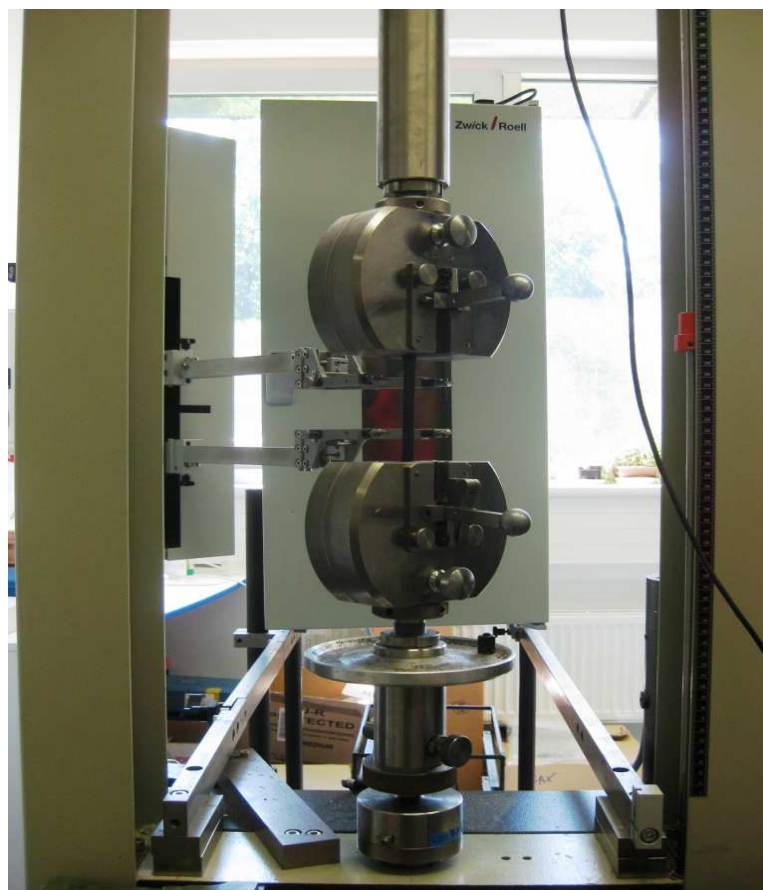
Obr. 17. Detail svařování zkušebních těles

8.2 Zkouška tahem

Pro zkoušku tahem byl použit univerzální zkušební stroj ZWICK 145665 (obr. 18., 19.) s nastavenými parametry viz. tab. 11. Na tomto zkušební stroji lze provádět i další zkoušky (tlakem, ohybem, cyklické zkoušky mívivým zatížením). Průběh zkoušky je zaznamenáván na osobním počítači v programu testXpert.



Obr. 18. Zkušební zařízení Zwick



Obr. 19. Detaily trhacího zařízení při trhání

Tab. 11. Technické parametry zkušebního zařízení Zwick

Maximální zkušební síla	20 kN
Strojová výška	1284 mm
Celková výška	2012 mm
Celková šířka	630 mm
Šířka pracovního prostoru	420 mm
Celková hmotnost	150 Kg

Tahová zkouška probíhala podle normy ČSN EN ISO 527. Zkušební tyčinky byly vyrobeny přeplátováním a byly porovnány se vzorky, které nebyly vůbec svařeny.

Podmínky při měření :

- jednoosý tah,
- rychlost zkoušky → 20mm/min,
- teplota měření → 20°C,
- počet vzorků → 3 až 6 ks.

8.2.1 Výsledky jednotlivých měření trhací zkoušky

Výsledky měření dílu bez změny geometrie dílu nalezneme v příložené tabulce (tab. 12), která byla následně zpracovaná a byla z ní použita pouze jedna hodnota – síla při přetržení (F at Break).

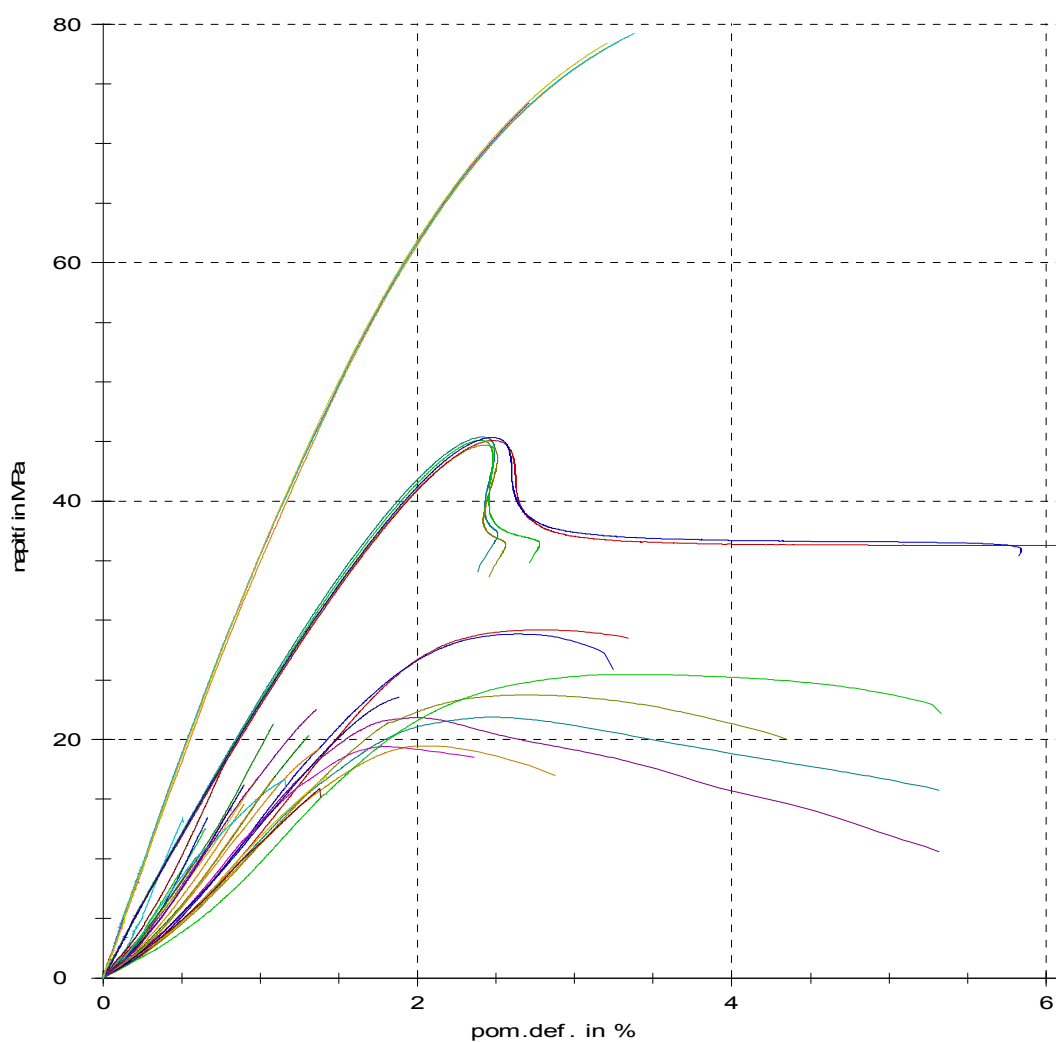
Výsledky měření dílu se změněnou geometrie dílu nalezneme v příložené tabulce (tab. 13), která byla následně zpracovaná a byla z ní použita pouze jedna hodnota – síla při přetržení (F at Break).

Tab. 12. Tabulka původní naměřených hodnot tahové zkoušky na zařízení Zwick

Nr	E _f (lo mod) F at 0.2% Upper yield	dl at uppe	Nominal s F (lo max)	dL (plast.)	dL at F (lo	Nominal s F (lo Break	dl (plastic)	dL at brea	Nominal s W to F (lo	W to brea					
MPa	N	N	%	MPa	%	%	mi	N	%	%	%	Nmm	Nmm		
22.13	6350	1890	3850	6,4	8,5	98,7	4,9	6,4	8,5	3740	6,6	8,1	10,2	9398,11	12616
27.1	1440	766	-	-	-	53	20,7	24,4	25,3	-	-	-	-	20959,3	-
27.2	1530	832	-	-	-	53,8	17,4	20,9	21,9	1680	38	40,8	41,8	18050,3	38031,6
28.1	2340	798	-	-	-	20,8	0,2	1	2,1	398	0,8	1,3	1,5	244,45	306,69
28.2	1460	529	-	-	-	15,9	0	1,1	1,8	492	0,3	1,1	1,1	184,22	192,83
28.3	1780	670	-	-	-	20,1	0	1,1	2,1	380	0,8	1,3	1,5	242,22	282,18
28.4	3180	1110	-	-	-	29,4	0,3	1,2	2,7	1130	0,3	1,2	1,7	385,15	395,86
28.5	2680	1280	-	-	-	32,8	0,2	1,4	3,1	1130	0,4	1,5	2	515,2	583,57
28.6	3500	1300	-	-	-	36,7	0,3	1,4	3,3	1350	0,4	1,4	2,1	578,92	608,69
29.1	692	-	-	-	-	8,62	0	1,2	2,1	335	0	1,2	1,3	107,97	108,97
29.2	759	826	-	-	-	22,5	0,4	3,4	5,7	810	0,8	3,5	3,7	858,22	913,25
29.3	791	779	-	-	-	20,2	0,3	2,8	4,8	762	0,5	3	3,1	641,7	683,33
29.4	670	-	-	-	-	9,12	0	1,3	2,2	356	0	1,3	1,4	121,82	121,82
29.5	371	99,8	-	-	-	4,66	0,4	1,7	2,2	101	1,3	2	1,7	86,78	112,62
30.1	1410	-	-	-	-	8,8	0,1	0,7	1,4	343	0,1	0,7	0,9	63,49	64,88
30.2	916	232	275	0,7	1,1	7,05	-0,1	0,7	1,1	163	0,7	1,2	0,9	43,49	102,74
(wd U)30.	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
30.4	1380	-	-	-	-	5,47	0	0,4	0,9	213	0	0,4	0,6	25,29	25,29
30.5	689	66,8	91,1	0,3	0,5	4,35	1,8	2,4	2,9	140	2	2,5	1,9	39,8	48,5
30.6	1370	127	147	0,3	0,6	3,77	0	0,3	0,6	120	0,7	0,9	0,6	12,88	49,94
30.7	1430	-	-	-	-	9,16	0	0,6	1,3	357	0	0,6	0,8	58,62	58,62
30.8	1700	-	-	-	-	10,7	0,2	0,8	1,6	416	0,2	0,8	1	96,89	96,89
30.9	1520	-	-	-	-	8,14	0,1	0,6	1,2	317	0,1	0,6	0,8	51,63	51,63
30.10	718	63,9	79,9	0,3	0,4	2,05	0	0,3	0,4	25	1,7	1,7	1,2	6,57	28,96
30.11	1070	96,2	132	0,3	0,6	3,4	0	0,3	0,6	26,3	1,3	1,3	0,8	11,02	44,45
31.1	1090	-	-	-	-	10,7	-0,2	0,7	1,3	400	-0,2	0,7	0,8	68,62	68,99
31.2	1230	-	-	-	-	17,8	-0,4	1	2	696	-0,4	1	1,3	158,3	158,3
31.3	1240	-	-	-	-	5,53	0	0,5	0,9	216	0	0,5	0,5	26,69	26,69
31.4	1870	-	-	-	-	10,6	0	0,6	1,4	398	0,1	0,6	0,9	64,72	65,27
31.5	1100	-	-	-	-	10,5	-0,1	0,9	1,4	408	-0,1	0,9	0,9	88,59	88,59
31.6	511	99,5	111	0,9	0,6	2,86	0,4	0,9	0,6	22,2	1,6	1,6	1	33,28	44,5
31.7	439	85,8	101	0,9	0,6	4,96	1,2	2,3	2,7	170	1,3	2,3	1,7	56,35	57,48
32.1	729	-	-	-	-	10,5	-0,3	1,1	1,9	410	-0,3	1,1	1,2	115,36	116,17
32.2	588	60,3	87,9	0,4	0,5	4,06	1,3	2	2,2	148	1,4	2	1,4	38,43	38,93
32.3	796	135	-	-	-	3,5	0,3	0,7	0,8	132	0,4	0,8	0,5	32,93	39,19
32.4	743	-	-	-	-	10,3	-0,2	1,1	1,8	403	-0,2	1,1	1,1	110,79	110,79
32.5	748	-	-	-	-	15	-0,5	1,5	2,5	584	-0,5	1,5	1,6	211,53	214
32.6	1280	-	-	-	-	15,4	0	1,2	2,5	564	0,1	1,2	1,6	195,2	200,19
32.7	1320	-	-	-	-	13	0,1	1,1	2,1	494	0,1	1,1	1,4	145	147,11
32.8	1220	-	-	-	-	5,51	0	0,5	1	215	0	0,5	0,6	27,86	27,86

Tab. 13. Tabulka původní naměřených hodnot tahové zkoušky na zařízení Zwick

	E	Fmax	dL at F m	FBreak	F Break	dL at bre	Nominal st	W to Fm	W to bre
Nr	MPa	MPa	%	Mpa	N	%	%	Nmm	Nmm
1.9+++	1490	8,61	0,5	8,61	336	0,5	0,6	21,42	21,42
1.10	1460	10,1	0,6	9,71	379	0,6	0,7	32,53	33,95
1.11	1530	12,6	0,7	12,6	491	0,7	0,8	43,72	43,72
1.12	1310	13,5	0,7	13,5	527	0,7	0,9	44,38	44,38
1.13	1120	14,6	0,9	14,6	569	0,9	0,9	68,63	68,63
1.14	1330	14,3	0,8	14	546	0,8	0,9	62,49	62,74
1.15	2200	13,3	0,5	13	507	0,5	0,9	35,5	35,73
9.1	1340	16,7	1	16,7	651	1	1	89,81	90,11
9.2	1670	18,3	0,8	18,3	714	0,8	1,1	76,23	76,23
9.3	1380	21,3	1,1	21,3	831	1,1	1,2	122,9	122,9
9.4	1260	16,2	0,9	16,2	632	0,9	1	76,71	76,71
9.5+++	2440	15	0,6	15	585	0,6	1	52,96	52,96
10.1	793	19,5	2,1	17	663	2,9	1,9	268,34	452,2
10.2	959	21,8	2	10,6	413	5,3	2,2	295,5	963,66
10.4	834	21,9	2,5	15,7	612	5,3	2,3	391,16	1040,6
11.1	760	23,7	2,7	20,1	784	4,3	2,4	466,83	909,24
11.2	798	29,2	2,8	28,5	1112	3,3	2,7	566,59	765,35
11.3	686	25,5	3,3	22,1	862	5,3	2,7	618,86	1225,9
11.4	830	28,9	2,6	25,9	1010	3,2	2,6	529,94	737,5
12.1	971	19,2	1,4	19,2	749	1,4	1,5	154,11	154,11
12.2	883	19,4	1,8	18,5	722	2,4	1,5	231,71	362,2
12.3	1610	16,7	1,2	15,9	620	1,2	1,3	126,12	126,71
12.4	840	16,9	1,4	16,5	644	1,4	1,3	135,64	136,24
12.5	853	15,9	1,4	15,1	589	1,4	1,2	124,27	124,82
13.6	1030	20,3	1,3	20,3	792	1,3	1,5	146,32	146,32
13.1++	1030	13,5	0,9	13,1	511	0,9	1	61,66	61,9
13.2	913	23,6	1,9	23,6	920	1,9	1,8	269,72	269,72
13.3	955	16,8	1,1	16,8	655	1,1	1,2	95,34	95,34
13.4	1220	22,5	1,4	22,5	878	1,4	1,6	179,85	179,85



Obr. 20. Graf všech materiálů vycházející ze zkušebního zařízení

8.2.2 Statistické vzorce pro výpočet jednotlivých výsledků

Jedná se o vzorce, které jsou uvedeny v jednotlivých tabulkách a slouží k vyhodnocení zkušebních těles jednotlivých ultrazvukem svařených materiálů.

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n}$$

Aritmetický průměr :

je nejčastějším ukazatelem výběru statistického souboru.

ho souboru.

Směrodatná odchylka :

$$s = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$$

nebo-li míra reprodukovatelnosti

– čím je hodnota menší tím přesnější jsou výsledky seskupené okolo správné hodnoty.

Variační koeficient:

$$V_x = \frac{s}{\bar{x}}$$

je vlastně variační směrodatná odchylka vyjadřující

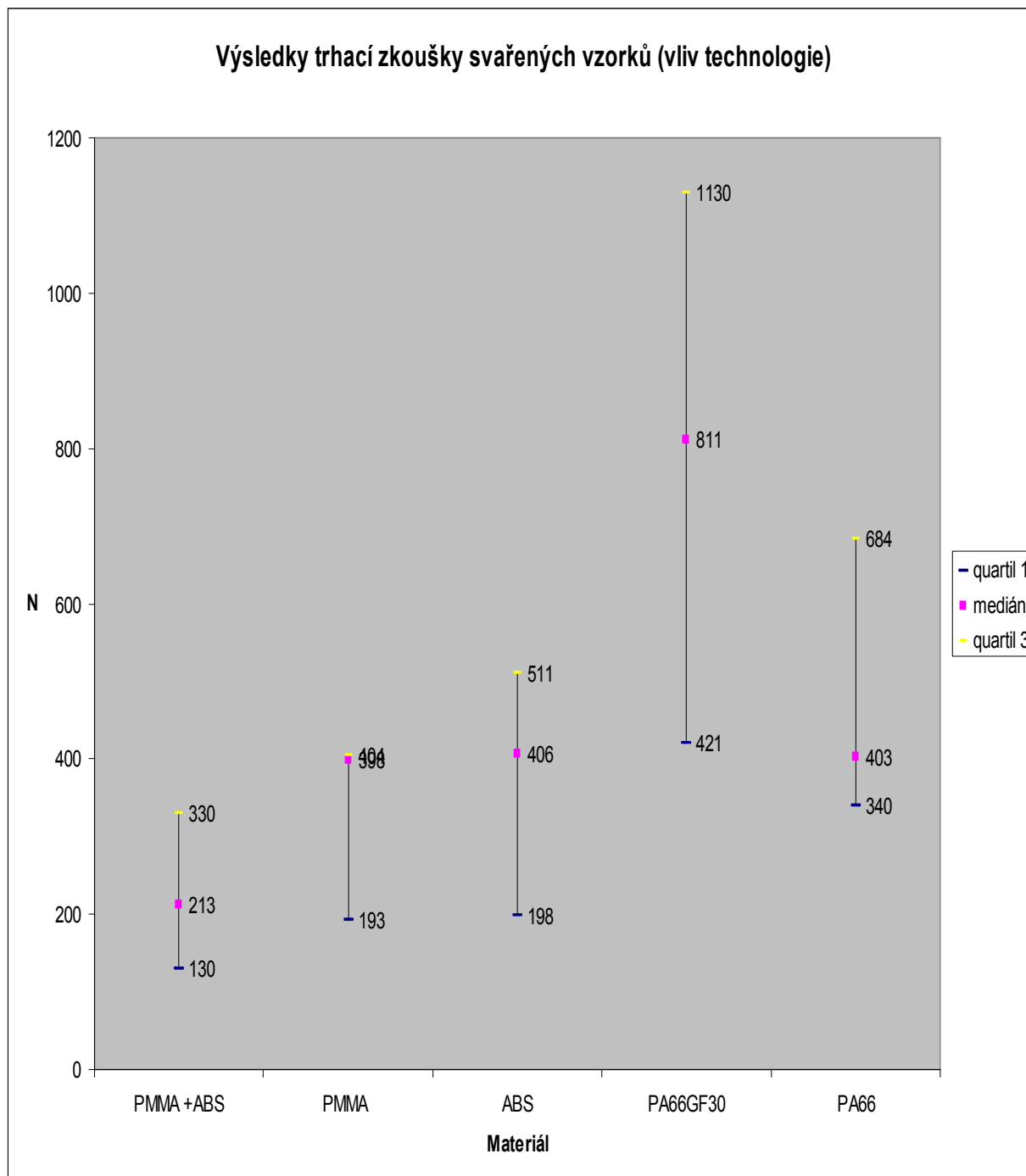
absolutní přesnost výsledků analýz daných souborů. Obě hodnoty směrodatná odchylka i variační koeficient jsou tím přesnější, čím menší je jejich hodnota.

8.3 Výsledky tahových zkoušek

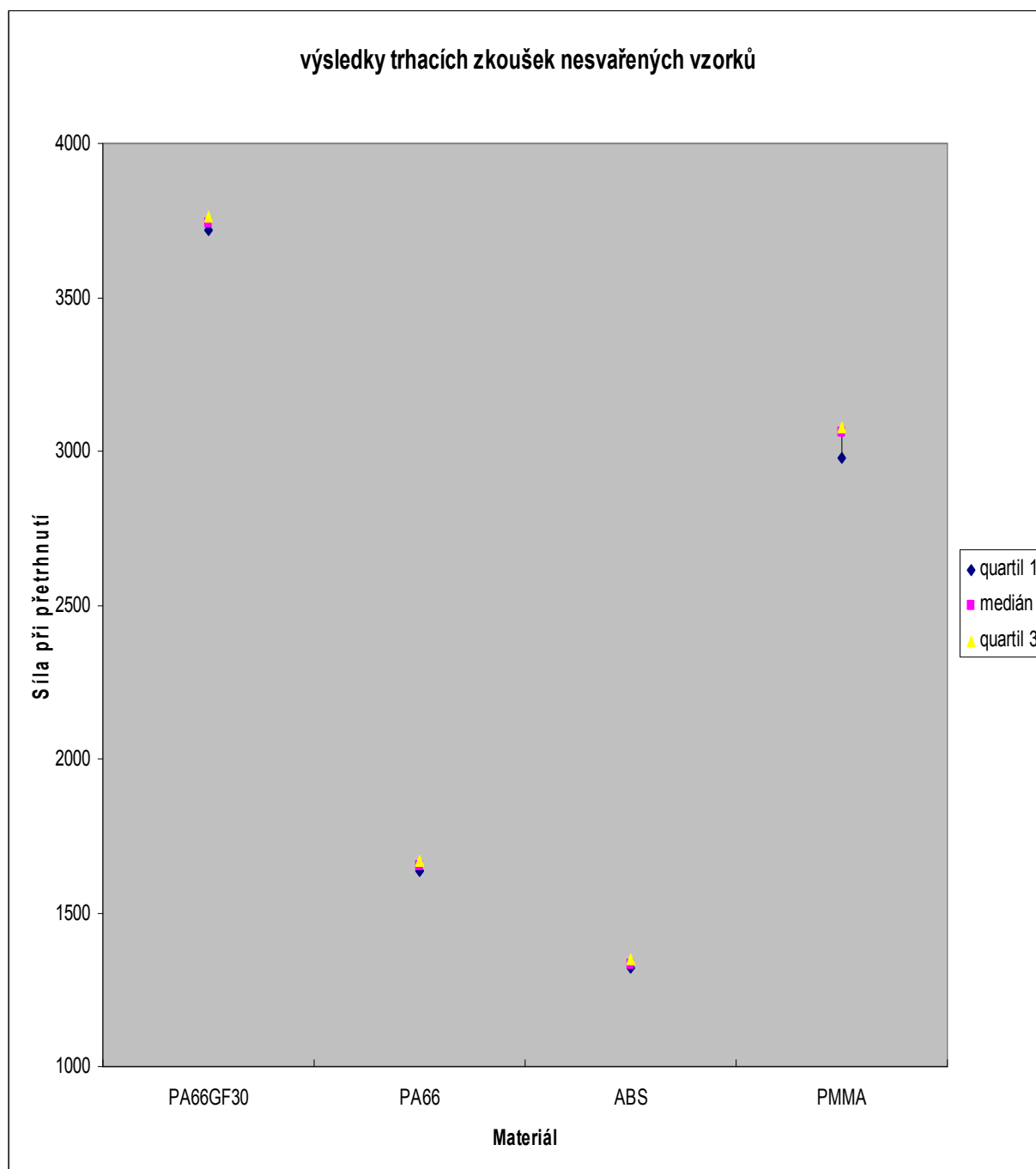
V níže položené tabulce (tab. 14) jsou vypočtené hodnoty síly při přetržení u všech použitých materiálů beze změny geometrie a jejich kombinací s vlivem technologie svařování. Kde: *Variable* – použité materiály; *mean* – aritmetický průměr; *stdev* – směrodatná odchylka; *coefvar* – variační koeficient; *Q3* – třetí kvartil; *Median* – Medián; *Q1* – první kvartil; *IQR* – rozdíl mezi prvním a třetím kvartilem. V obr. 21 a 22 jsou hodnoty vyobrazeny v přehledných grafech.

Tab. 14. Tabulka vypočtených hodnot síly při přetržení vliv technologie svařování

<i>Variable</i>	<i>mean</i>	<i>Stdev</i>	<i>coefvar</i>	<i>Q3</i>	<i>Median</i>	<i>Q1</i>	<i>IQR</i>
PA66GF30	813,33	436,37	0,536	1130	811	421	709
PA66	469	271,53	0,578	684	403	340	344
ABS	368,75	181,83	0,493	511	406	198	313
ABS+PMMA	215,44	133,28	0,618	330	213	130	200
PMMA	330,02	217,14	0,657	404	398	193	211
PA66GF30 bez svaru	3735,7	48,85	0,013	3765	3740	3717	48
PA66 bez svaru	1645	47,87	0,029	1670	1650	1637	33
ABS bez svaru	1337,57	24,62	0,018	1349	1334	1320	29
PMMA bez svaru	3019,2	87,49	0,028	3077	3062	2980	97



Obr.21. Graf síly při přetržení svařených vzorků (vliv technologie)

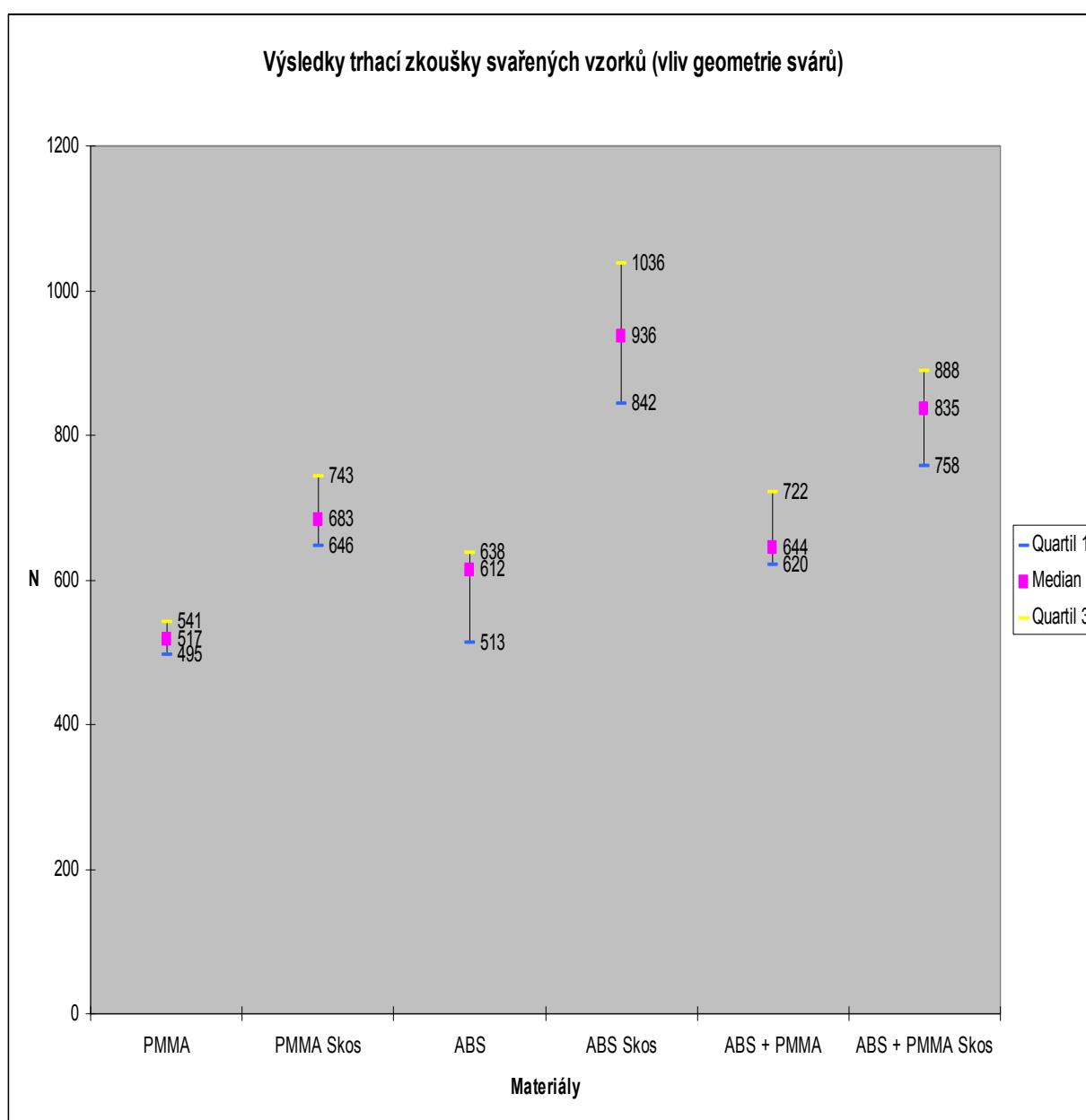


Obr. 22. Graf síly při přetržení nesvařených vzorků

V níže položené tabulce (tab. 15) jsou vypočtené hodnoty síly při přetržení u všech použitých materiálů se změnou geometrie a jejich kombinací. Kde: **Variable** – použitý materiál; **mean** – aritmetický průměr; **stdev** – směrodatná odchylka; **coefvar** – variační koeficient; **Q3** – třetí kvartil; **Median** – Medián; **Q1** – první kvartil; **IQR** – rozdíl mezi prvním a třetím kvartálem. V obr. 23 jsou hodnoty vyobrazeny v přehledném grafu.

Tab. 15. Tabulka vypočtených hodnot síly při přetržení vliv geometrie svařovaných vzorků

<i>Variable</i>	<i>mean</i>	<i>Stdev</i>	<i>coefvar</i>	<i>Q3</i>	<i>Median</i>	<i>Q1</i>	<i>IQR</i>
PMMA	503	67	0.133	541	517	495	46
PMMA Skos	707	90	0.127	743	683	646	97
ABS	563	132	0.234	638	612	513	125
ABS Skos	942	147	0.156	1036	936	842	194
ABS + PMMA	665	68	0.102	722	644	620	102
ABS + PMMA Skos	811	117	0.144	888	835	758	130



Obr. 23. Graf síly při přetržení svařených vzorků vliv geometrie

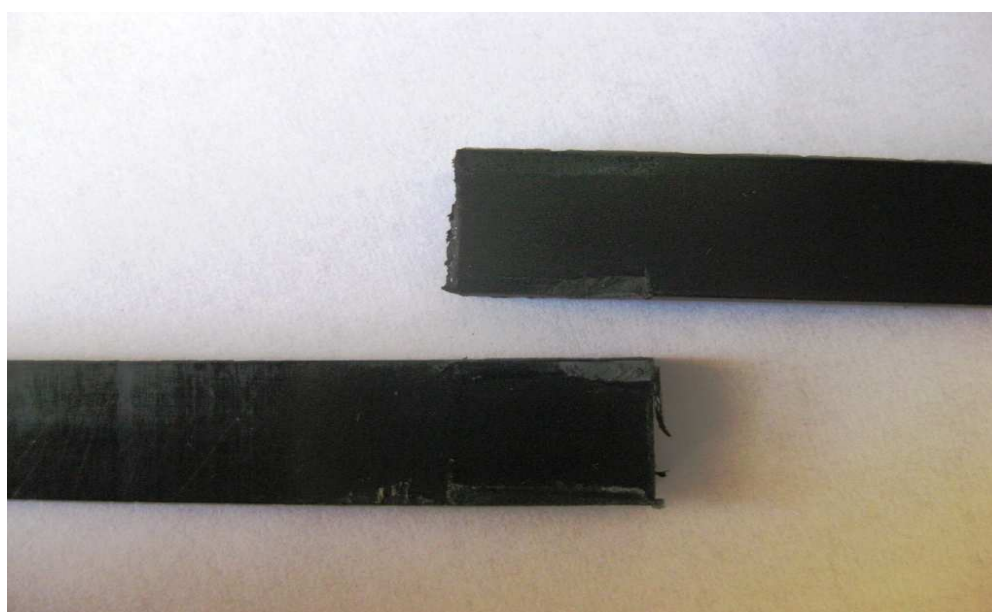
8.4 Vliv parametrů svařování na výsledky trhací zkoušky

Z parametrů ultrazvukového zařízení, které byly vygenerovány pro jednotlivě svařené zkušební vzorky, lze vyčíst, že největším ovlivňujícím faktorem je čas svaření, amplituda a hloubka svařování.

Na příkladech doložených měření (tab.16, 17, 18, 19, 20) a obrázky jednotlivých trhacích zkoušek (obr. 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30) doložíme tvrzení, které bylo řečeno již dříve.



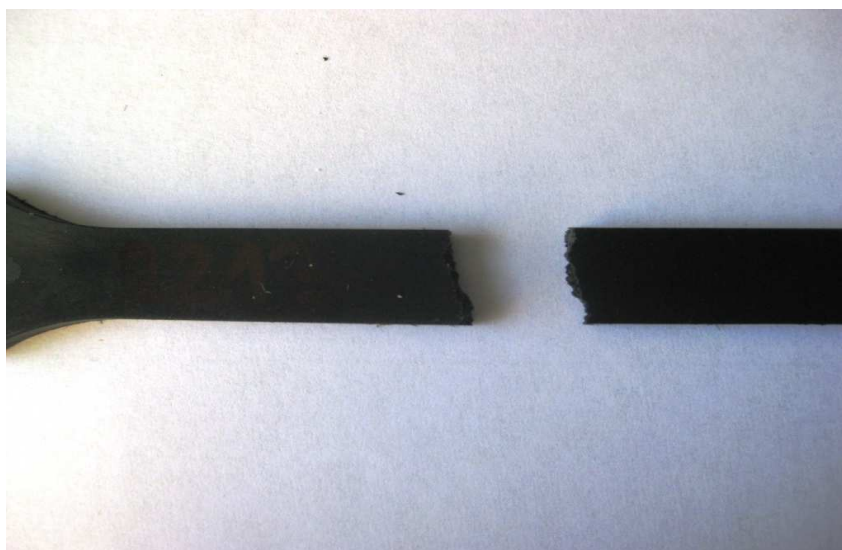
Obr. 24. Přetržený vzorek PA 66, který nebyl svařen



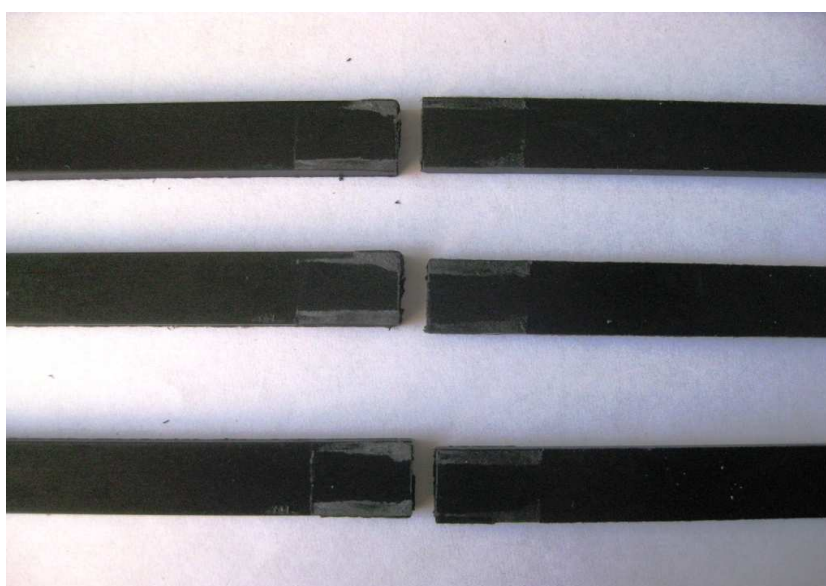
Obr. 25. Přetržený vzorek PA 66, který byl svařen

Tab. 16. Hodnoty svařování PA66 a trhací zkoušky

Díl	Síla přetržení [N]	Čas svaření [s]	Amplituda [%]	svař. Síla [N]	Hlb. svaru [mm]	Výkon [kW]
Svařený	469	0,098-0,106	100	500	0,02	1,6-1,9
Nesvařený	1680	-	-	-	-	-



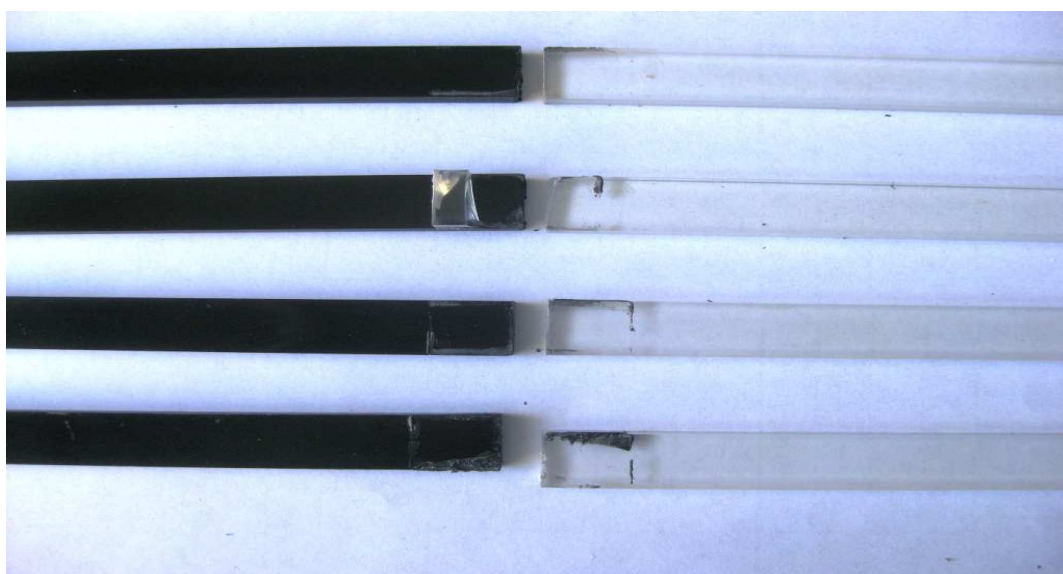
Obr. 26. Přetržený vzorek PA 66 GF30, který nebyl svařen



Obr. 27. Přetržený vzorek PA 66 GF30, který byl svařen

Tab. 17. Hodnoty svařování PA66 GF30 a trhací zkoušky

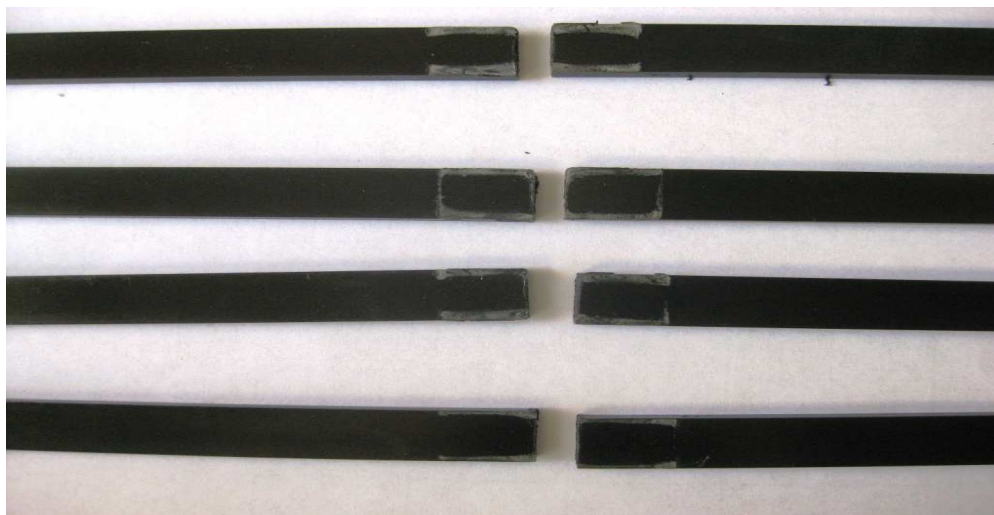
Díl	Síla přetržení [N]	Čas svaření [s]	Amplituda [%]	svař. Síla [N]	Hlb. svaru [mm]	Výkon [kW]
Svařený	813	0,108-0,206	100	500	0,01-0,09	1,1-2,1
Nesvařený	3740	-	-	-	-	-



Obr. 28. Přetržené vzorky ABS + PMMA, které byly svařeny

Tab. 18. Hodnoty svařování ABS + PMMA a trhací zkoušky

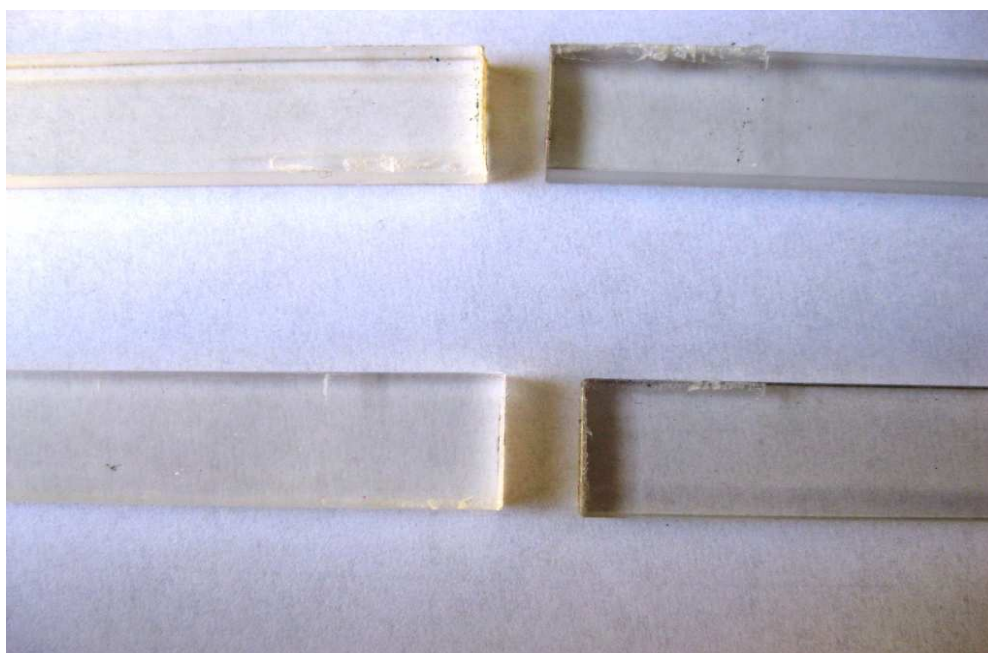
Díl	Síla přetržení [N]	Čas svaření [s]	Amplituda [%]	svař. Síla [N]	Hlb. svaru [mm]	Výkon [kW]
Svařený	215	0,048-0,19	60	200	0,06	0,3-0,6
Nesvařený	-	-	-	-	-	-



Obr. 29. Přetržené vzorky ABS + ABS, které byly svařeny

Tab. 19. Hodnoty svařování ABS + ABS a trhací zkoušky

Díl	Síla přetržení [N]	Čas svaření [s]	Amplituda [%]	svař. Síla [N]	Hlb. svaru [mm]	Výkon [kW]
Svařený	368	0,037-0,11	60	100	0,05-0,09	0,07-0,4
Nesvařený	1337	-	-	-	-	-



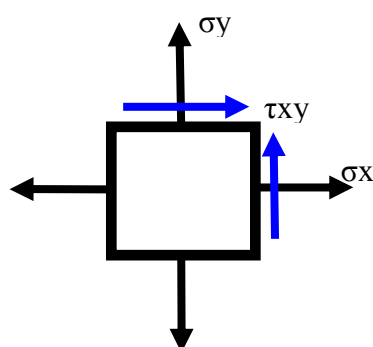
Obr. 30. Přetržené vzorky PMMA + PMMA, které byly svařeny

Tab. 20. Hodnoty svařování PMMA + PMMA a trhací zkoušky

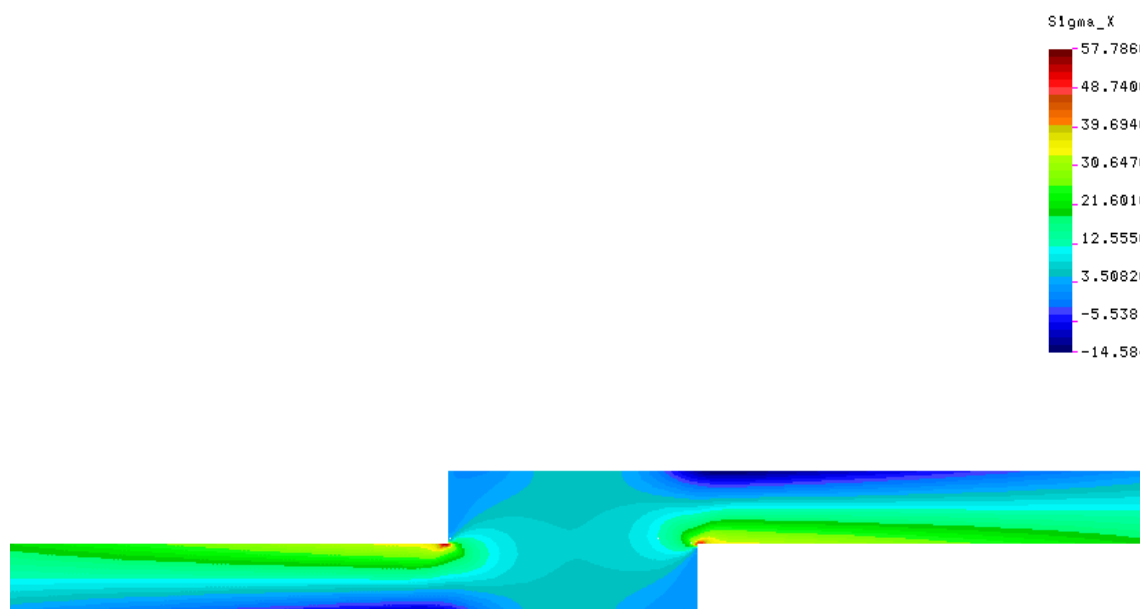
Díl	Síla přetržení [N]	Čas svaření [s]	Amplituda [%]	svař. Síla [N]	Hlb. svaru [mm]	Výkon [kW]
Svařený	330	0,027-0,076	60	300	0,02-0,06	0,06-0,38
Nesvařený	3019	-	-	-	-	-

9 ANALÝZA TRHACÍ ZKOUŠKY POMOCÍ FEM

Tato analýza vychází ze zadaných parametru trhací zkoušky a daného materiálu. Pomocí počítače převede tyto parametry do grafické podoby tak, že můžeme pozorovat, co se děje v dané momenty s kusem, který trháme. Dle dvouosé napjatosti si rozdělíme jednotlivé napětí (obr. 31). V tomto momentu můžeme využít této analýzy k nadimenzování výrobku, na obrázcích jsou vidět napěťové špičky v daných složkách, což jsou vlastně vruby. Pokud je to dobře svařeno, mělo by to praskat právě v těchto vrubech. (obr. 32, 33, 34, 35, 36).



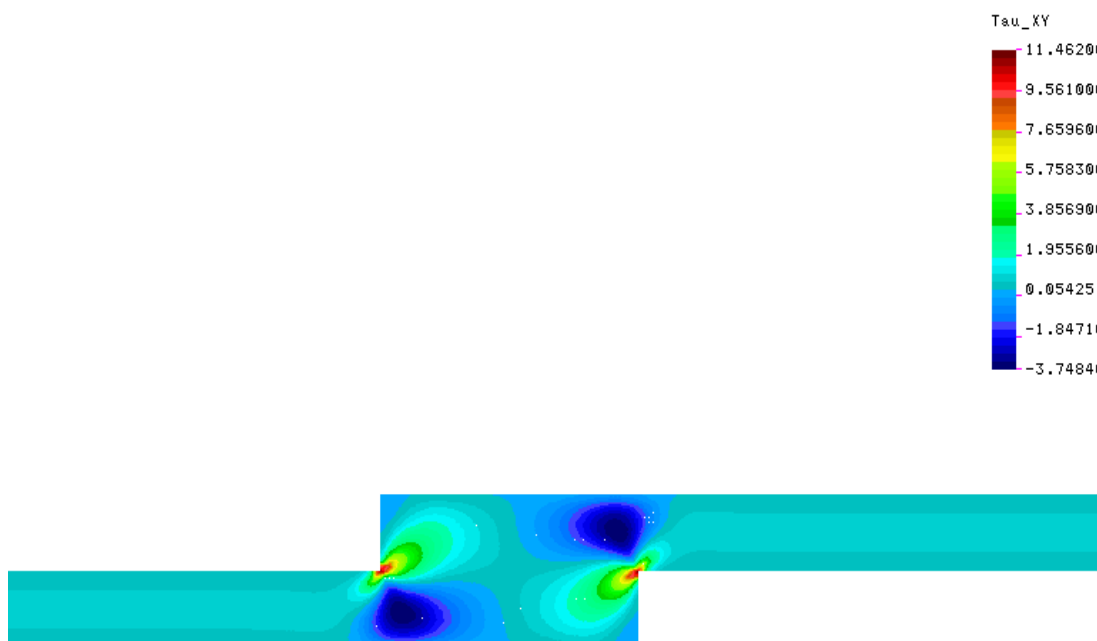
Obr. 31. Dvouosá napjatost-rovinný model 2D



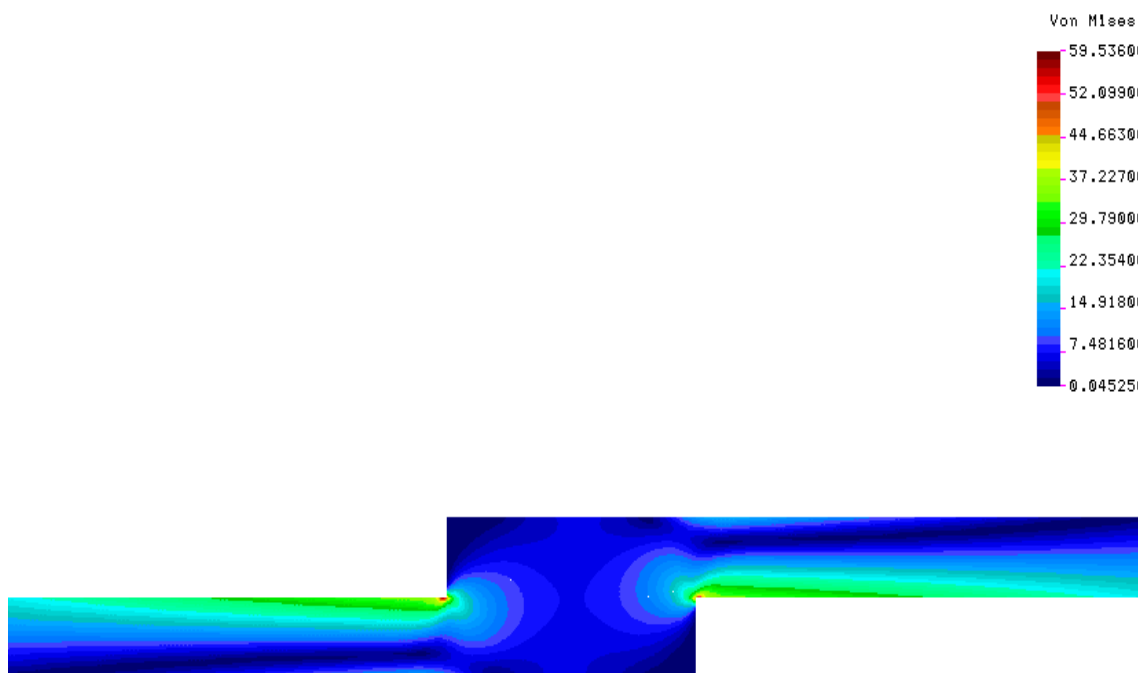
Obr. 32. Podélné napětí v ose x (σ_x)



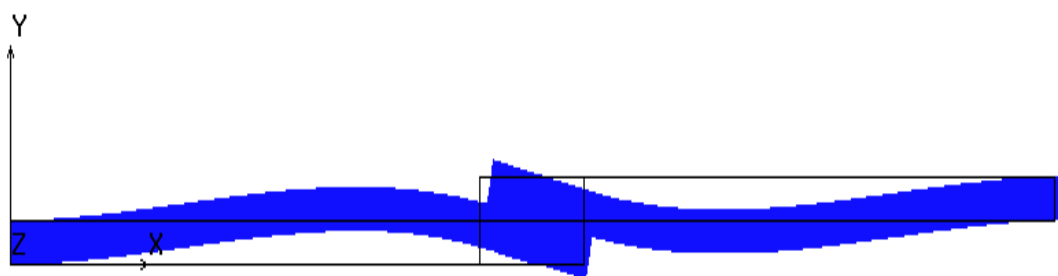
Obr. 33. Příčné napětí v ose y (σ_y)



Obr. 34. Smykové napětí při tahové zkoušce (τ_{xy})



Obr. 35. Von Misesovo srovnávací napětí při zatížení vzorku v tahu



Obr. 36. Grafické znázornění deformací při tahové zkoušce

10 VÝSLEDKY JEDNOTLIVÝCH MĚŘENÍ

Z výsledků jednotlivých měření a grafického vyjádření pomocí grafů můžeme říci, že díly, které byly svařeny, vykazují menší pevnosti než díly, které nebyly děleny a následně svařeny – u všech výsledků. U nesvařených zkušebních těles se projevují výsledky, které ve větší míře odpovídají fyzikálně-chemickým vlastnostem materiálů

Z výsledků síly při přetržení můžeme říci, že ABS je mnohem lépe provařitelný materiál, a to i s kombinací PMMA. Samotná kombinace PMMA + PMMA vykazuje slabší svár. Nejlepší sváry vykazuje PA66 plněn 30-ti % skelných vláken, to ale na úkor zvýšení svářecí síly a amplitudy. U vzorků se změněnou geometrií můžeme říci, že díly se skosem vykazují mnohem větší odolnost než díly, které nemají skos. Nejhorších výsledků dosahovala kombinace PMMA + PMMA.

Obecně můžeme konstatovat, že pro zlepšení výsledku u dvojice PMMA + PMMA bychom museli optimalizovat parametry ultrazvukového svařování – u parametru svařovací síly, amplitudy a času svařování. Toto pravidlo by platilo i pro dvojici ABS + PMMA, kde by bylo vhodnější také použít delší svařovací čas při pozvolnějším nárůstu svařovacího tlaku. U této dvojice by bylo vhodnější použít ultrazvukové svařování ze strany PMMA, jelikož klade větší odpor při svařování, i teplota tavení je vyšší než u ABS.

Na opačnou stranu, pokud bychom stejné parametry, které jsme použili při svařování dvojice PMMA + PMMA, PMMA + ABS, ABS + ABS využili pro polyamidy plněné či neplněné skelnými vlákny, tak zjistíme, že nedojde k žádnému svaření. Polyamidy v tomto případě jsou hůře svařitelné, i když polyamid plněný skelným vláknem přenáší mnohem lépe ultrazvukové vlnění. V tomto případě je úplně jedno, jaké vlastnosti daný materiál má, jelikož na čem nejvíce záleží, je svařovací síla, amplituda a svařovací čas, dodatkovým parametrem při svařování je hloubka svařených ploch.

Závěrem můžeme říci, že výsledek našeho snažení dokázat závislost jednotlivých nastavení ultrazvukového svařování a rozdílností geometrie vstupních svařovaných materiálů je závislý na parametrech, které tak velmi ovlivňují výsledky trhacích zkoušek. Při velmi malých změnách parametrů ultrazvukového svařování dostaneme velmi rozdílné výsledky. To vše při velmi krátkém čase, což umožňuje zvýšit produkci, či uvažovat o automatizaci ultrazvukového svařování pro menší a středně velké díly.

ZÁVĚR

Cílem diplomové práce mělo být ověření vlivu geometrie dílu a technologie ultrazvukového svařování na pevnost svaru při tahu. Vzorky pro trhací zkoušku byly svařeny na ultrazvukové svářečce firmy Herrmann Ultraschalltechnik. Tyto vzorky byly vyrobeny na vstřikovacím stroji a nařezány na laserovacím řezacím plotru v univerzitních dílnách. Pro materiály vzorku byly použity polymerní termoplasty, které se nejvíce používají v průmyslových aplikacích (ABS, PMMA, PA66, PA66 GF30).

Při ultrazvukovém svařování hrály největší roli tři základní parametry: čas svařování, použitá amplituda a síla při svařování. Sekundárním parametrem potom byly: hloubka svařování a celkový výkon svařovací soustavy. Čas svařování byl nejdůležitějším parametrem, a to pro celkovou sílu svaru. Při použití delšího času, došlo k hlubšímu provaření svařovaných materiálů, což se projevilo při trhací zkoušce negativním výsledkem. Trhaný vzorek se zlomil mimo svařovanou plochu, což bylo nepřijatelné. Proto byly stanoveny minimální časy, při kterých došlo ke svaření a zároveň trhací zkouška vycházela přetrhnutím ve svaru. Tím se potvrdila závislost technologie ultrazvukového svařování na výsledky trhací zkoušky. Velkým ovlivňujícím faktorem je geometrie zvolených polymerních materiálů a jejich vzájemné kombinace. U jednotlivých výsledků sledujeme, že polymerní materiály, které neobsahují aditiva (skelná vlákna), mají menší pevnost ve svaru. Výhodou těchto materiálů je použití nejnižších parametrů ultrazvukového svaření. Polymerní materiály obsahující aditiva (skelná vlákna) jsou hůře svařitelné, ale vykazují větší pevnost ve svaru.

Ze závěrů diplomové práce lze říci, že při zvolení vhodných geometrií dílů a jednotlivých parametrů ultrazvukového svařování, dostaneme rozdílné výsledky, které lze jednoduše aplikovat v rozličných průmyslových odvětvích. Výsledky mohou být použity pro lepší pochopení, co se děje při ultrazvukovém svařování.

Pokud bychom byli postaveni před otázku návrhu zkoušky ultrazvukového svařování, tak se trhací zkouška jeví jako velmi vypovídající o stabilitě a povaze pevnosti svaru. Tyto výsledky se dají měnit změnou parametru svařování. Výsledky se dají prezentovat nejen u zákazníka svařovaného produktu, ale mohou sloužit pro ověření stability procesu a řešení případných reklamací.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Sýkorová Libuše: *Úvod do nekonvenčních technologií přednáška*, UTB FT Zlín, 2011,
- [2] DUCHÁČEK, V.: *Polymery - výroba, vlastnosti, zpracování, použití*, VŠCHT, Praha, 2006. 280s. ISBN 80-7080-617-6
- [3] Kompozity Brno a.s.: *Kurz optimalizace vstřikování plastů*, Brno, 2007.
- [4] ZÁMORSKÝ, Z.: *Nauka o polymerech II.*, VUT, Brno, 1980. 1.vyd.
- [5] BOBČÍK, L.: *Formy pro zpracování plastů – vstřikování termoplastů, 1.díl*, Uniplast, Brno, 1999.
- [6] *Ultrasonic welding* [online].[cit.2012-0505]. Dostupný na WWW:
< http://en.wikipedia.org/wiki/Ultrasonic_welding>
- [7] Technology Day at Herrmann 50th years . : *Training materials for listener.* : Herrmann Ultraschalltechnik. Karlsbad DE. 3.-4.11.2011
- [8] Lisovny nových hmot, s.p. Vrbno pod Pradědem. : *Zpracování plastických hmot.*: Zpracovala Ing. Cihlářová a kol.
- [9] MAŇKOVÁ, I. *Progresívne technológie. Viena Košice*, 2000. ISBN 80-7099-430-4

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

λ	Vlnová délka
F	Frekvence
N	Rychlost šíření
T	Perioda 1/f
PMMA	Polymethylmetakrylát
ABS	Terpolymer akrylonitril-butadien-styrén
L	Celková délka
H	Počáteční vzdálenost čelistí
B	Šířka upínací hlavy
B	Šířka pracovní části
r_1	Poloměr zakřivení
H	Tloušťka
T_c	Teplota formy
F at Break	Síla při přetržení
P_{dot}	Dotlak
t_{dot}	Čas dotlaku
ΔL at Break	Prodloužení při přetržení
W at Break	Práce při přetržení
E	Modul pružnosti v tahu
\bar{x}	Aritmetický průměr
S	Směrodatná odchylka
V_x	Variační koeficient

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Klasifikace nekonvenčních technologií [1]	14
<i>Obr. 2. Ultrazvukové obrábění</i>	<i>15</i>
<i>Obr. 3. Přírůžka zvukového vlnění</i>	<i>16</i>
<i>Obr. 4. Tabulka vlnových délek a frekvencí známých elektromagnetických záření s vyznačenou oblastí ultrazvuku</i>	<i>17</i>
<i>Obr. 5. Grafické vyjádření amplitudy, 1- amplituda, 2- max a min amplituda, 3- střední hodnota čtverce amplitudy, 4- časový úsek</i>	<i>19</i>
<i>Obr. 6. Systém ultrazvukového svaření</i>	<i>21</i>
<i>Obr. 7. Příklad ultrazvukového svaření pro automobilový průmysl</i>	<i>22</i>
<i>Obr. 8. Schéma rozdělení polymerů</i>	<i>24</i>
<i>Obr.9. Celkový pohled na ultrazvukovou svářečku</i>	<i>30</i>
<i>Obr.10. Generátor s řídicí jednotkou</i>	<i>31</i>
<i>Obr.11. Konvertor a jeho funkce</i>	<i>32</i>
<i>Obr.12. Booster a jeho funkce</i>	<i>32</i>
<i>Obr.13. tabulka použitých materiálů</i>	<i>33</i>
<i>Obr. 14. Jednoúčelová ultrazvuková svářečka</i>	<i>34</i>
<i>Obr.15. Základní tvar zkušebních vzorků</i>	<i>35</i>
<i>Obr. 16. Foto parametrů svařování</i>	<i>39</i>
<i>Obr. 17. Detail svařování zkušebních těles</i>	<i>40</i>
<i>Obr. 18. Zkušební zařízení Zwick</i>	<i>41</i>
<i>Obr. 19. Detaily trhacího zařízení při trhání</i>	<i>42</i>
<i>Obr. 20. Graf všech materiálů vycházející ze zkušebního zařízení</i>	<i>46</i>
<i>Obr.21. Graf síly při přetržení svařených vzorků (vliv technologie)</i>	<i>48</i>
<i>Obr. 22. Graf síly při přetržení nesvařených vzorků</i>	<i>49</i>
<i>Obr. 23. Graf síly při přetržení svařených vzorků vliv geometrie</i>	<i>50</i>
<i>Obr. 24. Přetržený vzorek PA 66, který nebyl svařen</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 25. Přetržený vzorek PA 66, který byl svařen</i>	<i>51</i>
<i>Obr. 26. Přetržený vzorek PA 66 GF30, který nebyl svařen</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 27. Přetržený vzorek PA 66 GF30, který byl svařen</i>	<i>52</i>
<i>Obr. 28. Přetržené vzorky ABS + PMMA, které byly svařeny</i>	<i>53</i>

<i>Obr. 29. Přetržené vzorky ABS + ABS, které byly svařeny.....</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 30. Přetržené vzorky PMMA + PMMA, které byly svařeny</i>	<i>54</i>
<i>Obr. 31. Dvouosá napjatost-rovinný model 2D.....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 32. Podélné napětí v ose x (σ_x).....</i>	<i>56</i>
<i>Obr. 33. Příčné napětí v ose y (σ_y)</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 34. Smykové napětí při tahové zkoušce (τ_{xy}).....</i>	<i>57</i>
<i>Obr. 35. Von Misesovo srovnávací napětí při zatížení vzorku v tahu.....</i>	<i>58</i>
<i>Obr. 36. Grafické znázornění deformací při tahové zkoušce.....</i>	<i>58</i>

SEZNAM TABULEK

<i>Tab. 1. Jednotlivá nastavení pro běžně svařované materiály</i>	20
<i>Tab. 2. Příklady účinnosti měniče</i>	20
<i>Tab. 3. Fyzikálně-mechanické charakteristiky PMMA</i>	25
<i>Tab. 4. Fyzikálně-mechanické charakteristiky ABS</i>	26
<i>Tab. 5. Fyzikálně-mechanické charakteristiky PA66; PA66-GF30</i>	27
<i>Tab. 6. Tabulka základních rozměrů zkušebních vzorků</i>	35
<i>Tab. 7. Tabulka základních parametrů vstřikovacího stroje</i>	36
<i>Tab. 8. Tabulka parametrů vstřikovacího procesu</i>	36
<i>Tab. 9. Tabulka parametrů laserového zařízení</i>	37
<i>Tab. 10. Výsledky ultrazvukového svařování</i>	38
<i>Tab. 11. Technické parametry zkušebního zařízení Zwick</i>	43
<i>Tab. 12. Tabulka původní naměřených hodnot tahové zkoušky na zařízení Zwick</i>	44
<i>Tab. 13. Tabulka původní naměřených hodnot tahové zkoušky na zařízení Zwick</i>	45
<i>Tab. 14. Tabulka vypočtených hodnot síly při přetržení vliv technologie svařování</i>	47
<i>Tab. 15. Tabulka vypočtených hodnot síly při přetržení vliv geometrie svařovaných vzorků</i>	50
<i>Tab. 16. Hodnoty svařování PA66 a trhací zkoušky</i>	52
<i>Tab. 17. Hodnoty svařování PA66 GF30 a trhací zkoušky</i>	53
<i>Tab. 18. Hodnoty svařování ABS + PMMA a trhací zkoušky</i>	53
<i>Tab. 19. Hodnoty svařování ABS + ABS a trhací zkoušky</i>	54
<i>Tab. 20. Hodnoty svařování PMMA + PMMA a trhací zkoušky</i>	55

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Název přílohy