

Transmisní svařování plastů: doporučení pro konstruktéry a technology

Technicky a ekonomicky úspěšná výroba svařovaných plastových dílů vyžaduje věnovat pozornost mnoha technickým aspektům již od samotného počátku jejich konstruování. Tento článek se bude věnovat výběru vhodných materiálů, konstrukci výlisků, popisu technologie svařování a výstupní kontrole. Problematika svařování plastů ovšem není jednoduchá a v jednom článku ji nelze kompletně popsat. Je proto vhodné obrátit se na profesionály – např. z firmy Panasonic, kteří se svařováním plastů dlouhodobě zabývají. Firma Panasonic dodává širokou škálu potřebné techniky a poskytuje i školení a konzultační služby.

Při transmisním (propustném) svařování prochází paprsek laseru prvním materiálem – ten tedy musí být pro laserové světlo propustný – a dopadá na povrch absorbujícího materiálu. Zde se materiál absorpcí záření ohřívá

roztavení, je-li příliš vysoká, materiál se spálí. V obou případech svar nedosahuje požadované pevnosti.

Výběr materiálů

Základem úspěchu při svařování plastů je správný výběr materiálů. Obecně lze říci, že pro transmisní laserové svařování jsou vhodné téměř všechny termoplasty (i některé reaktoplasty), včetně termoplastických elastomerů. Svařovat lze dvojice plastů se stejnými nebo podobnými chemickými vlastnostmi. Materiál, který je pro laser průsvitný, by měl mít součinitel propustnosti minimálně 15 až 20 %, včetně přidaných barviv, vyztužujících vláken apod. Přehled vhodných kombinací je v *tab. 1*. Tabulka slouží jen pro orientaci, firma Panasonic nabízí ve své laboratoři detailní testy svařování materiálů: měření propustnosti při 1070 nm, zkoušky meze pevnosti v tahu, destruktivní zkoušky těsnosti při tlakovém rázu do 6 MPa, analýzu trhlin nebo mikroskopickou analýzu řezů svarem. Testovat je též možné laserové značení výrobků.



Obr. 1. Příklad dílů vhodných ke svařování

a taví (plastifikuje). Přenosem tepla se zahřívá i první materiál a obě taveniny se vzájemně mísí. Při svařování musí být obě části pevně stlačeny k sobě, protože při opětovném tuhnutí a krystalizaci je tak materiál vtačován do místa svaru a vzniká pevný spoj.

Laserová hlavice může být nesena např. robotem a postupně objíždět tvar svaru. To je velmi flexibilní, lze tak svařovat i rozměrné díly, ale tepelné namáhání je větší než u simultánního svařování, kdy je světlo laseru rozvedeno opticky na celou plochu svaru najednou (používá se několik laserových diod a odstínění maskou). Často používaným kompromisním postupem je kvazisimultánní svařování. Hlavice laseru je pevná, ale paprsek je vychylován opticky. Může se tedy po obvodu svaru pohybovat výrazně rychleji než u obvodového svařování (až 10 m/s) a během svařování projede paprsek obvod svaru několikrát. Svařenec je tak méně náchylný k deformaci při chladnutí taveniny.

Teplotu svaru je třeba přesně regulovat. Je-li příliš nízká, nedochází k dokonalému

U transparentní části je třeba myslet na to, aby v prostoru svařování nebyly zbytky po ústí vtoku nebo separační spáře formy. Místo vtoku by mělo být uprostřed a materiál v prostoru svařování by měl mít po celém obvodu stejnou tloušťku. Pro větší tuhost je možné díl opatřit žebry. Je třeba myslet na to, aby místo svaru bylo dostupné pro laserový paprsek. Materiál v oblasti svaru musí být hladký (R_z do 0,6) a bez vnějšího zaoblení (které by vadilo při upínání dílů při svařování). Také u absorbující části nesmí být v místě svaru nálitek vtoku nebo zbytky separační spáry. Místo vstřiku by nemělo být v blízkosti vyztužujících žebřer. Je třeba počítat s tím, že upínací tlak při laserovém svařování bude 2 až 5 N/mm². Výhodné je, když je možné součást pod místem svaru podepřít. Plocha svaru musí být rovná (rovinnost do 0,15 mm) a hladká (R_z do 0,6). Pro řízení procesu svařování je třeba, aby na výlisku byl vhodný referenční bod nebo hrana. Při kvazisimultánním svařování se při roztavení a následném zchladnutí materiál propadne o 0,1 až 0,5 mm, je proto třeba počítat s určitým přídavkem.

Toto jsou jen základní doporučení; firma Panasonic nabízí konstruktérům detailní konzultace při vypracovávání návrhu konkrétních součástek.

Výroba plastových výlisků

Díly, které se budou svařovat, se nejčastěji vyrábějí na vstříkovacích lisech. Výroba plastových dílů vstříkovaním má mnoho výhod: zejména tak lze v hromadné výrobě cenově výhodně vyrábět i velmi složité tvary. Při konstruování plastových dílů, které se budou vyrábět vstříkovaním, existuje mnoho pravidel, která je třeba respektovat, a jsou-li to díly, které se budou následně svařovat, přibývají další.

Některá pravidla jsou spojená s nutností zachovat správné optické vlastnosti průsvitného dílu. V předchozí kapitole bylo uvedeno, že není vhodné, aby místo vstřiku bylo v místě svaru. Důvodem je, kromě toho, aby na ploše svaru nezůstaly nerovnosti po ejetoru, také to, že v místě vstřiku nemá materiál homogenní optické vlastnosti. Na optické vlastnosti průhledného dílu má rovněž vliv teplota formy, do níž je plast vstříkován, a průběh chladnutí.

Pro úspěšné svařování je třeba zachovat rozměrovou přesnost a kvalitu povrchů obou dílů, které budou svařovány. Zmenší-li se vlivem rozměrových nepřesností plocha svaru,



Obr. 2. Do výlisku se před svařováním připevňuje deska elektroniky, konektory, průchodky a další potřebné díly

Doporučení pro konstrukci

Technologie transmisního svařování plastů se osvědčila jako mimořádně bezpečná a flexibilní. Cenově výhodná je zvláště tehdy, když se s ní počítá už při konstrukci dílů.

Vezměme jako příklad díly na *obr. 1*. Jde o plastový výlisk s průhledným víčkem, oba díly byly vyrobeny na vstříkovacím lisu.

může dojít k přehřátí materiálu a jeho degradaci. Špatná kvalita povrchu zase ovlivňuje jeho odrazné vlastnosti. A zbytky ústí vtoku na ploše svaru zhoršují kvalitu svaru i u neprůsvitného dílu.

Je třeba upozornit ještě na jedno nebezpečí: při vstřikování vzniká statický náboj, který může vést k tomu, že na ploše formy



Obr. 3. Svařovací jednotka VL-W1 od firmy Panasonic, určená pro transmisivní kvazisimultánní svařování plastů

uplívá prach nebo že dojde k nedostříknutí výlisku. Zde pomohou ionizéry ER-X od firmy Panasonic. Tyto ionizéry mohou pracovat se stlačeným vzduchem i bez něj, umožňují manuálně nastavit frekvenci vybíjení od 1 do 100 Hz a seřadit rozložení nábojů a vyznačují se snadnou výměnou vybíjecích jehel. Mohou pracovat v plně automatizovaném režimu, a proto jsou zvláště vhodné pro automatické výrobní linky.

Skladování

Někoho to možná překvapí, ale i skladování vyrobených výlisků před svařováním má vliv na kvalitu svaru. Proto se uvádí doba, po jakou je možné výlisky před svařováním skladovat, a navíc je třeba zajistit, aby díly byly skladovány ve vyhovujících podmínkách. Škodí jim především sluneční světlo a jiné zdroje ultrafialového záření, zvýšená vlhkost a obsah vzdušného kyslíku. Nevhodné skladování vede k oxidaci povrchu, bobtnání, deformaci tvaru, zkřehnutí a jiným změnám mechanických vlastností nebo barvy.

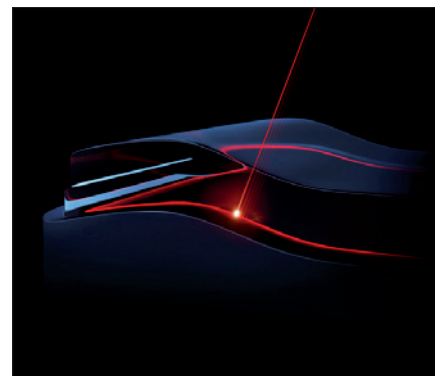
Pro laserové svařování se většinou používají termoplasty. Mnohé z nich jsou navlhavé (PA, ABS, PC, PMMA ad). Ačkoliv navlhnutí nemusí ovlivnit jejich mechanické vlastnosti, při svařování se absorbovaná voda uvnitř materiálu uvolňuje a může způsobovat napěnění taveniny. Ve svaru se potom vyskytnou puchýřky, které snižují pevnost svaru a znemožňují zaručit jeho tlakotěsnost. U navlhavých materiálů je proto třeba kromě správného skladování díly před svařováním připravit – zmenšit obsah vody jejich zahřátím a vysušením.

Díly se obvykle skladují za běžných podmínek. Je vhodné prostory monitorovat, aby teplota ve skladu výrazně nepřesahovala 23 °C a relativní vlhkost 50 %.

Panasonic dodává systémy pro monitorování skladů, které kromě sledování teploty a vlhkosti umožňují integrovat do jedné obrazovky i pohled z IP kamery. Využít lze např. software Control Web Creator a programovatelný automat FP7.

Manipulace s polotovary a montáž

S výlisky před svařováním je třeba zacházet opatrně, bez velkých nárazů a ořesů, které by způsobily poškození hran a vznik vrubů nebo prasklin, protože tato poškození mohou výrazně ovlivnit optické vlastnosti materiálu. Při vlastním svařování je neprů-



Obr. 4. Jednotka VL-W1 umožňuje svařovat i prostorové tvary

svitný díl umístěn v držáku, který má tvar formy, a průsvitný díl je k němu rovnoměrně přitlačen upínacím přípravkem. Správně navržený upínací přípravek zajišťuje přesnou pozici dílů proti sobě.

Odborníci firmy Panasonic pomohou výrobcům s konstrukcí upínacích přípravků. Při manipulaci s polotovary i při vlastním svařování je možné využít servopohony Panasonic, např. Minas A6. Jejich předností je to, že mají vestavěné filtry, které dokážou potlačit rezonanční vibrace způsobené chvěním stroje a tím zvýšit kvalitu svařování.

Svařování ve většině případů předchází ještě montáž, kdy je např. do výlisků upev-

Tab. 1. Svařitelnost plastů (zeleně dobrá svařitelnost, oranžově obtížná svařitelnost)

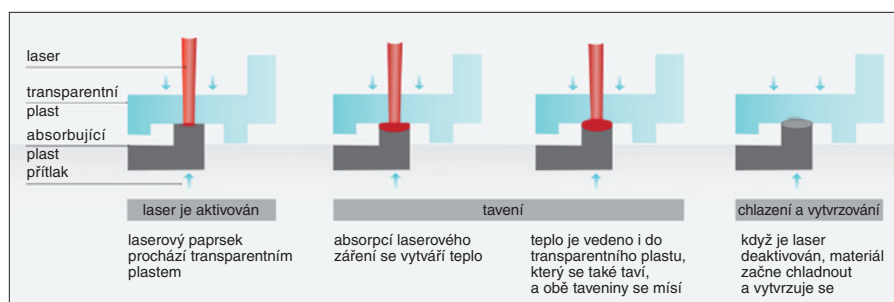
	ABS	ASA	MABS	PA6	PA66	PA12	PBT	PBT/ASA	PC	PC/ABS	PE-LD	PE-HD	PEEK	PES	PET	PMMA	POM	PP	PPS	PS	PSU	PVC	SAN	
ABS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
ASA	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
MABS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PA6	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PA66	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PA12	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PBT	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PBT/ASA	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PC	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PC/ABS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PE-LD	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PE-HD	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PEEK	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PES	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PET	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PMMA	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
POM	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PP	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PPS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PS	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PSU	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
PVC	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
SAN	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■

něna deska elektroniky (nůty, šrouby apod.), našroubován nebo zalisován konektor apod. (obr. 2). Při svařování se namontované díly nesmějí poškodit nebo znečistit částčkami plastu či vyztužujícími vlákny.

K ověření správnosti montáže je možné využít snímače ze širokého sortimentu firmy Panasonic, který zahrnuje laserové triangulační fotoelektrické snímače, různé dotykové snímače nebo snímače pracující na principu vířivých proudů.

Svařování

Teprve nyní se bude text věnovat vlastnímu svařování. Panasonic nabízí svařovací jednotky VL-W1, určené pro kvazisimultánní svařování (obr. 3). Při tomto procesu dochází ke spojení vlivem tepla, které vzniká pohlcením laserového záření na povrchu svařovaných dílů. Není třeba používat žádná adheziva, stačí díly přitisknout k sobě.



Obr. 5. Postup transmisivního svařování plastů

Při simultánním svařování se materiály svaří najednou po celém obvodu. U zde použitého kvazisimultánního procesu je laserový paprsek veden po obvodu svařovaných dílů velkou rychlostí. Je tomu tak proto, že svařovací hlavice je pevná a paprsek se vychyluje jen malými pohyby optických zrcadel. Výhodou je, že svařování probíhá rovnoměrně a díly se teplem nedeformují. Proces je přitom značně flexibilní a snadno lze naprogramovat pohyb laserového paprsku po jiné dráze svaru.

Svařovací jednotky VL-W1 jsou standardizovaná průmyslová zařízení, tzn. že mají normalizovanou mechanická i elektrická rozhraní. Využívají kvalitní laser, s faktorem kvality svazku M^2 do 1,1 a s nastavitelným ohniskem (0,7 až 2 mm). Jednotka umožňuje svařovat i prostorové tvary (± 15 mm od vztažné roviny; obr. 4). K dalším přednostem patří snadné uvedení do provozu a ovládání a celosvětová síť servisu a technické podpory.

Celý proces svařování je možné popsat v deseti bodech (viz též obr. 5):

1. díly jsou identifikovány pomocí optického kódu a vloženy do upínacího přípravku,
2. upínací přípravek se přesune do pracovní pozice,
3. je vyhledán nulový bod – počátek souřadné soustavy laseru,
4. laser je aktivován,

5. materiál se absorpcí laserového paprsku ohřívá a dochází k nelineárnímu tavení materiálu,
6. při dalším ohřevu je průběh tavení lineární,
7. laser je deaktivován, materiál začíná chladnout a smrštuje se (přídavek přibližně 0,25 mm),
8. tavenina krystalizuje, materiál se dále smrštuje (celkem přibližně o 0,3 mm) a svar se vytvrzuje,
9. upínací přípravek se přesune do výchozí pozice,
10. do systému řízení kvality nebo MES jsou uloženy hodnoty zmenšení rozměru a doba chladnutí svaru.

Zařízení na svařování plastů je obvykle součástí automatizované výrobní linky hromadné výroby. Panasonic však dodává i kompletní pracovní stanice LC 3000 pro manuální svařování jednotlivých dílů nebo malosériovou výrobu (obr. 6). Pracovní plocha této

dílu je vhodné označit ho např. 2D kódem. K popisu je možné opět využít laser. Panasonic nabízí široký sortiment laserových popisovacích systémů vhodných ke značení nejen plastů.



Obr. 6. Pracovní stanice LC 3000 pro manuální svařování jednotlivých dílů nebo malosériovou výrobu

Závěr

Článek přináší základní přehled o možnostiach svařování plastů. Popisuje však jen základní, nejčastěji používané postupy transmisivního kvazisimultánního svařování termoplastů. Někdy zde uvedeny méně časté postupy svařování ani např. možnosti svařování termoplastů s reaktoplasty. Vzhledem ke složitosti problematiky je vždy vhodné obrátit se na odborníky.

Společnost Panasonic si chce se svými zákazníky vytvářet dlouhodobé vztahy. Proto jim nabízí širokou podporu při konstruování plastových dílů a výběru vhodného materiálu. Realizuje studie proveditelnosti a laboratorní testy svařitelnosti dílů a pomáhá konstruktérům a technologům od počátku vývoje až po spuštění výroby. Asistuje jim i při uvádění laserového svařovacího zařízení do provozu a zajišťuje školení pro zaměstnance. Kromě záručního servisu je možné s firmou Panasonic uzavřít i servisní smlouvu, která garantuje pravidelné prohlídky a výměnu opotřebovaných dílů, aby byla zajištěna nepřetržitá výroba s minimem neplánovaných výpadků. V rámci technické podpory pomáhají technici firmy Panasonic také s optimalizací procesu výroby svařovaných plastových dílů.

[Panasonic Electric Works: *Guideline – Production Process of Plastic Part. Smart and Efficient: Laser Welding Systems.* 02/2019. Dostupné (v angličtině) z: https://laser.panasonic.eu/cps/rde/xbcr/laser_en_marking/3242euen_LaserWelding_Guideline.pdf, cit. 30. 7. 2019.]

Petr Bartošík