

## POZNATKY O ZVÁRANÍ PLASTOV ULTRAZVUKOM A JEHO VYUŽITIE V PRAXI

**Ing. Lýdia Sobotová, PhD.**

Technická univerzita v Košiciach  
Strojnícka fakulta  
Katedra technológií a materiálov  
E- mail : Lydia.Sobotova@tuke.sk

### Abstract

Využívanie ultrazvukovej energie zaznamenalo za posledné štvrtstoročie veľmi prudký rozvoj. Postupne boli poznávané špecifické vlastnosti a účinky ultrazvukovej energie. S rozvojom elektroniky, výpočtovej techniky a nových materiálov dochádzalo a stále dochádza k nájdeniu nových, účinných a praktických možností využitia ultrazvuku. K dnes už jedným spôsobom využitia ultrazvuku patrí aj zváranie ultrazvukom a jeho využitie v automobilovom priemysle.

**Kľúčové slová:** ultrazvukové zváranie, parametre ultrazvukového zvárania, polypropylén

### Úvod

Ultrazvukové zváranie je jedna z najstarších aplikačných oblastí, kde sa začala priemyselne využívať ultrazvuková energia vyšších výkonov. Je rozšírené najmä vďaka výhodným aplikáciám v oblasti spájania plastických hmôt.

Zváranie ultrazvukom v priemyselnej praxi zvýraznilo vynikajúce vlastnosti termoplastov, ktoré sú dnes už jedným z najviac využívaných materiálov. Zváranie vytlačilo predtým používané spôsoby spájania ako napr. nitovanie, lepenie.

Príspevok sa zaoberá možnosťami využitia plastov pri výrobe automobilových komponentov technológiou ultrazvukového zvárania. Prezentuje využitie nových materiálov a ich kombinácií v automobilovom priemysle v spolupráci s firmou EMERSON a.s., divízia BRANSON, Nové Mesto nad Váhom.

### Zváranie plastických hmôt

Plastické hmoty, ktoré možno spájať zváraním, tvoria veľkú skupinu termoplastov, ktoré možno zmäkčiť teplom alebo za tepla valcovať, ktoré po vychladnutí zachovávajú svoj nadobudnutý geometrický tvar. Sú to látky vyrobené na báze polystyrénu, polyvinylchloridu a polyvinylacetátu, ako aj skupina celulóзовých živíc. Zváranie plastických hmôt je v podstate napodobenie zvárania kovov a ich zliatin, pri ktorom tepelným zdrojom zmäkčíme spájané zvarové plochy [1].

Najpoužívanejšie technológie zvárania plastov sú:

- Zváranie horúcim plynom s použitím prídavného materiálu,
- Zváranie pomocou horúceho plynu a prídavného materiálu s použitím rýchlozváracej dýzy,
- Zváranie pomocou zvaracieho zrkadla, resp. zvaracej lišty – tzv. zváranie na tupo,
- Zváranie ohraňovaním,
- Zváranie nataveným profilom,
- Zváranie polyfúziou,
- Zváranie elektrofúziou,
- Extrúderové zváranie,
- Vysokofrekvenčné zváranie,
- Zváranie ultrazvukom,
- Naváranie tepelným impulzom,
- Zváranie trením,
- Kombinované zváranie.

Podstata všetkých spôsobov zvárania plastov je rovnaká a je daná požiadavkou dosiahnuť v mieste spojenia, voľbou vhodnej teploty a technológie, kvalitný zvarový spoj. Odlišnosť je len v spôsobe privádzania tepla. Teplo k vytvoreniu zvarového spoja môžeme privádzať od povrchu alebo od stredu spoja. [2]

### Ultrazvuk

Ultrazvuk možno zdeliť do oblastí akustiky a patrí mu celý frekvenčný rozsah kmitov nad počuteľnosťou ľudského ucha. V ultrazvukovej technike sa táto hranica stanovila približne 20 kHz. Účinky ultrazvukovej energie pri jej šírení v sledovanom prostredí závisia od :

- intenzity, resp. amplitúdy výchylky,
- frekvencie kmitov,
- vlastností tohto prostredia.

Na základe ich konkrétnych hodnôt, ktorými sa vyjadruje veľkosť intenzity ultrazvuku, delíme ultrazvukovú energiu na:

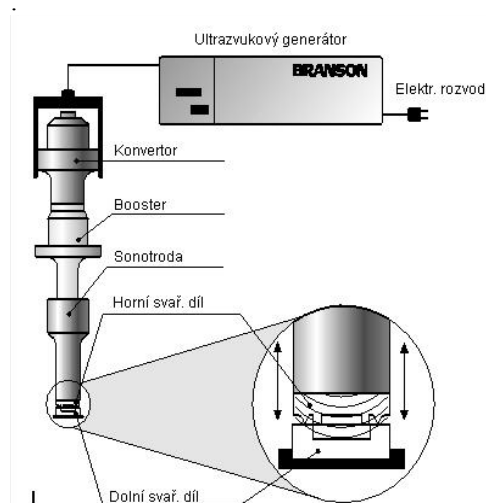
- pasívnu (ultrazvuk malých amplitúd),
- aktívnu (ultrazvuk veľkých amplitúd) [3].

### Zváranie plastov ultrazvukom

Zváranie plastov ultrazvukom možno zaradiť k novším technológiám pri spájaní plastických látok. Princíp zvárania je podobný zváraní kovových materiálov ultrazvukom.

Ultrazvukové zváranie je moderné a rýchlo sa rozširujúci spôsob spájania termoplastových súčiastok. Je výhodné pre spájanie rozmerných častí preplatovaním, pre spoje v tvare T a pre priváranie prírub k trúbkam.

Podstatou ultrazvukového zvarovania je prenos ultrazvukových kmitov nástrojom nazývaným sonotróda na jednu zo zvarovaných súčiastok. Ultrazvukové kmity s frekvenciou približne 20 kHz sa šíria touto časťou až k miestu styku obidvoch spájaných súčiastok. Tu sa energia kmitov rýchle mení na teplo, polymér sa nataví a pod malým tlakom sonotródy ( 0,2 až 0,3 MPa) sa obidve súčiastky zvaria, obr.1. Zváračacia doba býva kratšia ako 2 sekundy. Štandardný systém ultrazvukového zvarovania firmy Branson je na obr.2 a ukážky sonotród hore uvedenej firmy sú na obr.3.



Obr.1 Schéma ultrazvukového zvarovania [4]



Obr. 2 Štandardný systém zabezpečený generátorom od firmy Branson [4 ]

Pretože pre ultrazvukové spájanie plastov sú potrebné vysoké amplitúdy výchylky, je zaťaženie ultrazvukového nástroja striedavými mechanickými napätiami veľké. Z toho vyplýva, že pre výrobu ultrazvukových nástrojov môžu byť použité len materiály s vysokou medzou únavy pri vysokofrekvenčnom striedavom namáhaní a malou charakteristickou impedanciou. Z dostupných

materiálov týmto požiadavkám najlepšie vyhovuje zliatina titanu, prípadne vysokopevný dural.



Obr.3 Ukážky rôznych sonotród firmy Branson[ 4]

Ku hlavným technologickým parametrom ultrazvukového zvaracieho procesu, ktoré vplyvajú na vytvorenie dokonalého spoja patria:

- zvariteľnosť materiálov,
- veľkosť amplitúdy výchylky zvaracieho nástroja,
- veľkosť akustickej väzby zvaracieho nástroja so zvaranými materiálmi.

Pri ultrazvukovom zvaraní sa používajú nasledujúce parametre: amplitúda výchylky zvaracieho hrotu  $A_o$  (mm), prítláčna sila  $F_p$  (N), frekvencia ultrazvukového vlnenia  $f$  (Hz), zvarací čas  $t$ (s) .

Podľa spôsobu prenosu ultrazvukovej energie do miesta zvaru a tvaru zvaru možno ultrazvukové zvarovanie deliť na:

- bodové,
- švové,
- kruhové,
- tvarové.

Medzi rozhodujúce kritéria určujúce vhodnosť dielcov pre technológiu ultrazvukového spojovania patria :

- materiál spojovaných dielcov ,
- rozmerová veľkosť,
- riešenie deliacej roviny,
- tvar styčných plôch .

Každé ultrazvukové zariadenie pre spájanie plastov umožňuje realizovať tri základné montážne technológie [7 ] :

- zvaranie dielcov z plastov v blízkom poli alebo vo vzdialenom poli ,
- spájanie kovových dielcov s dielcami z plastov zalisovaním,
- spájanie plastov s inými materiálmi nitovaním .

Doterajšie skúsenosti pri technológii ultrazvukového zvarovania do priemyselnej praxe

naznačili, že sa väčšinou jedná o nahradenie doteraz spájaných súčiastok lepením, resp. teplom.

Výhodou ultrazvukového zvárania je jeho rýchlosť, možnosť ručného alebo automatického zvárania podľa sériovosti výroby, veľké možnosti aplikácie (zvarenia, nitovania, vkladania kovových vložiek) a pomerne malá spotreba energie.

Nevýhodou je potreba ultrazvukového zvaracieho prístroja a nutnosť presnej úpravy dotykových plôch pred zváraním [3].

### Materiály vhodné pre ultrazvukové zváranie

Moderné trendy vo vývoji automobilov určujú aj vývoj nových materiálov a technológií ich spracovania. V zásade je možné konštatovať, že ultrazvukom sú zvariteľné (taviteľné) všetky druhy termoplastických materiálov. Ich vhodnosť k ultrazvukovému spájaniu nie je však rovnaká, závisí predovšetkým od štruktúry, mechanických a chemických vlastností, množstva plniva, atď.

Pri zváraní dvoch rôznych druhov plastov je predpokladom vzniku kvalitného spoja približne rovnaký bod tavenia a chemická zlučiteľnosť materiálov.

Uspokojivú odpoveď však môžu poskytnúť len predbežné skúšky zvariteľnosti. Každý termoplastický materiál potrebuje pre natavenie pôsobením ultrazvukovej energie určitú minimálnu hodnotu amplitúdy výchylky výstupnej plochy ultrazvukového nástroja.

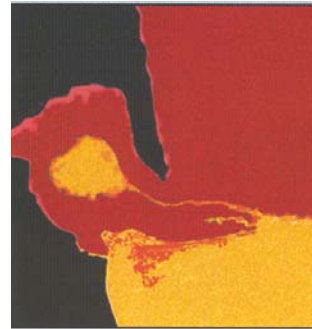
Materiálové charakteristiky niektorých polymérov pre ultrazvukové zváranie sú znázornené v tab.1. V tab.2 je uvedená použiteľnosť rôznych spôsobov zvárania pre jednotlivé typy plastických hmôt .

### Úpravy dotykových plôch zváraných dielcov

Tvar a úprava dotykových plôch zváraných dielcov podstatnou mierou ovplyvňuje kvalitu zvaru plastov.

Najväčší kvalitatívny a kvantitatívny vplyv na proces zvárania majú výstupky (niekedy nazývané aj koncentrátory energie), ktorých objem musí byť natoľko veľký, aby po roztavení pokryli čo najväčšiu styčnú plochu zváraných dielcov, pričom však hmota nesmie vytečť mimo spoj.

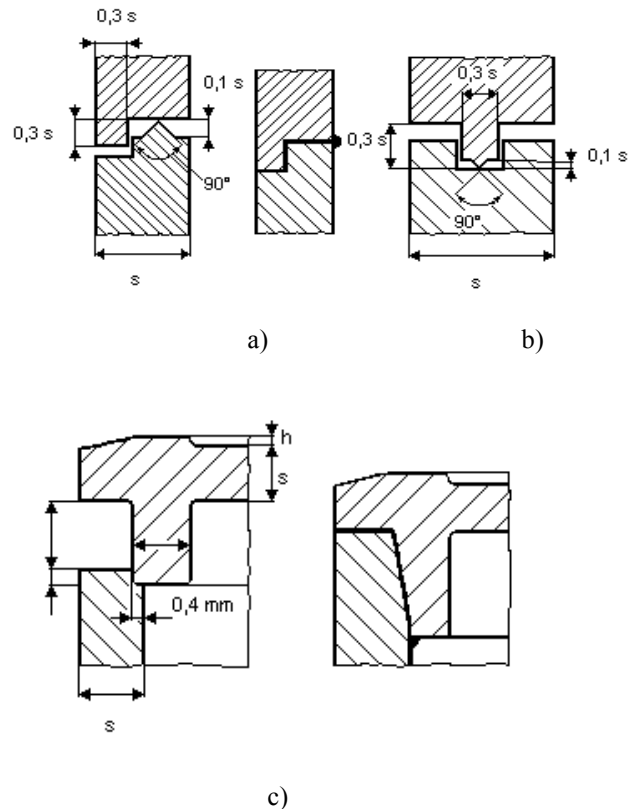
Na obr. 4 je detail zváraného spoja dvoch farebne odlišných termoplastov s vytečením [4].



Obr. 4 Detail zvarového spoja s vytečením[4]

Toto prevedenie umožňuje vyššiu koncentráciu ultrazvukovej energie a vopred určený typ zvaru [6].

Typy úprav dotykových plôch pre zváranie ultrazvukom sú znázornené na obr.5 .



Obr.5 Hlavné typy úprav styčných plôch pre zváranie ultrazvukom [6] :

- hrotový styk s jednoduchým vedením ( pred zváraním a po ňom),
- hrotový styk s dvojitým vedením ,
- strižný styk ( pred zváraním a po ňom).

Výhody ultrazvukového zvarovania :

- možnosť zvarovania veľmi tenkých fólií s hrubými platňami,
- zvarové plochy si nevyžadujú úpravy,
- v priebehu zvarovania sa zvarovaný materiál nezohrieva,
- možnosť zvarovania kovových materiálov s nekovovými,
- potreba malého výkonu,
- nenáročnosť na čistotu zvarových plôch,
- zlepšenie hygieny a bezpečnosti práce,
- zvýšená kvalita spájaných dielcov a dokonalá estetický vzhľad spojov,
- možnosť mechanizácie a automatizácie práce.

Oblasti použitia ultrazvukovej technológie:

- Automobilový priemysel – pri výrobe plastových plavákov, koncových skupinových svetiel, odraziek atď.,
- Elektropriemysel – pri výrobe zástrčiek, krytov elektropřístrojov, audio a videokaziet,
- Spotrebný priemysel – pri výrobe hračiek, kuchynských potrieb atď.,
- Potravinársky priemysel – zvarovanie potravinárskych a kozmetických obalov hygienicky nezávadným spôsobom,
- Plastikársky priemysel – spojovanie rôznych dielcov.

Moderné trendy vo vývoji automobilov určujú aj vývoj nových materiálov, ktoré nahradzujú napr. kovy. Avšak použitiu týchto nových materiálov v praxi predchádza skúšanie a overovanie nových materiálov a ich vlastností.

Automobilový priemysel je veľmi dôležitou časťou v oblasti ultrazvukového zvarovania plastov.

Pomocou ultrazvukového zvarovania je možné spájať nasledovné kombinácie materiálov [4]:

- plast – plast , obr. 6,
- plast – guma , obr.7,
- plast – kov , obr. 8,
- plast – pokovovaný plast.



Obr.6 Kombinácia zvaru plast –plast [4]



Obr. 7 Kombinácia zvaru plast –guma [4]



Obr. 8 Kombinácia zvaru plast-kov [4]

Celkový podiel plastov v automobiloch v uplynulých rokoch trvale vzrastal a už prekonal dvadsaťpercentnú hranicu. Výhodou použitia plastov je napr. v optimalizácii pasívnej bezpečnosti, zníženia hmotnosti a tým i spotreby paliva, protikorózneho ochrane, recyklácii plastov a znížením cien komponentov. Tieto priority automobilového priemyslu budú neustále aktuálne a zaručujú tak sľubnú budúcnosť technológiám zvarovania plastov.

Plastové súčiastky nájdete pod kapotou, v prístrojovej doske, vo vnútri vozidla, na karosérii a na najrôznejších ostatných prvkoch.

Niektoré príklady automobilových komponentov vyrobených ultrazvukovým zvarovaním sú znázornené na obr. 9.



Obr. 9 Automobilové komponenty vyrábané ultrazvukovým zvarovaním [4]

Ultrazvukové zalisovanie patrí medzi ultrazvukové technológie, ktoré nie sú veľmi známe, ale na druhej strane je to v niektorých prípadoch veľmi užitočná technológia. Ak potrebujeme napríklad vytvoriť v plastovom výlisku rozoberateľný spoj skrutka – matica, je to priam ideálna technológia. Do pripraveného otvoru, ktorý spĺňa určité rozmerové požiadavky sa pomocou kmitajúceho čela ultrazvukového nástroja zatlačí matica. Na rozhraní plastu a kovového dielu vzniká teplo vytvorené veľmi vysokým počtom mikroúderov (20 000 až 40 000 za sekundu). V okolí zatláčaného dielu sa plast roztavuje, čím je možné ľahké zatlačenie tohto dielu. Plastifikovaná hmota sa pri zatlačaní dostáva do kotviacich výstupkov na dielci a po vychladnutí vytvorí veľmi pevný spoj. Podobným spôsobom je vyrobený biely komponent na obr. 10.



Obr. 10 Príklad kombinácie plast- kov, biely komponent [4]

Zvárané plasty v automobiloch nájdete v motorovom priestore (napr. kryt hlavy valcov, menšie nádržky, sacie potrubie, tepelný výmenník či vzduchový filter), obr. 11.

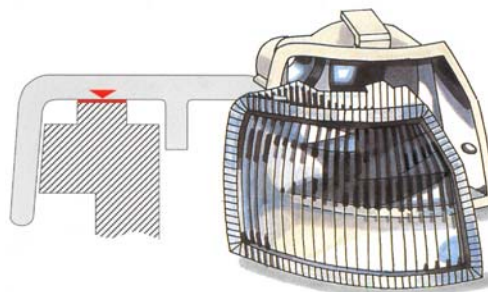


Obr.11 Komponenty v motorovom priestore automobilu [4]

Ďalšie použitie je v oblasti prístrojovej dosky (napr. kryt výstupu vzduchu, teleso prístrojov, veko odkladacej schránky, obr.10, vedenie vzduchu či púzdra reproduktorov), v interiéri vozidla (obklady dverí, opierky hlavy, stredová konzola, poťahy sedadiel, slnečné clony, vnútorné spätné zrkadlo či spínače a ovládacie

prvky) a na karosérii či v rôznych konštrukčných prvkoch (napr. palivová nádrž, kapota/ dvere batožinového priestoru, zadné svetlomety, kryty kolies, nárazníky či mriežka chladiča).

Na obr. 12 je detail spoja automobilovej smerovky smerovky vyrobenej ultrazvukovým zvaráním.



Obr. 12 Detail spoja automobilovej smerovky vytvoreného ultrazvukovým zvaráním [4]

### Záver

Cieľom príspevku bolo poukázať na možnosti využívania plastov spájaných ultrazvukovým zvaráním v automobilovom priemysle.

Vďaka technike ultrazvukového zvarania, ktoré sa neustále zdokonaľuje, vznikajú nové postupy a možnosti spájania kombinácií rôznych materiálov, ktoré vytvárajú pevný, nerozoberateľný spoj. Prednosti využitia ultrazvuku môžeme záverom zhrnúť:

- Extrémne krátke procesné časy,
- Bez teplotného ovplyvnenia náplne,
- Prípadné znečistenie produktom nenarušuje kvalitu utesnenia,
- Nie sú potrebné prídavné materiály - príspevok k ochrane životného prostredia,
- Stabilná kvalita zvaru vďaka plne digitalizovanému generátorom,
- Systémové riadenie bez omeškania,
- Uživatelsky orientovaná podpora programového vybavení,
- Prispôsobenie sa najrôznejším zvaracím úkonom prostredníctvom programového vybavenia.

### Literatúra

- [1] ČABELKA, J. a kol.: *Mechanická technológia*. Bratislava: SAV, 1967.
- [2] NEMCOVÁ, A. - KHANDL, F.: *Spájanie plastov*. 2. vyd. Bratislava: WELDTECH, 1996. ISBN 80-88734-18-5.
- [3] ŠVEHLA, Š. - FIGURA, Z.: *Ultrazvuk v technológii*. 1. vyd. Bratislava: ALFA/SNTL, 1984.
- [4] <http://www.bransoneurope.de>

- [5] HIDVÉGHY, J. – DUSZA, J.: Nekovové konštrukčné materiály. Košice : Technická univerzita. Strojnícka fakulta, 1998.
- [6] KOLOUCH, J.: *Strojní součásti z plastů*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1981.
- [7] [http://www.slovanet.sk/hanuz/welcome\\_s.htm](http://www.slovanet.sk/hanuz/welcome_s.htm)

Tento príspevok vznikol ako súčasť riešenia grantovej úlohy VEGA č. 1/ 2202/ 05.

Tab. 1 Materiálové charakteristiky niektorých polymérov pre ultrazvukové zváranie [8]

Polymer	T / K	f	$\Theta \cdot 10^2$ pri 293 K	$\Psi_2$ pre $p/p_k =$			
				0	0,1	0,5	1
Polystyren	383	0,45	2,576	0,989	1,181	1,988	5,970
polykarbonát	423	0,27	3,140	3,700	4,402	7,349	19,250
Polymethyl - methakrylát	383	0,50	12,000	0,537	0,599	0,806	1,190
polyvinylchlorid	353	0,45	17,150	0,341	0,380	0,478	0,693
polypropylen	433	0,37	21,990	11,236	12,287	15,339	19,810
polyamid 66	533	0,46	4,021	23,429	26,694	38,021	63,336

T - teplota zmäknutia ( zvárania ), p- statický tlak na zvárané diely ( $N \cdot m^{-2}$ ),  $p_k$  – kritická hodnota statického tlaku, kedy ustáva sklz medzi dielmi ( $N \cdot m^{-2}$ ), f – koeficient trenia

Tab. 2 Použitelnosť rôznych spôsobov zvárania pre jednotlivé typy plastických hmôt [4]

PLASTICKÁ HMOTA	ZVÁRANIE				
	TEPELNÝMI SPÔSOBAMI			MECHANICKÝMI SPÔSOBAMI	
	HORÚCIM PLYNOM	TOPNÝM TELESOM	TOPNÝM DRÔTOM	TRENÍM	ULTRAZVUKOM
Polyamidy *)	+	+		+	+
Akrylové plastické hmoty (Polymetylmetakrylát)	+	+	-	+	+
Polystyrén	+	+		+	+
Polyetylén	+	+	+	+	+
Polypropylén	+	+	+	+	+
Polyvinylchlorid	+	+	-	+	+
Estery celulózy	-	+			

Pozn.: + možný spôsob zvárania  
- nemožné zvárať