

Materiály v technice - plasty

Účastníci: Martin Pavlů, Petr Marek

Plasty zaznamely po 2. světové válce prudký rozvoj jakožto levná náhrada tradičních materiálů a v současnosti se s nimi v našem každodenním životem můžeme setkat téměř na každém kroku.

Naše práce na projektu „Fyzikou a a chemií k technice“ se dá rozdělit do tří hlavních částí. Jedná se jednak o vzdělávání nás samých v oblasti plastů a jejich aplikace, jednak o přípravu studijních materiálů. Nedílnou součástí práce na projektu byla praktická část.

Pro tyto účely jsme navázali spolupráci s firmou UNO Praha, spol. s r. o., která se zabývá svařováním plastů - zejména školením svářečů, ale i technickou a poradenskou činností v oboru plastů, prodejem, servisem a revizí svářecích strojů a také montáží a dodávkou plastových konstrukcí.

V květnu 2009 jsme se zúčastnili XI. konference svařování plastů ve Skalském dvoře na Vysočině. Absolvovali jsme dvoudenní cyklus přednášek z oboru plastů. Přednášky se se zabývaly nejen samotným svařováním plastů a s tím spojené legislativou, ale také vlastnostmi termoplastů nebo potrubními systémy.

Během školního roku 2009/10 spočívala naše práce ve sběru informací, jejich úpravě a následné přípravě článků a studijních materiálů pro budoucí účastníky projektu.



Ukázka svařování ve švýcarské firmě Georg Fischer.

Co se praktické části týče, kromě prohlídky samotné firmy UNO jsme se v dubnu 2010 navštívili sídlo korporace Georg Fischer v Schaffhausenu ve Švýcarsku. Zúčastnili jsme se zde exkurze ve výrobním závodě její dceřinné firmy GF Piping Systems. Jak už název napovídá, zabývá se výrobou potrubních systémů z plastů, tato pobočka konkrétně výrobou tvarovek. Zaujal nás hlavně vysoký stupeň automatizace výroby. Po prohlídce výrobní haly následovaly praktické ukázky různých způsobů svařování a tlakové odolnosti výrobků firmy ve její laboratoři. Tohoto zahraničního výjezdu se zúčastnili i další členové projektu.

Doufáme, že toto progresivní odvětví zaujme také studenty z nižších ročníků a ti se mu budou věnovat i do budoucna.

Plasty – vlastnosti, výrobní technologie

Původní, téměř výlučné využívání plastických hmot v elektrotechnickém průmyslu, později ve výrobě spotřebního zboží, se v posledním desetiletí orientuje i na strojírenství a stavebnictví. Spotřeba plastických hmot ve světovém měřítku prudce stoupá.

Název plastů je odvozen z faktu, že mnohé jsou tvarovatelné - mají vlastnost zvanou plasticita. Plasty se vyznačují velkou variabilitou vlastností, jako je např. tepelná odolnost, tvrdost, pružnost, mohou být formovány do předmětů, filmů nebo vláken. Mezi jejich výhody patří nízká hustota, chemická odolnost, jednodušší složení a struktury a dobrá zpracovatelnost energeticky málo náročnými technologiemi vhodnými pro masovou výrobu.

Plastické hmoty a pryž jsou tvořeny v podstatné míře makromolekulárními organickými látkami, které rozhodují o jejich základních vlastnostech. Další složky, tvořící s makromolekulami látkou plastickou hmotu nebo pryž (plniva, změkčovadla, stabilizátory, maziva apod.), jsou označovány jako příměsi, které mohou významným způsobem vlastnosti makromolekulárních látek ovlivnit.

Vznik makromolekulárních látek

Makromolekulární látky jsou připravovány synteticky, nebo modifikací makromolekulárních látek přírodních. Syntetické makromolekulami látky vznikají z nízkomolekulárních sloučenin — monomerů — polyreakcemi. Na chemické struktuře monomerů vstupujících do polyreakce je závislá molekulární struktura makromolekulami látky — polymeru. Nejjednodušší jsou makromolekuly lineární (řetězové), složitější strukturní uspořádání mají makromolekuly rozvětvené, nejsložitější makromolekuly prostorově síťované.

Polyreakce používané k přípravě makromolekulárních látek se odlišují svým mechanismem podle chemické struktury monomerů a zvolené polymerační techniky. Typ polyreakce ovlivňuje výsledné uspořádání struktury plastické hmoty a tím i její vlastnosti. Z nejvýznamnějších polyreakcí uvádíme polymeraci, polykondenzaci a polyadici.

Členění plastických hmot

Původně používané členění podle vzniku na přírodní a syntetické neskýtá jakoukoli informaci o vlastnostech polymerů zařazených do těchto skupin. Bylo proto později nahrazeno členěním na reaktoplasty (termosety) a termoplasty.

Názvem reaktoplast (plastická hmota teplem tvrditelná) jsou označovány plastické hmoty, které zpravidla působením tepla tvrdnou a následkem chemické přeměny při vytvrzování se stávají nerozpustnými a netavitelnými.

Názvem termoplast jsou označovány plastické hmoty, které působením tepla měknou a chemicky se přitom podstatně nemění.

Molekulární struktura polymerů

Polymery jsou tvořeny velkými molekulami, jejichž základní skelet tvoří atomy uhlíku. Na základní stavební atomy se váží převážně atomy vodíku, kyslíku a dusíku, někdy též chlóru, fluóru apod.

Atomy, které tvoří jednotlivé makromolekuly, jsou navzájem vázány primárními vazebnými silami, které jsou podobně jako u nízkomolekulárních organických sloučenin vazbami kovalentními.

Mezi makromolekulami se uplatňují vedlejší, van der Waalsovy síly, které rozlišujeme podle chemické stavby makromolekul na síly disperzní, dipólové a indukované a na vodíkové můstky.

Vznikem husté prostorové sítě, jak tomu je u termosetů, je často určitý objem polymerní látky vytvářen jakoby jedinou obrovitou makromolekulou. Současně s vytvořením prostorové sítě polymery ztrácejí charakteristické vlastnosti lineárních polymerů jako rozpustnost, sklon k viskosnímu toku, houževnatost, schopnost plastického přetváření a možnost krystalizace.

Nadmolekulární struktura polymerů

Polymery vytvářejí v závislosti na molekulární struktuře buď méně dokonalou nadmolekulární strukturu amorfní, nebo dokonalejší strukturu krystalickou. Některé polymery vytvářejí pouze amorfní strukturu a nejsou schopny krystalickou strukturu vytvořit.

Amorfní a krystalické polymery se navzájem odlišují mechanickými a jinými vlastnostmi.

Nejméně dokonalým způsobem jsou uspořádány makromolekuly v amorfních polymerech, tvoří-li globuly, tj. jsou-li jednotlivé makromolekuly sbaleny v klubka. Dojde-li k rozvinutí makromolekul tvořících globuly, mohou se jednotlivé makromolekuly navzájem sdružovat do tzv. balíčků (svazků), které mohou dosáhnout takové dokonalosti v uspořádání, že vytvoří nepravé krystalické útvary.

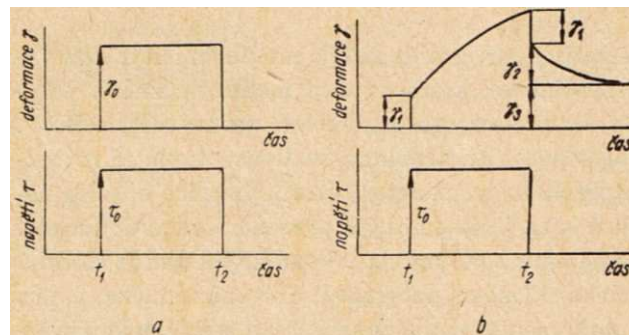
V závislosti na chemické struktuře polymerů, geometrické stavbě řetězců a termodynamických podmínkách krystalizace může krystalický polymer dosáhnout většího či menšího stupně dokonalosti krystalického uspořádání, stupně krystalinity, který má významný vliv na mechanické i jiné vlastnosti.

V souvislosti s nadmolekulární strukturou polymerů, která ovlivňuje jejich užitkové vlastnosti, je třeba stručně se zmínit o plnivech používaných při výrobě plastických hmot,

neboť mění významným způsobem vlastnosti polymerů. Rozdělujeme je na plniva nevyztužující, obvykle práškovitá, a na plniva vyztužující, vláknitá.

Mezi nevyztužující plniva patří např. grafit, sírník molybdeničitý, anorganické moučky (např. křemen, břidlice), která zvyšují modul pružnosti polymeru, avšak snižují tažnost, houževnatost a některé pevnostní hodnoty. Mohou též ovlivňovat kluzné vlastnosti, tepelnou vodivost, teplotní roztažnost apod. Používají se v různých koncentracích. Horní hranice obsahu nevystužujících plniv kolísá kolem 70 až 80 objemových procent. Nad ní už dochází k nedostatečnému spojení částic plniva polymerem. Vyztužující plniva (vlákna přírodní, syntetická, anorganická skleněná, azbestová, dřevěná moučka, papír, tkaniny apod.) na rozdíl od plniv nevyztužujících přispívají zejména ke zvýšení pevnostních hodnot polymerů, při současném zvýšení modulu pružnosti.

Struktura a viskoelastické chování polymerů



Časová závislost deformace viskosně elastického tělesa se odlišuje od tělesa čistě elastického způsobem graficky znázorněným na obr.

U čistě elastického tělesa nejeví deformace jakoukoli časovou závislost. Po vložení napětí τ_0 na těleso v čase t_1 nabude tedy deformace okamžitě velikosti γ_0 , aniž se s časem dále mění. Po dosažení času t_2 , při kterém zatížení přestane působit, deformace γ_0 okamžitě vymizí.

U viskosně elastického tělesa po vložení napětí τ_0 v čase t_1 dosáhne deformace okamžitě též určité hodnoty deformace γ_1 , avšak ta s časem vzrůstá až na hodnotu $\gamma(t)$. Po zrušení napětí poklesne hodnota nabyté deformace okamžitě opět pouze o hodnotu γ_1 další podíl deformace γ_2 vymizí až za určitou dobu; zbylá část deformace γ_3 pak zůstává v tělese uchována trvale, i když na těleso napětí již nepůsobí.

Všechny tři členy celkové deformace $\gamma(t)$

$$\gamma(t) = \gamma_1 + \gamma_2 + \gamma_3$$

jsou úměrné napětí τ_0 .

Člen γ_1 je označován jako okamžitá (Hookeova) deformace a řídí se Hookeovým zákonem; člen γ_2 je označován jako zpožděná elastická deformace a je dán vztahem

$$\gamma_2 = \tau_0 \frac{1}{G} \psi(t),$$

kde G je modul pružnosti ve smyku,

$\psi(t)$ — hodnota, charakterizující časovou závislost zpožděné elastické deformace, která nabývá hodnot 0 až 1; pro $t=0$, $\psi(t) = 0$, pro $t = \infty$, $\psi(\infty) = 1$.

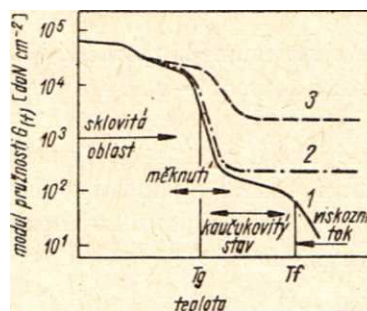
Člen γ_3 je označován jako newtonský tok a je charakterizován vztahem

$$\gamma_3 = \frac{\tau_0 \cdot t}{\eta}.$$

kde t je čas, po který působí napětí $\tau(0)$ a η — smyková viskozita. Pro popis viskoelastického chování polymerů je nejvýznamnější zpožděná elasticita γ_2 , která v závislosti na podmínkách — času a teplotě — nabývá různé velikosti.

Modul pružnosti, kterého polymer při mechanickém namáhání dosáhne, je závislý na průběhu molekulárních relaxačních procesů v čase, po který na materiál působí mechanické namáhání. Jestliže na těleso nalézající se v rovnováze působí vnější síla, dochází k porušení původní rovnováhy a ustavuje se podle relaxačních schopností látky rovnováha nová. Relaxační chování polymerů je charakterizováno tzv. molekulárním relaxačním časem τ_r . Je to čas, jehož je zapotřebí k ustavení nové rovnováhy působením mechanického namáhání, které vyvolalo přemístění makromolekuly nebo její části (segmentu) do jiné polohy.

Je-li doba působení mechanického napětí krátká proti relaxačnímu času τ_r , pak pohyb molekulárních segmentů nestačí sledovat vnější silové pole, a proto jsou jejich deformační změny malé. Materiál má za těchto podmínek vysoký modul pružnosti. Je-li doba působení mechanického napětí mnohonásobně delší než relaxační čas τ_r , pak stačí molekulární segmenty sledovat silové pole bez obtíží. Jejich deformační změny jsou velké a materiál má proto nízký modul pružnosti.



Teplotní závislost časově závislého modulu pružnosti amorfních polymerů
 1 - lineární, 2 - síťovaný málo, 3 - síťovaný hodně, T_f - teplota vzniku viskosního toku, T_g - teplota zesklnění

Týž polymer se tedy může jevit při konstantní teplotě v závislosti na čase, po který na něj mechanické namáhání působí, jako materiál sklovitý, tvrdý, nebo materiál kaučukovitý. Významným způsobem ovlivňuje relaxační chování makromolekulárních látek teplota. Se vzrůstající teplotou možnost pohybů vzrůstá, molekulární relaxační časy τ_r se zkracují. Proto k zmíněnému poklesu modulu $G(t)$ dochází za kratší čas. Různé viskoelastické chování v závislosti na teplotě slouží rovněž jako hledisko rozřídění polymerů. Nejjednodušší závislost chování na teplotě vykazují lineární amorfní polymery (obr, křivka 1). Při nízkých teplotách

se lineární amorfni polymer chová jako sklo. Je křehký a tvrdý, říkáme, že je ve sklovitém stavu. Se vzrůstající teplotou přechází přes oblast měknutí (její šířka bývá 30 až 60 °C) do stavu kaučukovité elasticity. Při dalším zvýšení teploty přejde polymer do nové přechodové oblasti, charakterizované teplotou T_f (teplota vzniku viskosního toku), ve které dochází přes určitou kaučukovitou pružnost ke zřetelnému tečení.

Po zvýšení teploty nad tuto přechodovou oblast elastické vlastnosti téměř zcela mizí a polymer vykazuje viskosní tok, který je obdobný toku viskosních kapalin.

Poněkud odlišné chování v závislosti na teplotě vykazují síťované amorfni (obr. 2 a 3).

Souvisí to s odlišnou možností pohybů částí makromolekul nad přechodovou teplotou označovanou jako teplota zeskenění (T_g). Zatímco u lineárních amorfni polymerů nejsou zmíněné pohyby (označované jako Brownův mikropohyb) brzděny, způsobuje příčné síťování ztížení těchto pohybů. To se projevuje zvýšením modulu pružnosti v oblasti kaučukovité elasticity a posunutím teploty T_g k vyššímu stupni.

Zatímco lineární amorfni i krystalické polymery lze převést do stavu viskosního toku zvyšováním teploty, nemohou síťované polymery získat schopnost pro značnou tuhost prostorové sítě a pevnost příčných vazeb viskosního toku.

Mechanické vlastnosti

U plastů, stejně jako u jiných konstrukčních materiálů, zkoumáme základní mechanické vlastnosti, které poskytují důležité informace pro jejich použití.

Křivka napětí — deformace. Podobně jako u kovů poskytuje křivka vyjadřující vztah mezi napětím a deformací důležité informace o vlastnostech materiálu. Vzhledem k výrazné časové a teplotní závislosti mechanického chování plastických hmot nabývají křivky napětí — deformace různých tvarů nejen v závislosti na struktuře materiálu, ale též na podmínkách namáhání.

Z křivky napětí — deformace lze kromě hodnoty pevnosti zjistit i mez kluzu, která sice svou podstatou zcela neodpovídá mezi kluzu určené u kovů, avšak její význam je podobný. Mezi kluzu označujeme to napětí, při kterém poprvé na této křivce roste deformace, aniž se zvyšuje zatížení.

Pevnost (křehkost) je vlastnost látek odolávat vnějším silám. Také pevnost plastických hmot je závislá na vnějších podmínkách, i když lom nastává mimo oblast viskoelastického chování. Chování při porušení se řídí statistickými zákony o počtu a rozložení malých vad, které jsou zdrojem vznikajících a šířících se lomových trhlin.

Skutečná pevnost polymerů je z důvodů mikrodefektů až o dva řády nižší než teoretická pevnost vypočtená z vazebných sil.

Dále se u plastů zkoumá pružnost, tvrdost a tvárnost.

Pružnost studuje vztah mezi deformacemi těles a vnějšími silami. Z hlediska pružnosti rozeznáváme pružná tělesa (elastická tělesa), která se působením vnější síly deformují, ale po

odstranění této síly se vrací do původního stavu a nepružná tělesa (plastická tělesa), která se po odstranění vnější síly nevrátí do původního stavu.

Tvrдость (měkkost) je vlastnost, vyjadřující odolnost tělesa proti vnikání cizí tělesa do jeho povrchu. Zkoumá se podobně jako u kovů.

Tvárnost je míra schopnosti měnit tvar působením vnější síly při plastické deformaci bez porušení celistvosti materiálu. Tvárnost úzce souvisí s vnitřní stavbou látky, jejím chemickým složením, teplotou tvárného materiálu a druhem tvářecího procesu.

Protože jsou plasty velmi závislé na teplotě, zkoumají se všechny tyto vlastnosti za různých teplot. Kromě těchto vlastností je také důležité znát u plastů jejich teploty zesklenní a teploty vzniku viskozního toku.

Tepelné vlastnosti

Z tepelných vlastností jsou z konstrukčního hlediska nejdůležitější teplotní roztažnost a tepelná vodivost.

Teplotní roztažnost jednotlivých typů plastických hmot se liší v závislosti na jejich strukturním uspořádání a způsobu plnění. Neplněné amorfní i krystalické polymery mají hodnoty součinitelů teplotní roztažnosti řádově vyšší než kovy. Jsou-li naplněny látkami s nízkým součinitelem teplotní roztažnosti (např. sklem), mohou být jejich součinitele nižší než u kovů.

Vzhledem k tomu, že tepelná vodivost určité látky je závislá na schopnosti převádět tepelné pohyby z částice na částici, vykazují velmi dobrou tepelnou vodivost kovové nebo nízkomolekulární krystalické materiály se silnou vazbou mezi atomy. Makromolekulární látky s relativně slabými primárními vazbami mezi atomy a sekundárními vazbami mezi makromolekulami mají v důsledku toho hodnoty tepelné vodivosti nižší než kovy, blíží se hodnotám tepelné vodivosti kapalin. Z plastických hmot jsou nejlepšími tepelnými izolátory lehčené pěnové hmoty (polystyrén, polyvinylchlorid, polyuretany a některé jiné). Příčinou nízké tepelné vodivosti těchto materiálů je velké množství plynu uzavřeného v dutinách.

Elektrické vlastnosti

Technický význam plastických hmot záleží kromě specifických vlastností mechanických a antikoročních též ve vlastnostech elektrických. Plastické hmoty se chovají jako materiály nevodivé (dielektrika, izolanty).

Působí-li na plastickou hmotu velmi silné elektrické pole, ztrácí obdobně jako jiná dielektrika své izolační schopnosti. Odolnost proti působení silného elektrického pole je udávána smluvní hodnotou tzv. průrazové pevnosti - je to smluvně stanovené napětí

elektrického proudu, při kterém se izolační materiál o tloušťce 1 cm stal vodivým do té míry, že dojde k jeho proražení.

Hodnoty průrazové pevnosti jsou závislé na řadě činitelů, zejména na metodě a podmínkách měření (tvaru elektrod, teplotě, vlhkosti, tloušťce vzorku atd.). Se vzrůstající teplotou se odolnost proti průrazu snižuje.

Chemická odolnost

Na rozdíl od kovů mluvíme o korozi plastických hmot nejen při působení chemických vlivů a mechanického namáhání, ale i při působení některých vlivů fyzikálních (např. světelná nebo tepelná destrukce) a při napadení mikroorganismy. Při působení chemikálií na polymery dochází buď k botnám, nebo k reakcím nízkomolekulárního prostředí s makromolekulami.

Botnání je proces, při kterém molekuly prostředí difundují do polymeru a vytvářejí s molekulárními řetězci sekundární vazby. To způsobuje vzájemné oddalování makromolekulárních řetězců, projevující se zvětšováním objemu, snížením mechanické pevnosti, zhoršením chemických a jiných vlastností.

Botnání je procesem vratným. To znamená, že po odstranění rozpouštědla může polymer nabýt původních vlastností, popř. tvaru. Naproti tomu poškození (destrukce) způsobovaná chemickými reakcemi prostředí s polymerem je procesem nevratným.

Polymery s řetězcem s jednoduchými vazbami a polymery, u nichž jsou některé atomy vodíku nahrazeny fluorem, popř. chlorem, velmi dobře odolávají anorganickým a organickým kyselinám a zásadám, méně působení rozpouštědel.

Naproti tomu plastické hmoty obsahující v makromolekule atomy kyslíku a dusíku jsou proti kyselinám a zásadám méně odolné. Mají však dobrou odolnost proti organickým rozpouštědlům.

Zvlášť nízkou odolnost proti působení chemikálií vykazují plastické hmoty, jsou-li současně namáhány mechanicky. Kombinovaným namáháním dochází nejprve ke vzniku drobných trhlinek, které se stávají zdrojem křehkých lomů.

Zpracování plastů

Zpracování plastů využívá mnoho různých technologií. Ve všech případech jde ovšem o přeměnu plastů z podoby granulí, prášků, tablet apod. do podoby polotovarů. Tyto polotovary se mohou následně dále upravovat svařováním a nebo mohou sloužit jako konečný výrobek.

Výroba polotovarů

Vstřikování – Je jedna z nejpoužívanějších technologií, jak v průmyslové výrobě finálních dílů, tak pro výrobu polotovarů pro další zpracování. Výhodou je možnost zhotovení velmi členitých tvarů a zpracovatelnost materiálů ze skupin termoplasty a reaktoplasty.

Válcování – Nejčastější využití při výrobě pásů fólie o tloušťce 0,17 – několik mm. Zpracování probíhá na strojích – *kalandrech* – které mají nejčastěji 4 otočné válce. Do štěrbin mezi první dva válce se dávkuje materiál, druhé 2 zajišťují rovnoměrnou tloušťku.

Vyfukování – Je velmi zajímavá produktivní technologie využívána zejména pro výrobu lahví, nádržek a podobných dílů. Vyfukování probíhá za poměrně vysoké teploty, nýbrž nízkého přetlaku.

Vytlačování – Výroba konkrétních polotovarů, nejčastěji: desky, profily, dráty a trubky s konstantním průřezem. Vlastní technologie se provádí na vytlačovacích strojích neboli *extrudérech*. Extruder se skládá z pevného rámu, ve kterém je vsazen šnek. Uvnitř zahřátý granulát se otáčením šneka vytlačuje.

Sintrování – výroba z prázek těžkých tavitelných materiálů. Prášek volně nasypáný do formy nebo lehce slisovaný se zahřívá, obvykle v ochranné atmosféře až do slnutí. Hotové výrobky obsahují určité procento pórů. Pro některé důležité termoplasty je to vlastně jediná zpracovatelská metoda.

Vířivé nanášení – Vířivé nanášení se používá především pro kovové materiály. Díl, který se má povlékat se zahřeje na sintrovací teplotu plastu a ponoří se do nádoby, ve které se nachází prášek plastu. Uvedením do víření se prášek usazuje na ohřátém plastu a vytváří postupně izolační vrstvu. Používá se především jako antikoroziční nebo kluzná, případně izolační úprava.

Nanášení práškového plastu plamenem – Nejčastěji příprava antikorozičních vrstev. Do plynového hořáku se spolu se vzduchem fouká prach vhodného termoplastu, v plameni se nataví a naráží na povlékaný předmět. Použitý termoplast je více tepelně a oxidačně namáhán, přesto některé polymery snášejí zátěž velmi dobře a dokonce dobře přilnou i na nekovové materiály jako je např. dřevo nebo papírová lepenka.

Tvarování a obrábění

Třískové obrábění je metoda, při které dochází k odebrání materiálu z obrobku za účelem změny jeho tvaru nebo získání finálního výrobku z polotovaru. Základními způsoby třískového obrábění jsou: soustružení, řezání, frézování, vrtání, stříhání, broušení, leštění.

Tvarování za tepla - Používá se pro zpracování plastových polotovarů na finální výrobky pomocí tvarovací formy nebo přípravků. Plast ve formě polotovarů (fólie, desky, trubky) je přehřátý na teplotu odpovídající kaučukovému stavu. Pak je vhodným způsobem tvarován a po dosažení detailního tvaru je ochlazen.

Tvarování za studena

Tvarování folií kapalinou – Využívá toho, že v kapalině se šíří tlak rovnoměrně všemi směry. Fólie jsou formovány tlakem vody, která je na ně postupně přiváděna až se zformují do požadovaného tvaru dle formy.

Ohýbání desek a profilů – Před ním je možné do desky nebo profilu vytvořit drážku se širokými boky až do hloubky cca 96% tloušťky po celé délce ohybu a poté na ohýbací stolicí ohnout. Po ohýbání je nutné přes ohyb s drážkou provést svar přídatným materiálem. Obtížně se prování ohyby o malých poloměrech u desek z plného materiálu a větších tlouštěk. Pro ohyb je třeba ohýbací stolice nebo šablona, podle které se ohýbá podle požadovaného tvaru.



Plasty jsou v současné době nejrozšířenějším materiálem užívaným k výrobě potrubí

Svařování plastů

Plasty se na našem území používají v rozvodech pitné vody a kanalizacích již od 40. let. Používaly se materiály novoudur (PVC - U), později rozvětvený a lineární polyethylen (PE - LD a PE - HD) a polypropyleny (PP), ale velký rozvoj v použití plastů nastal až od 90. let.

Svařují se pouze termoplasty splňující podmínky na jejich svařitelnost, reaktoplasty a elastomery svařovat nelze, jejich spojování se provádí lepením či mechanickými postupy spojování. U termoplastů lze mechanických postupů užít také, lepit se však dají jen některé termoplasty.

Při svařování dochází k následující činnosti: Termoplast se vlivem tepla přemění na taveninu. Působením tlaku na nahřáté plochy dojde k promísení makromolekul ve spoji. Po spojení dojde k ochlazení materiálu. Toto ochlazování musí být pozvolné, aby byly zachovány požadované vlastnosti spoje. (kvalita, pevnost, odolnost, ...)

Mezi základní **parametry** svařování patří **teplota, tlak a čas**. Jejich hodnoty jsou odlišné a závisejí na druhu a vlastnostech svařovaných materiálů, užití metodě svařování, prostředí, v němž je svařování prováděno a požadavkům na kvalitu spojení. Teplota se většinou pohybuje v rozmezí 200 - 300 °C. Tlak je vyvozován buď ručně svářečem, nebo strojově - přítlačnými pružinami, soustavou pák, hydraulicky, pneumaticky, u některých druhů svařování konstrukcí tvarovky. Čas je přesně určen, příp. jej určuje sám svářeč.

Svařovací parametry je nutno vzájemně sladit tak, aby vzniklé svary měly co nejnižší **vnitřní pnutí**, čehož lze docílit stejným a dostatečným zahřátím materiálů do hloubky a stejně tak jejich chladnutím. Platí, že při nižších teplotách a dlouhé době svařování docílíme menších zbytkových napětí ze svařování. Kvalitu svaru mohou také negativně ovlivnit vlastnosti svařovaných materiálů, jako velká tepelná roztažnost plastů nebo malá tepelná vodivost. Při venkovních pracích je nutno počítat s podmínkami okolního prostředí, zejm. meteorologickými. Jsou to **teplota a vlhkost vzduchu, vítr, srážky, sluneční záření**. Také čistota svařovaných ploch a nástrojů a topných elementů ovlivňuje kvalitu svaru. Je nutno je před začátkem svařování očistit, aby zbytky cizích materiálů a těles nezůstaly ve svaru po svařování. Mezi další vlivy působící na kvalitu svaru řadíme **konstrukci svaru**, správnou **volbu svařovacího postupu, geometrii svaru**, mechanické **zatížení svaru** po svařování a **lidský faktor**.

Vzájemně svařitelné jsou většinou pouze látky se stejnou chemicko - fyzikální strukturou, v případě termoplastů tedy ty stejného druhu a typu, nicméně existují výjimky (např. PVC-U s PMMA).

Svařitelnost materiálů rozdělujeme na **zaručenou** a **podmínečnou**. Zaručená svařitelnost je u materiálů se stejným nebo blízkým indexem toku taveniny či skupinou indexu toku. Podmínečně svařitelné jsou stejné typy materiálů, ale odlišné typy. Záleží na potvrzení jejich svařitelnosti výrobcem nebo provedenými zkouškami.

Vhodnost materiálu ke svařování snižují také jeho změny při dopravě a meziskladování, vnitřní pnutí vzniklé při zpracování nebo provozními vlivy a stárnutí způsobené okolními vlivy.

Před prováděním svařování je nutná kontrola povrchu materiálu. Kontroluje se přítomnost jemných trhlinek či pórů, zabarvení, struktura. Takto znehodnocený povrch je nutno seškrábat až do takové hloubky, kde už znaky poškození nejsou rozpoznatelné. Existují-li pochybnosti o druhové souhlasnosti svařovaných materiálů, provádí se zkoušky jejich identifikace.

Svařovací topná tělesa musí být vyrobena z homogenního materiálu odolného vůči korozi s dostatečnou tepelnou vodivostí. Nesmí na něm být nátěr, protože by zhoršoval přestup tepla při svařování, ale musí mít antiadhezní vrstvu, která zabraňuje ulpívání nahřátého materiálu na jeho povrchu. K tomuto účelu se nejčastěji používá PTFE (teflon).

Základní **rozdělení svařovacích metod** je na **přímé** nebo **nepřímé** svařování **horkým tělesem**, svařování **horkým plynem** a **ostatní** metody svařování plastů.

Přímé svařování horkým tělesem

Svařování na tupo horkým tělesem

Jedná se o nahřátí čel trubek, desek či profilů na topném tělese a jejich následné spojení použitím tlaku. Tímto způsobem se svařují zejména materiály PE, PP, PVDF, dále též PVC, PMMA, ECTFE, PE-X. Nepoužívá se přídavný materiál. Nejčastěji se provádí ve strojích, nicméně v určitých případech je možno svařovat i ručně. Je-li to možné, svařuje se mimo výkop, ve výkopu jen v odůvodněných případech. Před svařováním se provede kontrola materiálu a svařovacího zařízení a materiálu. Materiál je nutno upnout do stroje a opracovat jej - ohoblování svarových ploch a jejich upnutí. Následně je možné přistoupit k vlastnímu svařování, které sestává z několika fází. První je **fáze orovnění**, kdy jsou svařované plochy tlačeny na planoparalelní*) zrcadlo nebo lištu, až se vyrovnají. Poté je tlak snížen a následuje **fáze ohřevu**, při níž dochází k plastifikaci svařované zóny. Až jsou svařované plochy dostatečně nahřáté a plastické, dochází k **fázi přestavování**, kdy jsou odsunuta od horkého tělesa a co nejrychleji přisunuta k sobě. Přestavovací doba by měla být co nejkratší, aby nedošlo k přílišnému ochlazení svarových ploch. Po dotyku svařovaných ploch nastává fáze spojení, při níž se zvyšuje přitlak do dosažení plného svařovacího tlaku a následuje vlastní spojování materiálů, tedy pronikání makromolekul jednoho tělesa do druhého. Na obou stranách svarových ploch se vytvoří výronek. V poslední části svařování, která se nazývá **fáze chladnutí** je udržován konstantní spojovací za současného snižování teploty. V některých případech je možno před úplným koncem chladnutí tlak snížit nebo úplně odstranit. Doba chladnutí nesmí být krácena, naopak je vhodné ji prodloužit.

*) planoparalelní - omezený dvěma rovnoběžnými rovinami

Sedlové svařování horkým tělesem

Jedná se o navařování sedlových tvarovek na část vnějšího povrchu potrubí pomocí speciálního upínacího a navařovacího zařízení, které vyvine potřebný přitlak na sedlové ohřívací nástavce a potom i vlastní sedlové tvarovky a plochu potrubí. Tato metoda se používá u PE trubních systémů k navařování sedlových tvarovek. Dnes se používá spíše výjimečně z důvodu náročnosti na technické vybavení. Postup je obdobný jako v případě svařování na tupo.

Profilové svařování horkým tělesem

Dochází při něm k ohřevu svarových ploch profilu a desky tvarovanými horkými tělesy. V deskovém dílu vzniká žlábkovitá plocha, která je spojena s čelní hranou přivařovaného tělesa, čímž se vytvoří spoj ve tvaru T. Používá se při výrobě stavebních částí, stavbě aparátů a zařízení z materiálů PE-HD, PP a PVC-RI. Jsou k němu potřeba dvě horká tělesa - deskovité pro plastifikaci čelní plochy a tvarové k plastifikaci obrysu v základní desce. Postup je shodný se svařováním na tupo.

Svařování horkým tělesem ohraňováním

Jedná se o ohřev základního materiálu tvarovým břitem a jeho zatlačení do základního materiálu. Po vytlačení žlábků se provede ohyb desky v žlábků a tím dojde k natlačení nahřátých ploch k sobě. Používá se ke zhotovování rohových styků u desek nebo profilů při stavbě aparátů. Takto se svařují zejména materiály PE-HD, PP a PVC-RI. Jako topné těleso se používá topný břit. Tento břit je jednoúčelový a jeho výroba se vyplatí jen v sériové výrobě, proto se ruční postupu téměř nepoužívají. Svařovací postup je podobný svařování na tupo, je ovšem třeba navíc dbát na parametry vytaveného, příp. předem odfrézovaného žlábků.

Polyfúzní svařování

Spočívá v souběžném ohřevu vnějšího povrchu trubky a hrdla tvarovky na tvarovém horkém tělese (polyfúzním nástavci) a následném zasunutí nahřáté trubky do stejné zahřátého kónického hrdla tvarovky. Rozeznáváme 3 typy této metody, jež se liší způsobem přípravy materiálu. U typu A se neprovádí kalibrace vnějšího povrchu trubky, jen chemické očištění svařovaných ploch, proto vyžaduje přesné rozměry trubky a tvarovky. V Česku je nejrozšířenější. U typu B se provede kalibrace vnějšího povrchu trubky a ořezání oxidované vrchní vrstvy. Zajistí se tím kruhovitost budoucího spoje, provádí se hlavně při svařování trubek s malou kruhovou stabilitou. Typ C se používá k navařování odboček na větší trubky. Tvarovka má tvar sedla kopírujícího povrch trubky a krček pro svaření v navrtaném otvoru trubky. Trubka se před svařováním v místě odbočky provrtá. Používá se ke svařování materiálů PE, PP, PB a PVDF. Existují ruční i strojní svářečky pro tento způsob svařování. Ruční svařování se používá u trubek do průměru potrubí 40 mm a strojní u trubek od průměru 50 mm. Svařování sestává opět z přípravy, ohřevu, přestavování, spojení a chladnutí jako u svařování na tupo.

Svařování elektrotvarovkou

Elektrotvarovka je tvarovka, která je v hrdlech vybavena topnou šroubovicí, která supluje funkci topného tělesa. Používá se ke svařování trubek z materiálů PE-HD, PE-MD, PP, PB, PE-LD A PE-Xa. Tvarovky jsou vyrobeny z PE-HD, PP-R či PB. Odporové dráty jsou v tvarovkách navinuty tak, aby vnější okrajová oblast hrdla a část uprostřed byly bez vinutí, tzv. studené zóna, čímž se zabraňuje vytlačování nahřáté hmoty z oblasti teplých zón, a tím se docílí vyššího svařovacího tlaku. Rozlišuje se monofilární a bifilární konstrukce vinutí. Liší způsobem vedení odporových drátů a jejich počtem. U **monofilární** konstrukce je drát veden z jedné strany tvarovky přes celou tvarovku na její druhý konec. **Bifilární** konstrukce se používá u složitějších tvarů tvarovek (kolena, T-kusy, redukce, ...). V každém hrdle se topná šroubovice vede samostatně, tj. od kraje doprostřed a zpět, čímž vzniká dvojí vinutí. Proces svařování tedy probíhá v každém hrdle samostatně. Elektrotvarovky obsahují **indikátor svařování**, který vytlačováním indikačního kolíku signalizuje průběh svařovacího procesu, **čárový kód** a

magnetickou kartu, které poskytují informace o elektrotvarovce a parametrech svařování, dále **připojovací konektory**, jež slouží k připojení svařovacího přístroje, **doraz**, umístěný uvnitř tvarovky, který umožňuje správné zasunutí trubek a jejich polohu uvnitř hrdla, případně **fixační prvky** či **upínací přitlačné zařízení**, sloužící k zabránění pohybu svařených trubek. Postup sváření sestává opět z **přípravy**, kdy dojde k očištění i opracování trubky a připojení kontaktů svářečky k elektrotvarovce. Následuje samotné **svařování elektrotvarovkou**. Začíná načtením parametrů svařování do svářečky a spuštěním dodávání elektrické energie do vinutí tvarovky. Působením tepla dochází k plastifikaci materiálu, ten ale nemůže vytéci díky existenci studených zón uvnitř tvarovky, čímž dojde ke vzniku potřebného svařovacího tlaku. U větších trubek je nutný předehřev, který vlivem tepelné roztažnosti materiálů sníží mezeru mezi trubkou a elektrotvarovkou, a tím zamezí úniku taveniny mimo oblast svaru. Po ukončení svařování zastaví svařovací přístroj automaticky dodávání elektrické energie do vinutí a po signalizaci tohoto úkonu je možno odpojit konektory. Po svaření nastává fáze chladnutí, zde je opět nutno dodržet jeho minimální stanovenou dobu a upnutí trubky během celé této doby.

Svařování horkým klínem

Jedná se o nahřátí a plastifikaci spojovacích ploch horkým tělesem ve tvaru klínu a následně jejich stlačení. Používá se ke spojování fólií a utěšňovacích pásů především z PVC-P, PE, ECB a EVA a profilů z PVC-P. Provádí se ručně i svařovacími stroji. Svařovací stroj obsahuje **temperační systém**, který zajišťuje nahřátí materiálu na dostatečnou svařovací teplotu, **pohonný systém**, jež slouží k pohybu svařovacího stroje, **přitlačný systém**, který je určen k vyvozování spojovacího tlaku, **funkční prvky** pro nastavení výše uvedených parametrů a systém pro **evidenci dat**, jež ukládá naměřená data o průběhu svařování.

Svařování horkým tělesem s oddělením svaru

Horké těleso s břitem nahřeje a současně oddělí přeplátované svařované materiály. Používá se na svařování tenkých materiálů - fólií, desek - z materiálů PE, PP, PVC-U. Provádí se na svařovacích strojích analogicky s postupem svařování na tupo.

Bezvýronkové svařování

Jedná se o řízený ohřev konců potrubí nebo tvarovky pomocí pŕlmiskovitých topných těles, schopných přivést přesně definované množství energie. Dovnitř potrubí se vloží elastické tlačné tělísko připojené tlakovou hadicí na kompresor. Po natlakování zabrání toto tělísko společně s vnějšími topnými tělesy vzniku výronku. Užívá se ke svařování PVDF v rozvodech vyžadujících vysokou úroveň čistoty, neboť za výronky by se mohly usazovat nežádoucí částice a bakterie. Parametry svařování jsou řízeny automaticky strojem.

Nepřímé svařování horkým tělesem

Impulsní svařování horkým tělesem

Princip tohoto druhu svařování spočívá v ohřevu svarové plochy přes stěny spojovaných dílů proudovým nebo sálavým impulsem. Touto metodou se svařují tenké fólie z materiálů PE a PP. Menší stroje bývají řízeny ručně, větší automaticky.

Tepelně kontaktní svařování horkým tělesem

Toto svařování je podobné impulsnímu s tím rozdílem, že spojované plochy se vyhřívají kontaktem s trvale horkým svařovacím tělesem, které při dotyku se svařovanými materiály rychle přenáší teplo do spoje. Využívá se v obalové technice pro svařování fólií do tloušťky asi 0,1 mm nebo ve stavebnictví pro svařování desek, trubek a profilů. Svařují se materiály PE a PP. **Stroje** se rozdělují podle režimu ohřevu svařovacího tělesa na stroje s **ustáleným** (statickým) **režimem** a na stroje, jež ohřívají nástroj rychle **proudovým impulsem**.

Kotoučové svařování

Tato metoda je podobné tepelně kontaktnímu svařování. Rozdíl je ve svařovacím tělese, které je tvořeno odvalovacími pásy, jež zajišťují ohřev a přítlak. Používá se zejména pro svařování dlouhých svarů pásů fólií PE a PP pro spotřebitelské aplikace. Fólie se zavede mezi dva odvalovací pásy, které ji posunují přes ohřívací, přítlačnou a chladicí zónu.

Svařování horkým plynem a přídavným materiálem

Při tomto druhu metod svařování se svařované plochy a přídavný materiál přivedou horkými plyny do plastického stavu a pak se pod tlakem spojí.

Ruční svařování horkým plynem a svařování horkým plynem s rychlotryskou

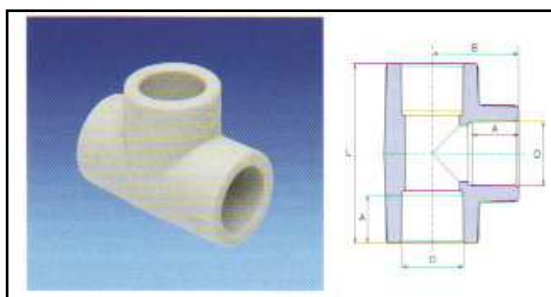
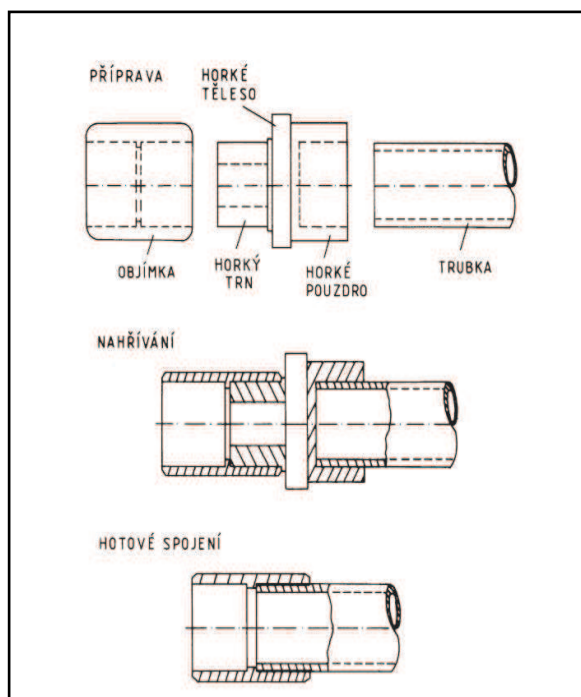
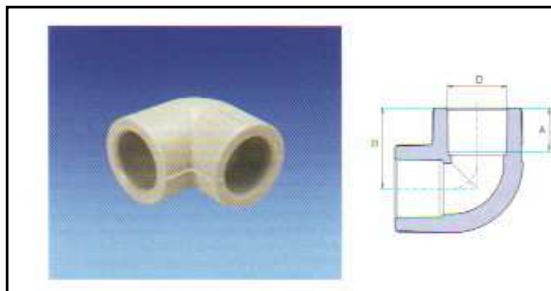
U ručního svařování probíhá zahřívání obou materiálů i zatlačování přídavného do základní ručně.

Přehled metod svařování pladů

Svařování horkým tělesem (H)	Přímé	Na tupo horkým tělesem (HS)	Bez přídavných materiálů	Trubky, desky, profily	výjimečně	ano
		Profilové horkým tělesem (HN)		Desky, profily	výjimečně	ano
		Ohraňování hor. tělesem (HB)		Desky	výjimečně	ano
		Polyfúzní svařování (HD)		Trubky	do prům. 40	do prům. 110
		Elektrotvarovkou (HM)		Trubky	ne	ano
		Horkým klínem (HH)		Fólie, profily	výjimečně	ano
		S oddělením svaru (HT)		Fólie a tenké desky	výjimečně	ano
		Bezvýronkové (WNF) ²⁾		Trubky	ne	ano
	Nepřímé	Impulsní horkým tělesem (HI)		Fólie	ano	ano
		Tepelně kontaktní hor. tělesem (HK)		Fólie	ne	ano
		Kotoučové svař. (HR)		Fólie	ne	ano

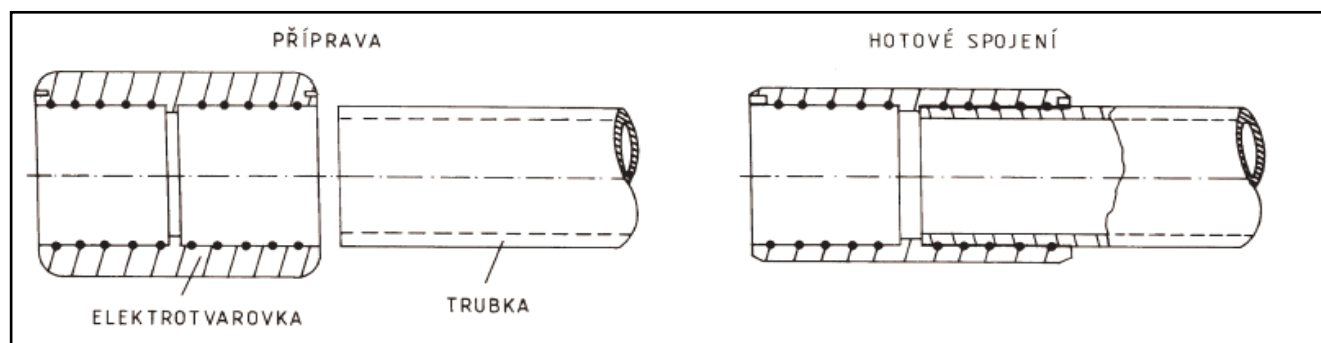
Ukázky metod pro svařování plastů

1. Polyfúzní svařování:

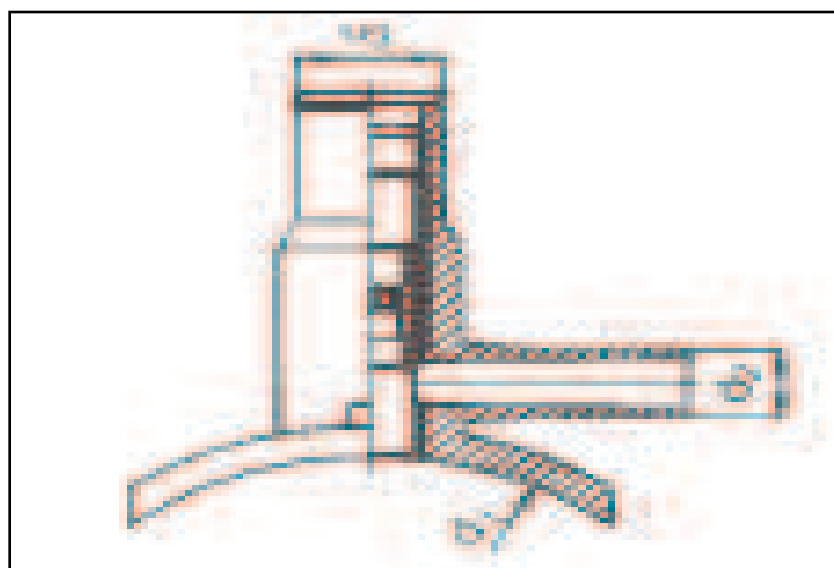


2. Svařování elektrotvarovkou:

-elektrotvarovka – objímka: ČSN - metoda 16, EN – 2.7, 3.6, 3.7

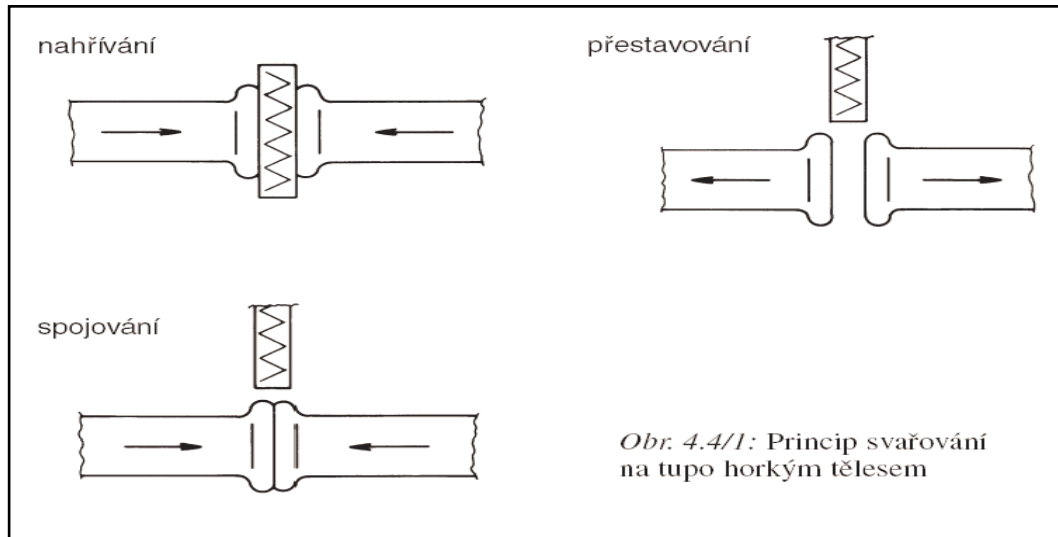


-elektrotvarovka – sedlo: ČSN - metoda 16 , EN – 3.8



3. SVAŘOVÁNÍ HORKÝM TĚLESEM NA TUPO:

-Trubky



ROWELD® P 800 B 3, P 1000 B 3 und P 1200 B 3 Kunststoffrohr-Schweißmaschinen

Zum Schweißen von Kunststoffrohren

Arbeitsbereiche	P 800 B	Ø 500 – 800 mm
	P 1000 B	Ø 710 – 1000 mm
	P 1200 B	Ø 900 – 1200 mm

Auch für Zollabmessungen und Sondermaße lieferbar!

- Einsetzbar in der Werkstatt und auf der Baustelle
- Grundmaschine mit hydraulischem Antrieb
- Handkurbel zum Steuern der Drücke
- Exakte Führung durch Kompaktbauweise
- Elektrisch angetriebene Fräsenrichtung
- Optional mit Kran zum Ausheben des Heizelementes und Fräsenrichtung
- Leichte, stabile Grundmaschine, direkt im Graben einsetzbar
- Mit Protokollierung lieferbar

The photograph shows a large industrial pipe welding machine in operation. A worker in an orange suit is adjusting the machine. The machine is used for joining large-diameter plastic pipes. Labels point to various features:

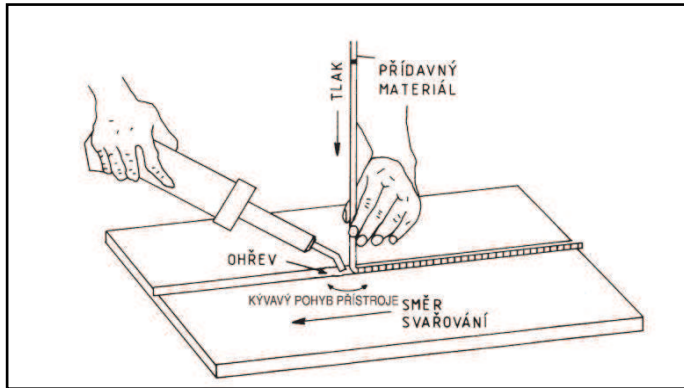
- Optional mit Kran zum Ausheben des Heizelementes und der Fräsenrichtung
- Spannen von Bögen, T-Stücken und Y-Stücken möglich
- Verschiebbare Sperrwalze
- Mit und ohne Protokollierung einsetzbar
- Leichte, stabile Grundmaschine
- Direkt im Graben einsetzbar zum Anschweißen von Rohren im Gelände
- Exakte Führung durch Kompaktbauweise

- Desky:



4. Svařování horkým plynem a přídavným materiálem (extruderem):

ČSN 050705: metoda 31



ČSN 050705: metoda 32

