

ZÁMEČNÍK

STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE ČÁST III.

STUDIJNÍ TEXT PRO TŘÍLETÝ UČEBNÍ OBOR ZÁMEČNÍK



Studijní text vznikl v rámci projektu OBNOVA A MODERNIZACE TECHNICKÝCH OBORŮ V OLOMOUCKÉM KRAJI.
Projekt byl spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem České republiky.

2010/2011

OBSAH

strana

1	ÚVOD	3
2	SLÉVÁNÍ.....	4
2.1	Postup výroby odlitku	4
2.2	Modelové zařízení	6
2.2.1	Model	6
2.2.2	Šablony.....	6
2.2.3	Jaderníky	7
2.3	Formovací materiály a jejich úprava	7
2.4	Výroba netrvalých forem a jader	9
2.4.1	Formovací rámy	9
2.4.2	Formovací náradí.....	10
2.4.3	Vtoková soustava	10
2.4.4	Odvzdušnění (odplynění) forem.....	11
2.4.5	Nálitky	11
2.5	Ruční formování.....	11
2.5.1	Otevřené formování.....	11
2.5.2	Uzavřené formování	12
2.6	Strojní formování	13
2.6.1	Formování lisovacími stroji	13
2.6.2	Formování střešovacími stroji.....	15
2.6.3	Formování metacími stroji – pískomety.....	15
2.6.4	Formovací stroje na jádra	16
2.7	Sušení forem a jader	16
2.8	Trvalé formy – kokily a jádra, polotrvalé formy.....	16
2.9	Způsoby plnění forem roztaveným kovem.....	17
2.9.1	Gravitační lití.....	17
2.9.2	Lití pod tlakem	17
2.9.3	Odstředivé lití	18
2.9.4	Sklopné lití	19
2.9.5	Lití do skořepinových forem	19
2.9.6	Lití metodou vytavitelných modelů	20
2.10	Odlévání kovů do forem.....	21
2.11	Vytloukání, čištění a úprava odlitků	22
2.12	Vady a kontrola odlitků.....	22
3	TVÁŘENÍ	25
3.1	Tváření za studena.....	26
3.2	Tváření za tepla	26
3.3	Ohřev materiálu.....	27
3.4	Válcování	30
3.4.1	Výroba polotovarů válcováním	31
3.5	Kování	34
3.5.1	Ruční kování	34
3.5.2	Strojní kování	35
3.6	Protlačování.....	38
3.7	Stříhání	40
3.8	Tažení.....	42
3.8.1	Tažení dutých těles.....	42

3.8.2	Tažení drátů, tyčí a profilů	44
3.9	Ohýbání	45
3.10	Rovnění	48
4	ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ	51
4.1	Lisování	51
4.2	Přetlačování	52
4.3	Vstřikování	52
4.4	Vytlačování	53
4.5	Foukání	53
4.6	Válcování plastů	54
4.7	Tvarování plastů	54
4.8	Odlévání plastů	55
5	SWAŘOVÁNÍ A NAVAŘOVÁNÍ	57
5.1	Svařování za působení tepla - tavné svařování	58
5.1.1	Svařování plamenem	58
5.1.2	Svařování elektrickým obloukem	59
5.1.3	Svařování pod tavidlem	59
5.1.4	Svařování elektrostruskové	60
5.1.5	Svařování elektrickým obloukem v ochranném plynu	61
5.1.6	Zvláštní způsoby tavného svařování	63
5.2	Svařování za působení tepla a tlaku	64
5.2.1	Svařování elektrickým odporem	64
5.2.2	Indukční svařování	67
5.2.3	Svařování třením	67
5.2.4	Difuzní svařování	68
5.3	Svařování za působení tlaku	68
5.3.1	Svařování tlakem za studena	68
5.3.2	Svařování ultrazvukem	69
5.3.3	Svařování výbuchem	69
5.4	Svařování plastů	70
5.5	Navarování	71
6	PÁJENÍ	74
7	ŽÁROVÉ DĚLENÍ MATERIÁLŮ	78
7.1	Plamenové řezání kyslíkem	78
7.2	Řezání elektrickým obloukem (elektrokyslíkové)	79
7.3	Zvláštní způsoby řezání	80
7.3.1	Práškové řezání	80
7.3.2	Řezání laserem	80
7.3.3	Řezání plazmou	81
7.3.4	Řezání vodním paprskem	81
7.4	Drážkové řezání kyslíkem	82
7.5	Rovnění plamenem	82
8	KOROZE A OCHRANA PROTI KOROZI	85
8.1	Druhy koroze	85
8.2	Metody ochrany kovů proti korozi	87
9	VĚDOMOSTNÍ TEST	90
10	REJSTRÍK	93
11	POUŽITÁ LITERATURA	95

1 ÚVOD

Učební text je určen pro žáky tříletého učebního oboru Strojní mechanik – zámečnický a byl vytvořen v rámci projektu „Obnova a modernizace technických oborů v Olomouckém kraji“. Uvedené učivo využívá znalostí a dovedností žáků z předcházejícího ročníku Strojírenské technologie týkající se vlastností kovových a nekovových materiálů.

V učebním textu jsou popsány a vysvětleny základy Slévání, výroba forem, způsoby odlévání a úprava odlitků. V kapitole Tváření a Zpracování plastů jsou popsány způsoby zpracování kovových a nekovových materiálů. Vzhledem k tomu, že svařování plamenem, svařování elektrickým obloukem, pájení a žárové dělení materiálu plamenem jsou podrobně probírány v předmětu Technologie a ve svářečských kurzech, jsou tyto metody v textu popsány stručně. Kapitoly Svařování, Pájení a Žárové dělení jsou proto zaměřeny pouze na přehled používaných metod. Dále učební text vysvětluje podstatu vzniku koroze a poskytuje základní informace o povrchových úpravách kovových a nekovových polotovarů a výrobků. Učební text také objasňuje péči o životní prostředí člověka.

Za každou kapitolou učebního textu Strojírenské technologie následuje shrnutí učiva, otázky a test určený ke zjištění znalostí žáků uvedeného učiva. Pro získání lepší představivosti žáků je učební text doplněn obrázky a fotografiemi.

2 SLÉVÁNÍ

CÍLE

Po prostudování této kapitoly dokážete:

- popsat pracovní postup výroby odlitku
- rozlišovat modelové zařízení
- vyjmenovat formovací materiály
- popsat pracovní postup ručního formování při výrobě netrvalé formy
- charakterizovat metody strojního formování
- charakterizovat způsoby odlévání kovu do forem



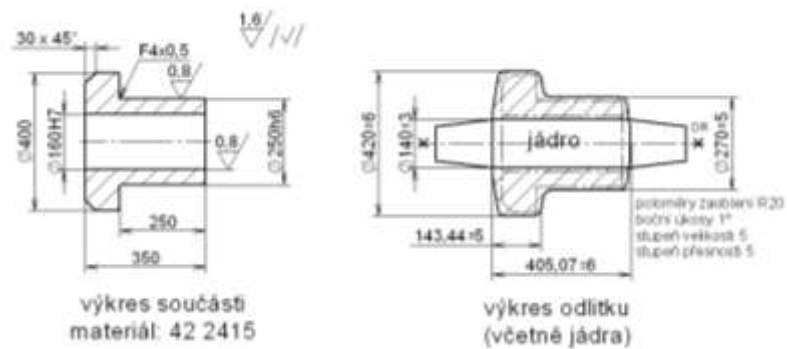
Slévání je způsob výroby, při kterém roztavený kov vléváme do formy, jejíž dutina má přibližně tvar a velikost budoucího výrobku – odlitku. Odlitky se vyrábí ve slévárnách. Odlitek můžeme zhotovit jako konečný výrobek nebo ho můžeme dále opracovávat (např. obrábět nebo tepelně zpracovat). Sléváním lze vyrábět složité tvary, kterých bychom jiným výrobním postupem (např. obráběním nebo kováním) dosáhli obtížně, např. ozubená kola, písty spalovacích motorů, kostry elektromotorů, atd.).

Jako **slévárenské materiály** používáme častěji slitiny než čisté kovy.

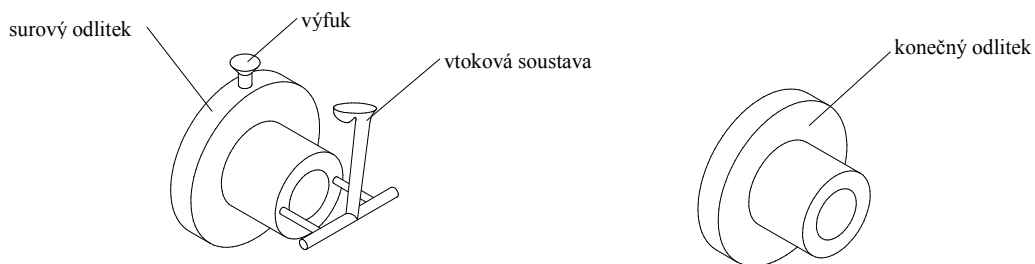
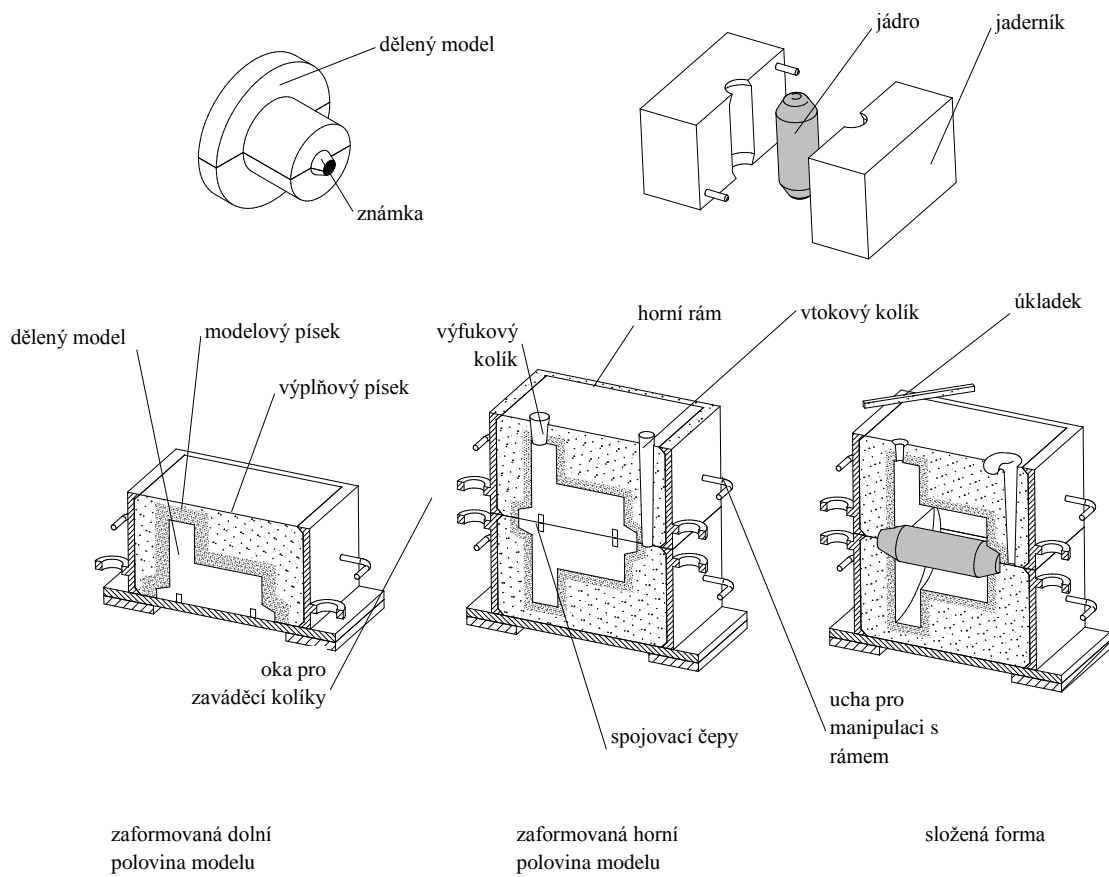
- železné kovy – ocel na odlitky, litiny – bílá, šedá, temperovaná, tvárná, tvrzená
- neželezné kovy – slitiny mědi, hliníku, hořčíku a zinku

2.1 Postup výroby odlitku

Podkladem pro výrobu odlitku je výkres součásti a výkres odlitku. Ke zhotovení formy na odlití odlitku potřebujeme modelové zařízení (model, šablonu, jádro), formovací rám a formovací materiál (nejčastěji se používá slévárenský písek). K vytvoření dutin v odlitcích se používají jádra nebo šablony. Forma se vyrábí ve formovně, kde pomocí formovacích materiálů a pýchovaček upěchujeme model do formovacího rámu. Forma musí být vytvořena z prodyšného a žáruvzdorného materiálu. Roztavený kov vléváme do dutiny formy vtokovou soustavou. Plyny vzniklé při odlévání unikají z formy pomocí výfuků a průduchů. Vtoková soustava a výfuky jsou zaformovány ve formovacím rámu společně s modelem. Po zapěchování modelu formu otevřeme a model s vtokovou soustavou opatrně vyndáme z formy, abychom neporušili její dutinu. Pokud dutinu formy porušíme, musíme ji opravit. Je-li v odlitku dutina, vložíme do formy jádro. Poté formu složíme dohromady a je připravena k odlévání. Materiál potřebný k odlévání roztavíme v tavících pecích, na místo lití se dopravuje v licích pánvích. Ztuhlý odlitek se z formy vytlačuje nebo vytlouká, nazývá se **surový odlitek**. Surové odlitky zbavíme jader, vtoků, výfuků a nálitků, tím získáme tzv. **hrubý odlitek**. Podle potřeby můžeme tyto odlitky obrábět, tepelně zpracovávat nebo natřít ochranným povlakem na ochranu proti korozi, výsledkem je **čistý odlitek**. Vratný materiál (vtoky, výfuky aj.) se vrací zpět do slévárny. Použité modely, jaderníky a formovací rámy se po opravě vrací do skladu. Upotřebený formovací materiál se posílá do úpravního materiálu, kde se provede jeho regenerace.



obr. 1 Výkres součásti a odlitku



obr. 2 Postup výroby odlitku s dírou

2.2 Modelové zařízení

Modelovým zařízením se označuje zařízení potřebné ke zhotovení dutiny formy, která odpovídá tvaru budoucího odlitku.

2.2.1 Model

Model má **tvar shodný s odlitkem**, měl by být co nejjednodušší, aby ho formíř mohl snadno zaformovat a vyjmout z formy. **Rozměry** modelu jsou **zvětšeny o hodnoty smrštění a přídavky na obrábění** (neobráběné plochy jsou bez přídavku). Na kolmých plochách formy vůči dělicí rovině se vytvářejí úkosy, ty slouží ke snadnému vyjímání modelu z formy, aby se nemusel vyklepávat (poškození formy). Ostré rohy a kouty jsou zaobleny, aby nedošlo při vyjímání modelu k porušení dutiny formy.

Materiály pro výrobu modelu:

- **dřevo** – kusová a malosériová výroba, modely jsou nalakovány, lak zabraňuje nadměrnému navlhání a poškozování, př. červená – šedá litina, stříbrná - hliník
- **kov** – sériová výroba, méně se opotřebovávají
- **ostatní materiály** – vosk, rtuť, plast - používají se pro velmi přesné odlévání odlitků metodou vytavitelného modelu nebo při výrobě modelů na jedno použití

Modely se vyrábějí jako **dělené a nedělené**.

- **Dělené modely** se skládají z více kusů, jsou rozděleny tzv. dělicí rovinou. Tyto modely používáme pro snadnější zaformování. Pro zajištění správné vzájemné polohy jsou jednotlivé části modelu spojeny v dělicí rovině spojovacími čepi nebo kolíky.
- **Nedělené modely** jsou vyrobeny z jednoho kusu.

Modely pro výrobu odlitku s dutinou jsou na čelní ploše natřeny černou barvou. Barva označuje na modelu tzv. **známky**, které vytvářejí plochu pro uložení jádra.

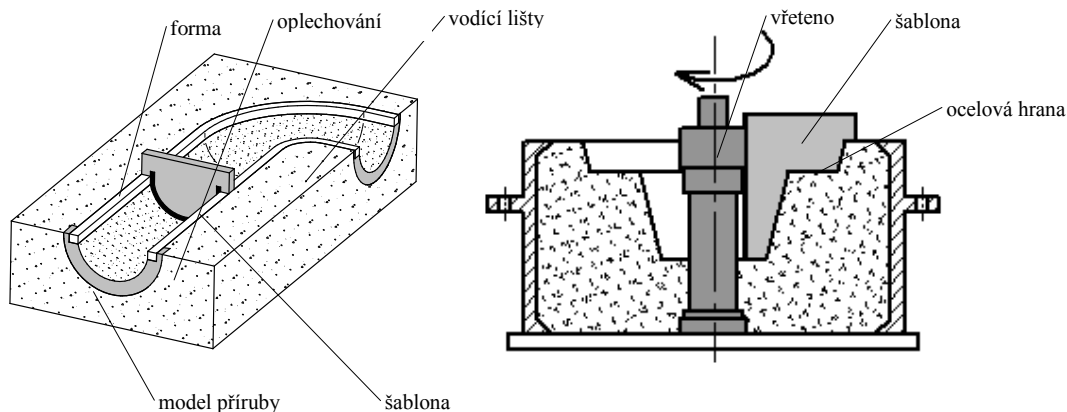
Výroba složitých modelů je nákladná. U rotačních a souměrných odlitků proto používáme jednodušší zařízení pro zhotovení dutiny formy – **šablony**.

2.2.2 Šablony

Šablony jsou vhodně **upravená prkna s okrajem podle tvaru odlitku**. Hrany šablon jsou okovány plechem, aby se nadměrně neodíraly, nebo mohou být celé kovové (plechové). Šablony se používají v kusové nebo malosériové výrobě pro výrobu dutin forem a jader.

Dutinu formy zhotovíme:

- otáčením šablony - **otočné šablony**
- posuvem šablony – **kročky**.



obr. 3 Formování posuvnou a rotační šablonou

2.2.3 Jaderníky

Jaderníky jsou **formy na výrobu jader**. Většinou se vyrábějí ze dřeva (kusová výroba) nebo z kovu (hromadná výroba). Jádra se vytvářejí nedělená nebo dělená. Častěji se používají dělená jádra, aby se snadno dala vyjmout z jaderníku. Při výrobě jaderníků musí být dodrženy všechny zásady jako při výrobě modelů. (přídavek na obrábění, úkosy, zaoblení hran, atd.)

2.3 Formovací materiály a jejich úprava

Základními surovinami pro výrobu slévárenských formovacích materiálů jsou přírodní písky, hlíny, bentonit, šamot, tuha, uhelný prach a organické látky (oleje, pryskyřice, škrob) aj.

Formovací materiály jsou **upravené směsi**, které se používají k **výrobě forem a jader**. Od formovacích materiálů požadujeme vlastnosti jako je soudržnost, tvárnost, pevnost, prodyšnost, žárovzdornost, rozpadavost aj. Každý formovací materiál je tvořen základními složkami, tj. **ostřivem** a **pojivem**. Použitím různých druhů ostřiv a pojiv se získají formovací směsi, které se liší svými technologickými vlastnostmi.

Používaná **ostřiva**:

- **křemen** – nejpoužívanější ostřivo
žárovzdornost kolem 1700°C
vhodný pro odlévání všech slévárenských slitin mimo litiny
upravuje se plavením, praním, tříděním podle velikosti zrn a sušením
- **magnezit**
žárovzdornost kolem 2000°C
odlévání ocelových odlitků
- **šamot**
žárovzdornost kolem 2050°C
odlévání těžkých ocelových nebo litinových odlitků

Pojivo vytváří vazby mezi jednotlivými zrny ostřiva, dává formovací směsi soudržnost, tj. vaznost za syrova a pevnost po vysušení nebo za vyšších teplot. Pojiva dělíme podle jejich původu na organická (umělé pryskyřice, oleje, sacharidy, organické sloučeniny křemíku) a anorganická (jíly, vodní sklo, cement, případně sádra). Nejčastěji se používá hlína nebo jíl – bentonit, který umožňuje přijímat vodu až do šestinásobku své hmotnosti. V současné době se prosazují organická pojiva na bázi umělých pryskyřic - fenolformaldehydové pryskyřice.

Kromě základních formovacích materiálů se používají zvláštní slévárenské materiály:

- slévárenský písek s vodním sklem, tzv. CT písek - obsahuje křemenný písek, žáruvzdornou hlínu, vodní sklo a mazut, tato směs má vysokou prodyšnost forma vyrobená z CT písku se vytvrzuje – formou prochází po krátkou dobu oxid uhličitý CO₂, který s vodním sklem reaguje tak, že kapalný roztok křemičitanů přechází v polopevnou až pevnou směs, která pevně spojuje jednotlivá zrnka písku

Pro výrobu forem se používají dva druhy písku:

- **modelový** písek – nový jemný písek, při formování se pěchuje přímo na model, kopíruje tvar modelu, tvoří líc formy, který přichází do kontaktu s taveninou
- **výplňový** písek– upravený starý písek, používá k vyplnění ostatního prostoru ve formovacím rámu

Na výrobu jader se používá **jádrový** písek. Jádra jsou zalita kovem a tím jsou vystavena velkému tepelnému namáhání. Písek na jejich výrobu musí mít dobré tepelné a pevnostní vlastnosti. Po vychladnutí odlitků se jádro musí rozpadnout a dát snadno odstranit z odlitku.

Kromě základních formovacích materiálů se používají při formování ještě pomocné formovací látky:

- **slévačský prášek** (např. uhelný prach) – zabraňuje nalepování formovacího materiálu na model a na jaderník
- **dělicí prášek** (např. mletý křemičitý písek) – používá se k posypání dělicí roviny, aby se při formování nepřilepil horní díl formy na spodní díl formy
- **barviva** (např. grafit) – zvyšují žáruvzdornost formy a používají se na vyspravování spár a otvorů vzniklých sušením formy, pro zvýšení žáruvzdornosti se barvou také natírají jádra – na povrchu jsou vystavena přímému působení horkého kovu

Úprava formovacích materiálů

Požadované vlastnosti formovacích materiálů se dosahují vhodnou úpravou v **úpravnách písku**. Upravuje se písek **nový i opotřebený** (starý/vratný). Nový písek se prosívá, drtí, suší a ochlazuje. Vratný písek je dopravován pásem do úpravný od vytloukacích roštů, na nichž je písek po odlití přímo vytloukán z forem. Písek je upraven odlučováním kovových částic, drcením a prosíváním. Formovací materiály pak upravujeme mícháním nového a vratného písku přidáváním přísad, vlhčením a provzdušněním.

2.4 Výroba netrvalých forem a jader

Slévárenské formy můžeme podle použití rozdělit na formy:

- **trvalé** - kovové formy používané v hromadné výrobě, slouží pro odlévání tisíce odlitků, nazývají se kokily
- **polotrvalé** – používají se v sériové výrobě, jsou vyrobeny z keramických hmot
- **netrvalé** – pískové formy pro jednorázové použití, při vyjímání odlitků se zničí

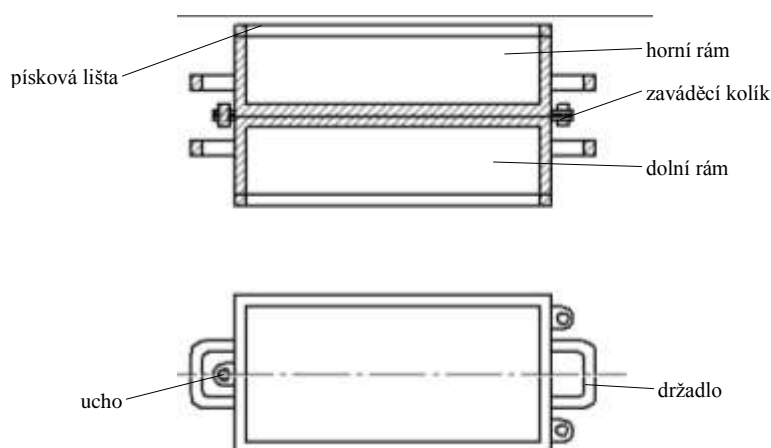
Netrvalé slévárenské formy se vyrábějí formováním. K zaformování modelu potřebujeme formovací rám, formovací nářadí, vtokovou soustavu, nálitky, atd. Forma musí být pevná, prodyšná a poddajná při smršťování kovu, musí zajistit rovnoměrné tuhnutí odlitku ve všech jeho průřezech a snadné vytlučení. Formování můžeme rozdělit na ruční a strojní.

2.4.1 Formovací rámy

Formovací rámy slouží k výrobě **netrvalé** (pískové) **formy**. Formovací materiál se v rámu při zapěchování modelu zhutňuje a zpevňuje. Rám chrání formu při rozebírání, vyjímání modelu a vtokové soustavy, opravování dutiny formy, obracení, přenášení a převážení formy do sušící komory (sušení zvyšuje pevnost a prodyšnost forem) nebo na místo určené k lití.

Formovací rám musí odolávat tlakům, které vznikají při plnění formy roztaveným kovem. Vyrábějí se ze šedé litiny, oceli, slitin hliníku a hořčíku. Jejich tvar může být čtvercový, obdélníkový, kruhový a v sériové výrobě je přizpůsobený tvaru odlitku. Podle konstrukce rozeznáváme formovací rámy lité, montované a svařované.

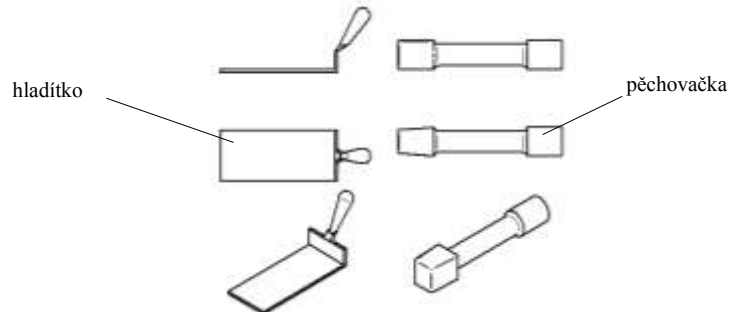
Většina forem se skládá ze dvou ráků. Pro složité odlitky se používá ráků více (tři a více). Přesné složení formy je zajištěno skládacími (zaváděcími) kolíky. Nacházejí se v horním ráku a zasouvají se do otvorů v držadlech spodního ráku. Chybnému sestavení ráku formy brání to, že na jedné straně je jeden kolík a na druhé straně dva kolíky. Malé ráky mají po stranách držadla na přenášení. Velké ráky mají po stranách čepy pro zavěšení řetězů jeřábu. Okraje formovacích ráků jsou vyztuženy pískovými lištami - zpevňují ho, aby se nekroutil. Lišty také přidržují formovací materiál a zabraňují jeho vypadávání při zvedání a obracení plného ráku.



obr. 4 Formovací rám

2.4.2 Formovací nářadí

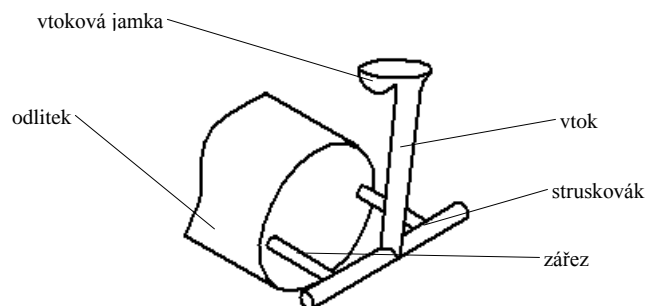
K výrobě forem používá formíř různé nářadí. Formovací materiál v rámu pěchuje pomocí pěchovaček (dřevěné, ocelové), jsou ruční nebo pneumatické. Dále používá štětce pro vlhčení písku. Pomocí hladítek, lžiček a lopatek opravuje a vyhlazuje poškozenou dutinu formy. Potřebuje také lopatu, ruční síto, vodováhu, bodec (průduchy), úhelníky apod.



obr. 5 Formovací nářadí

2.4.3 Vtoková soustava

Vtoková soustava je **soustava kanálů** ve formě, **kterými protéká tekutý kov při plnění formy**. Pokud není správně provedena, zvětšuje se počet zmetků, zaviněných nedolitím kovu do formy, znečištěním povrchu odlitku struskou a formovacím pískem, vznikem staženin apod. Uspořádání vtokové soustavy bývá různé podle tvaru a velikosti odlitku.



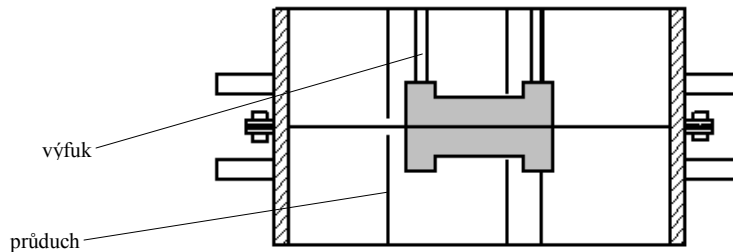
obr. 6 Schéma vtokové soustavy

Části vtokové soustavy:

- **vtoková jamka** – zachycuje první náraz vlévaného kovu z lící pánve, zajišťuje plynulé plnění vtokové soustavy, po dobu lití je zaplněna tekutým kovem
- **vtokový kanál** – svislý kruhového průřezu, směrem dolů se zužuje (kužel), aby do formy nevnikal vzduch
- **odlučovač strusky** (struskovák) – zachycuje strusku a rozvádí taveninu, nejčastěji má lichoběžníkový průřez
- **zářezy** – spojují vtokovou soustavu s dutinou formy (odlitem), obvykle ústí do spodku nebo středu formy, průřez je nejčastěji trojúhelníkový, u tenkostěnných odlitků obdélníkový

2.4.4 Odvzdušnění (odplynění) forem

Při výrobě odlitků je důležitá dobrá prodyšnost slévárenských materiálů. Pro lepší **odstranění plynů** (vzduch, vodní páry, plyny) vytváříme ve formě výfuky. Výfuky se umísťují vždy v nejvyšším místě odlitku. Formu lze také odvzdušnit napíchnutím průdchů téměř až k modelu (končí asi 15mm nad modelem).



obr. 7 Odvzdušnění formy

2.4.5 Nálitky

Používají se u odlitků rozličných tvarů. Slouží jako **zásobníky tekutého kovu**. Doplňují taveninu do odlitku na místa, kde by se mohla v důsledku smršťování v tekutém kovu vytvořit staženina (dutina). Nálitek musí ztuhnout naposledy.

2.5 Ruční formování

Ručně se zhotovují netrvalé formy v kusové výrobě odlitků nebo formy pro složité a velké odlitky. Ruční formování je zdlouhavé, namáhavé a vyžaduje zručnost formířů.

Podle druhu kovu (slitiny) a velikosti odlitků se rozlišují formy pro odlévání:

- **na syrovo** – roztavený kov odléváme do forem o normální vlhkosti písku, formy nejsou sušené
- **na sucho** – sušením zbavíme formy nadbytečné vlhkosti, zároveň zvýšíme její prodyšnost a pevnost

Ruční formování dělíme na formování:

- **otevřené** (do země slévárny)
- **uzavřené** (formování v rámech nebo formování v zemi a rámech, apod.)

2.5.1 Otevřené formování

Otevřená forma je zhotovena přímo do země (půdy) slévárny. Tohoto způsobu využíváme převážně pro méně náročné odlitky na kvalitu (rošty do kamen). Při lití a chladnutí kovu do těchto forem vyplavou všechny nečistoty a struska na povrch odlitku a dochází ke zniku nečistě, bublinaté a nerovné plochy.

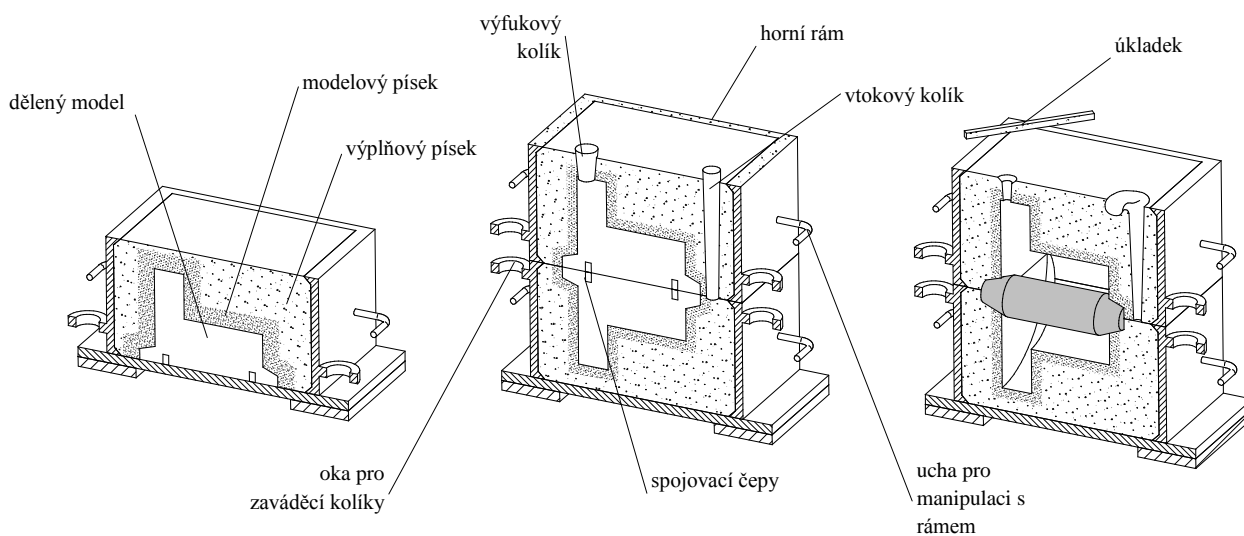
2.5.2 Uzavřené formování

V uzavřených formách působí na kov ve vtokové soustavě a výfuku statická váha kovu, získáme tak odlitky s jemnou strukturou a větší pevností.

Formování do dvou rámu

Na očištěnou formovací (modelovou) desku položíme spodní polovinu modelu a spodní formovací rám. Povrch modelu poprášíme slévačským práškem, aby se formovací materiál nepřilepil na model. Do rámu přesejeme sítem modelový písek a upěchujeme ho k modelu. Zbývající prostor vyplníme výplňovým pískem a upěchujeme ho. Přebytečný písek shrneme ocelovým pravítkem. Podle potřeby lze ještě formu odvzdušnit napíchnáním průduchů. Takto je zaformována spodní polovina formy.

Poté spodní rám překloupíme o 180°, očistíme dělicí rovinu a posypeme ji dělicím práškem pro snadnější rozebrání formy. Nasadíme druhou polovinu modelu se spojovacími čepy (posypeme ho slévačským práškem) a ustavíme kolíky pro vtokovou soustavu a výfuk. Na spodní rám nasadíme horní rám a zajistíme je zaváděcími kolíky proti sobě. Poté přesejeme do horního rámu modelový písek a upěchujeme ho. Ostatní prostor vyplníme výplňovým pískem, formu dobře upěchujeme a přebytečný materiál odstraníme ocelovým pravítkem. Z formy vytáhneme kolíky pro vtok a výfuk a upravíme lící jamku a výfuk. Potom formu rozebereme, překloupíme o 180° a lžičkou vytvoříme do formovacího materiálu vtokové zářezy. Pro zvýšení pevnosti písku se navlhčují hrany formy kolem modelu, aby při vyjímání modelu nedocházelo k porušování dutiny formy. Pak na model poklepeme paličkou, aby se formovací materiál odlepil, a model opatrně vyjmeme. Pokud jsme porušili dutinu formy, tak poškozené části musíme opravit. Líc formy nabarvíme ještě grafitovým práškem a poté horní i spodní díl formy složíme dohromady. Tímto způsobem je dokončeno zaformování. Formu určenou k sušení vysušíme a dopravíme na místo lítí.



obr. 8 Uzavřené formování do dvou rámu – a) zaformování spodní části, b) zaformování horní části, c) složená forma

Je-li odlitek opatřen dutinami, musíme do formy založit jádra na plochy, které jsou vytvořeny známkami na modelu. Jádra musí mít stejné vlastnosti jako formy. Ke zvýšení pevnosti jader se používají výztuhy z drátů nebo trubek. Polohu jader proti posunutí nebo prohnutí (dlouhá a těžká jádra) zajistíme ve formě jaderními podpěrkami.

Formování šablonováním

Tohoto způsobu výroby využíváme u velkých součástí, např. velké řemenice, setrvačníky apod. Šablonování je zdlouhavé, používá se pouze v kusové výrobě. Podle tvaru dráhy, kterou šablona při výrobě formy vykonává, je šablonování posuvné nebo rotační.

2.6 Strojní formování

Účelem strojního formování je **nahradit ruční práci**, bylo zmechanizováno hlavně pýchování formovacích materiálů a vyjímání modelů z formy. Výhody strojního formování spočívají zejména:

- ve vyšší produktivitě práce – byla odstraněna namáhavá práce, jako je pýchování a vyjímání modelů, které vyžadovalo zručnost
- v kvalitnějších a přesnějších odlitcích
- ve výrobě menšího počtu zmetků

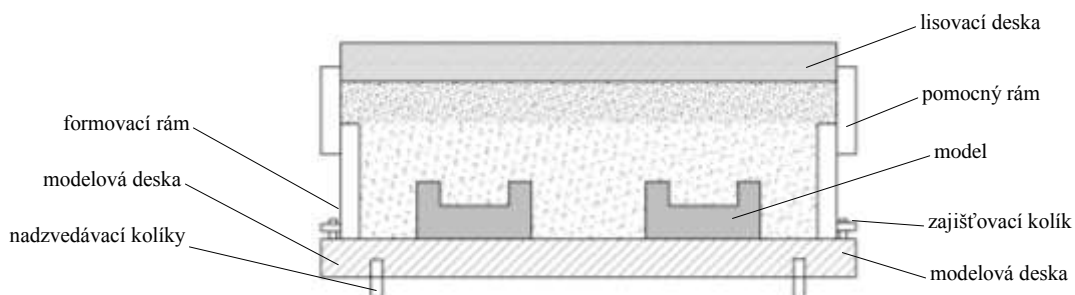
Základem strojního formování je **modelová (formovací) deska**, na které jsou **přípevněny modely odlitků a modely prvků vtokové soustavy**, jimiž je veden kov ke každému odlitku. Na modelové desce bývá obvykle větší počet menších modelů. Modelová deska je opatřena zajišťovacími a nadzvedávacími kolíky, ty zajišťují přesné umístění formovacího rámu na modelové desce a jeho správné zvedání kolmo k dělicí rovině. Modelová deska se z upěchovaného materiálu vyndává celá. Pýchování (zhušťování) formovacích materiálů se provádí lisováním, střešáním nebo metáním.

2.6.1 Formování lisovacími stroji

Při lisování se formovací materiál zhušťuje nestejně. V místě, kde na formovací materiál tlačíme přímo, je více zhuštěný než na místech vzdálenějších. Tento způsob formování můžeme rozdělit na lisování:

- *shora*

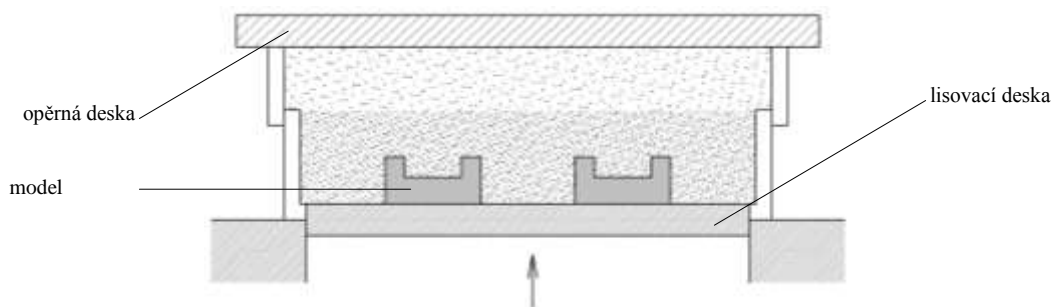
Na modelovou desku připevníme formovací a pomocný rám. Oba rámy naplníme formovacím materiálem a tlakem lisovací desky se přemístí formovací materiál z pomocného rámu do formovacího. K největšímu zhuštění formovacího materiálu dochází pod lisovací deskou, tam má být forma ale co nejvíce prodyšná, aby z ní mohly snadno unikát plyny. Největší zhuštění formovacího materiálu má být u modelu, proto se tohoto způsobu využívá pouze pro nízké a jednoduché odlitky.



obr. 9 Lisování shora

- *zdola*

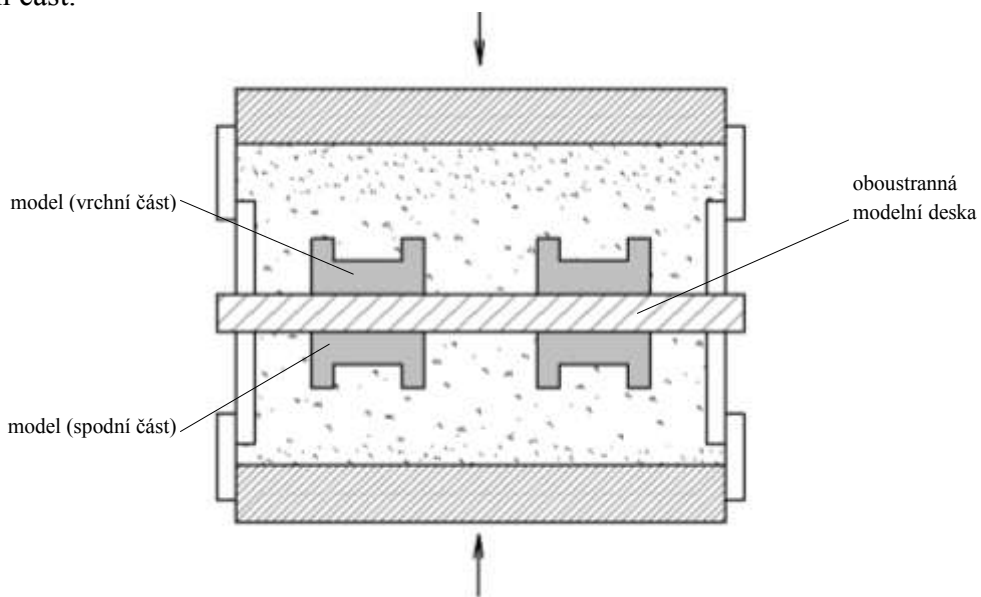
Při lisování používáme modelovou desku, která je zároveň deskou lisovací. Model do formy vtlačujeme, formovací materiál je nejvíce zhuštěn okolo modelu. Tento způsob se používá pro formování jednoduchých modelů.



obr. 10 Lisování zdola

- *oboustranné*

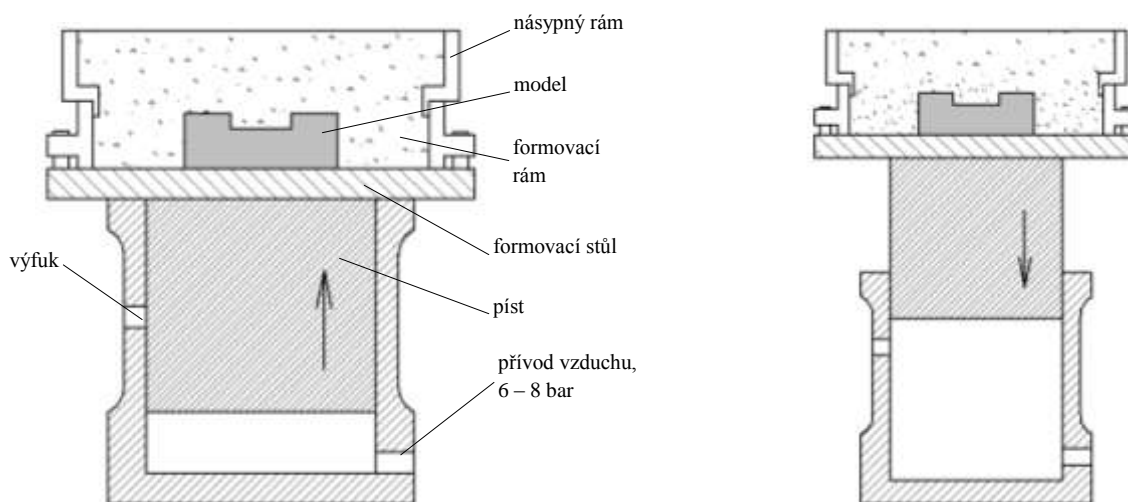
Používá se pro zvýšení produktivity práce. Formovací rámy vyplněné formovacím materiálem jsou z obou stran současně vtlačovány na oboustrannou modelovou desku. Na jednu stranu modelové desky je připevněna vrchní část modelu a na druhou stranu spodní část.



obr. 11 Oboustranné lisování

2.6.2 Formování střešacími stroji

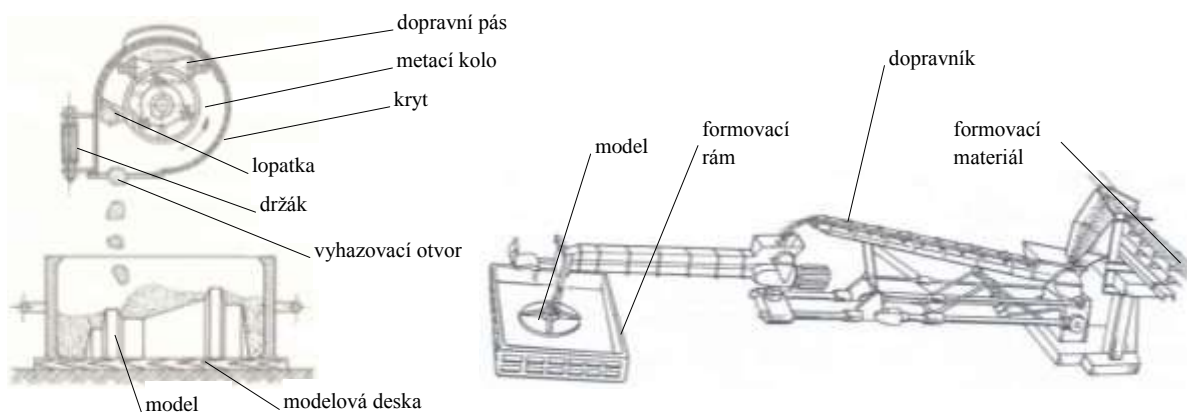
Střešání se provádí na střešacích strojích, nejčastěji s pneumatickým pohonem. Formovací materiál se zhušťuje nárazy formovacího stolu s modelovou deskou na válec formovacího stroje. Formovací materiál se nejvíce zhušťuje v okolí modelu, horní vrstvy jsou zhuštěny nedostatečně, proto se forma musí dopěchovat nebo dolisovat. Tento způsob je dnes nejpoužívanější při výrobě forem pro malé a střední odlitky.



obr. 12 Střešání – a) dolní poloha stolu, b) horní poloha stolu

2.6.3 Formování metacími stroji – pískometry

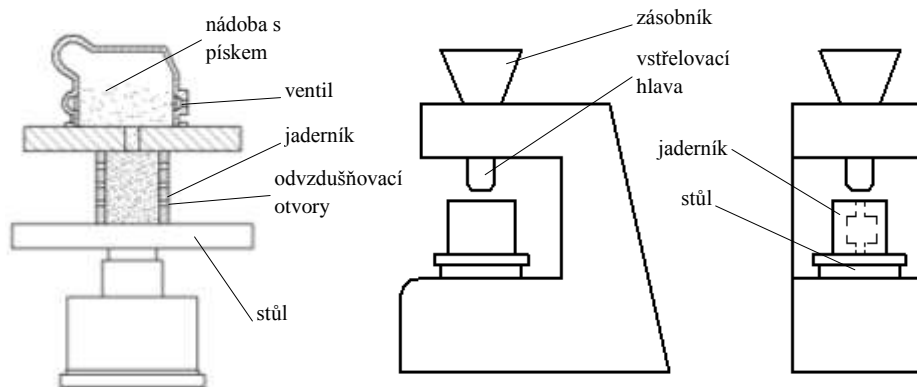
Formovací materiál je na model metán rotující lopatkou v metací hlavě. Formovací materiál je do metací hlavy doplňován ze zásobníku dopravníky s pryžovými pásy. Metací hlava je na kloubovitém rameni a lze s ní pohybovat nad celou formou. Formovací materiál je pěchován rovnoměrně. Tento způsob se používá pro výrobu velkých a hlubokých forem.



obr. 13 Metací stroj

2.6.4 Formovací stroje na jádra

- **vytlačovací stroje** – používají se pro výrobu válcových jader, vytlačena syrová jádra se nařežou na potřebnou délku, ukládají se na podložky a dávají se sušit
- jádra můžeme vyrábět také **stejnými formovacími stroji** jako při výrobě forem (**lisy, střešovací a metací stroje**)
- **foukání** – do kovového jaderníku, který je připevněn na stolu stroje, je z nádržky vháněn stlačeným vzduchem foukací hlavou formovací materiál
- **vstřelování** – ze zásobníku je formovací materiál plynule podáván do vstřelovací hlavy a z ní je vstřelován do jaderníku



obr. 14 Formovací stroje na jádra – a) foukání jader, b) vstřelování jader

2.7 Sušení forem a jader

Formy a jádra sušíme pro **zvětšení** jejich **pevnosti**, **prodyšnosti** a odstranění nežádoucí vlhkosti. Sušením se zpomaluje a prodražuje výroba, proto sušíme pouze ty formy, které sušení potřebují vzhledem ke svému tvaru, velikosti, tloušťce stěn a formovacímu materiálu, ze kterého jsou vyrobeny. Snížením vlhkosti se zabrání vzniku velkého množství par, ty by mohly odlitek poškodit.

Formy a jádra se suší přímo na místě formování nebo v sušících komorách. Sušící komory jsou uzavřené prostory. Sušící teplota závisí na druhu formovacího materiálu, pohybuje se v rozmezí 150 - 600°C. Menší sušící komory bývají celokovové, větší mají kostru z válcovaných profilů a jsou vyzděné. Vytápění je roštové, plynové, olejové nebo elektrické, využívá se také infračerveného záření (krátká doba sušení). Jádra se suší dielektricky – je to levné, krátké sušení s jednoduchou manipulací.

2.8 Trvalé formy – kokily a jádra, polotrvalé formy

Kovové formy (**kokily**) bývají zhotoveny ze šedé litiny, oceli nebo hliníkové slitiny. Jádra jsou vyrobena z oceli nebo písku. Používají se k lití velkého počtu odlitků (200 – 200 000). Jejich životnost je závislá na teplotě tavení odlévaného kovu, proto se používají pro kovy a slitiny s nízkou teplotou tavení, tj. slitin hliníku, hořčíku, zinku a mědi. Aby se zamezilo přímému styku kokily s tekutým kovem a zvýšila se životnost hliníkových slitin, tak se galvanicky pokovuje líc formy. Trvanlivost kokil se také prodlužuje žáruvzdorným nátěrem, slouží jako tepelná izolace, a nabarvením líce formy, které má za účel zlepšit vzhled a

strukturu odlitku. Forma se odvzdušňuje pomocí kanálků v dělicí rovině, musí být tak velké, aby se nezalily kovem a včas odvedly všechny páry z formy.

Odlitky z kovových forem mají velmi přesné rozměry, pěkný hladný povrch a nepotřebují velké přídavky na obrobení jako odlitky z netrvalých (pískových forem). V kovové formě kov rychleji chladne, tím vzniká jemnější struktura s větší pevností. Při lití šedé litiny a ocele na odlitky do kovových forem se v povrchových vrstvách odlitků vytváří cementit, ten způsobuje horší obrobiteľnosť odlitků, následně se proto provádí tepelné zpracování (žihání).

Trvalé formy se používají většinou dělené na dvě a více částí. Formy musí umožnit rychlé plnění kovem a rychlé otevření, aby se odlitky a jádra dala rychle vyjmout. To zabrání smršťování a vzniku trhlin.

Polotrvalé formy se vyrábějí z keramických hmot s vysokou žáruvzdorností. Používají se pro malé série odlitků.

2.9 Způsoby plnění forem roztaveným kovem

2.9.1 Gravitační lití

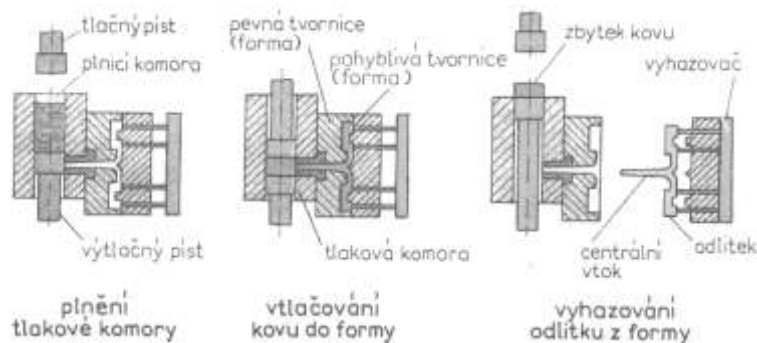
Gravitačním litím se plní formy vlivem vlastní tíhy kovu. Tímto způsobem se plní pískové nebo kovové formy. Použití: odlévání pístů, armatur a součástí elektrických strojů.

2.9.2 Lití pod tlakem

Jedná se o metodu přesného lití, přesnost odlitků se pohybuje v rozmezí $\pm 0,005$ až $\pm 0,2$ mm. Odlitky mají dobré mechanické vlastnosti a jakost povrchu, nemusí se již obrábět s výjimkou funkčních ploch. Tímto způsobem lze předlít i velmi malé díry (od 2,5 mm), závity (od 10 mm) i tvarové podrobnosti (písmo, znaky). Tloušťka stěn bývá od 1 do 3 mm.

Podstatou je vyplňování kovové formy roztaveným kovem při vysokém tlaku (10 – 100 MPa), velikost tlaku je závislá na velikosti stroje a druhu odlévaného materiálu. Potřebné tlaky pro uzavření formy, vstříknutí kovu do formy a otevření formy se většinou dosahují hydraulicky. Nejčastěji se odlévají slitiny cínu, olova, zinku, mědi, hliníku a hořčíku. Podle uspořádání vstříkovacího ústrojí jsou stroje s teplou a se studenou tlakovou komorou.

- *Stroje s teplou tlakovou komorou* – slouží k odlévání nízkotavitelných slitin (slitiny olova, cínu a zinku). Tavicí pec je součástí stroje a roztavený kov je tlačěn přímo z pece do formy. U starších konstrukcí pístem, u nových tlakovým vzduchem.
- *Stroje se studenou tlakovou komorou* – tavicí pec se nachází mimo stroj. Doprava roztaveného kovu (slitiny hliníku a mědi) do tlakové komory se provádí ručně slévačskou lžící nebo je automatizována.



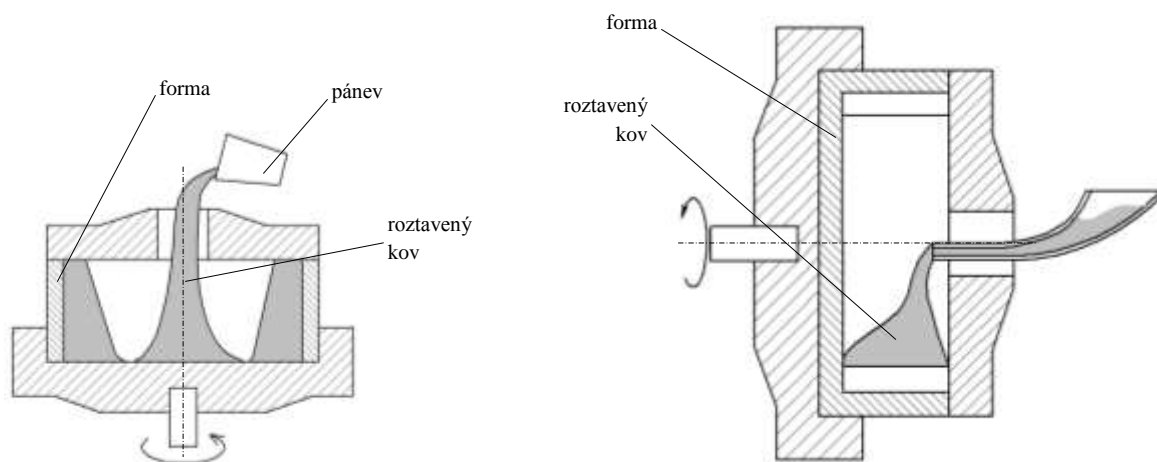
obr. 15 *Lití pod tlakem se studenou tavící komorou*

Použití: automobilový průmysl (tělesa karburátorů, převodovek a motorů), elektrotechnický, letecký, spotřební průmysl, atd.

2.9.3 Odstředivé lití

Při odstředivém lití vléváme roztavený kov do rychle otáčející se formy. Kov je odstředivou silou rovnoměrně přitlačován ke stěně formy, kde tuhne. Používá se zejména pro lití nízkotavitelných slitin zinku, cínu a olova. Výhodou je úspora jádra, odpadá použití vtokové soustavy a výfuku (plyny odcházejí volně do prostoru). Odlitky mají jemnozrnnou strukturu bez bublin. Tímto způsobem se nedají odlévat odlitky s neválcovou dutinou. Odstředivé lití dělíme na horizontální a vertikální. Stroj musí mít tuhou konstrukci a musí být vybaven zařízením na změnu otáček. Nastavitelné otáčky umožňují regulaci odstředivé síly, a tím i dokonalé vyplňování formy kovem. Dosahovaná přesnost je v rozmezí 0,05 až 0,1 mm.

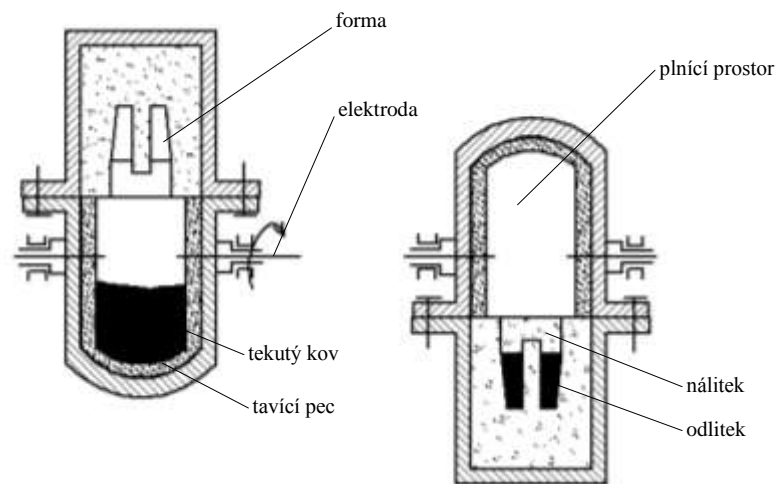
Použití: odlévání trub, válců, kroužků, ozubených kol apod.



obr. 16 *Odstředivé lití*

2.9.4 Sklopné lití

Při sklopném lití nasazujeme na obloukovou pec pískovou formu - pevně a neprodyšně. V peci se taví přesně stanovené množství kovu elektrickým obloukem mezi dvěma uhlíkovými elektrodami uprostřed tavicího prostoru, osa elektrod se shoduje s osou otáčení sklopné pece. Po překlopení pece o 180° je forma plněna klouzáním kovu po jedné straně formy a podél druhé strany vystupuje vzduch z dutiny formy. Pro zlepšení jakosti odlitku se nad tuhnoucí odlitek přivádí stlačený vzduch (forma je lépe vyplněna). Tato metoda se používá pro složité odlitky, jako jsou frézy, šroubovitě vrtáky atd.

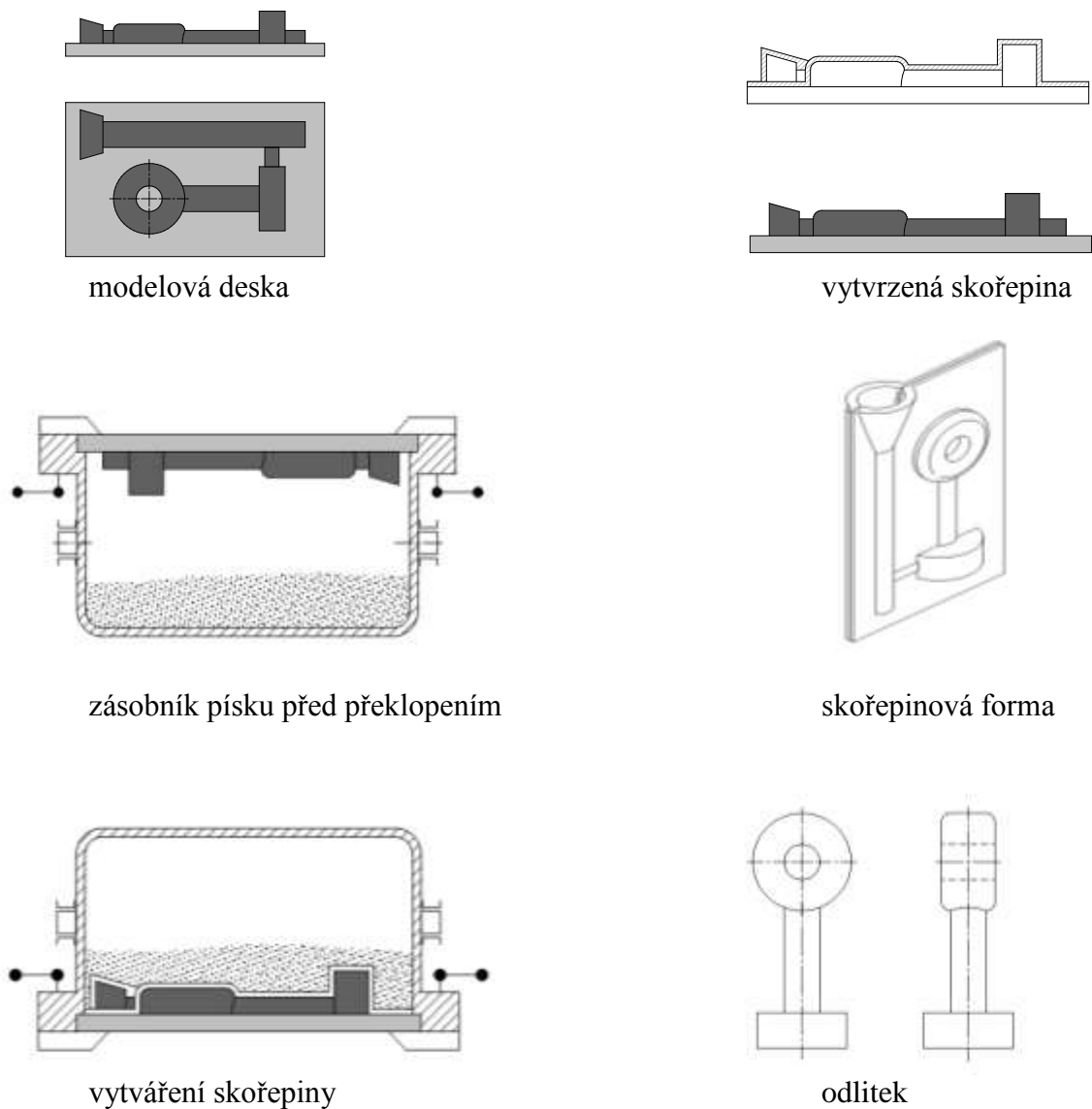


obr. 17 Sklopné lití – a) poloha před odlévání, b) poloha po odlévání

2.9.5 Lití do skořepinových forem

Při výrobě skořepin se používá kovová modelová deska s kovovým modelem a vtokovou soustavou. Desku ohřejeme na $150 - 250^\circ\text{C}$ a postříkáme emulzí (silikonový olej), která zabrání připékání směsi na model. Takto připravenou desku připevníme na zásobník s formovacím materiálem (směs jemného křemenného písku s přísadou 5 – 10% syntetické pryskyřice) a celé zařízení přetočíme o 180° . Písková směs se přesype na zahřátou modelovou desku, pryskyřice se roztaví, obalí zrnka písku, slepí je a vytvoří na povrchu modelu tenký povlak – skořepinu. Po dosažení potřebné tloušťky (5 – 12 mm) překlopíme zásobník s modelovou deskou zpět, aby odpadl přebytečný materiál. Sejmeme modelovou desku i se skořepinou, vložíme ji do předehřáté pece asi na 300°C , kde dochází k vytvrzení skořepiny. Po vyjmutí pece sejmeme skořepinu z modelové desky. Jádra se vyrábějí obdobným způsobem v jaderníku. Obě poloviny skořepiny tvořící formu složíme dohromady a spojíme lepením, sešroubováním nebo sepnutím. Složená forma se vloží do rámu, obsype litinovým nebo křemenným pískem a je připravena k lití.

Lití do skořepinových forem je vhodné pro hromadnou výrobu malých a středně velkých odlitků. Velmi dobře se tímto způsobem odlévají složitější odlitky, např. žebrované válce motorů, součásti čerpadel, aj. Do skořepin lze odlévat všechny druhy slitin kromě olovnatých bronzů.

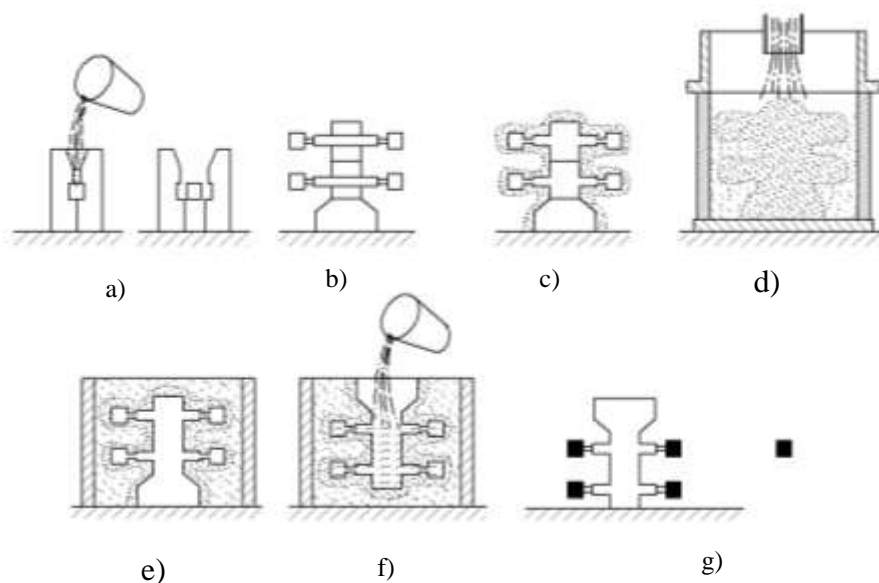


obr. 18 *Lití do skořepinových forem*

2.9.6 Lití metodou vytavitelných modelů

Jedná se o metodu přesného lití, kterou lze odlévat libovolné tvary s velmi hladkým povrchem. Nevýhodou je technologicky náročná výroba, proto se tohoto způsobu odlévání využívá pouze v hromadné výrobě. Model vyrobený z vytavitelných (spalitelných) materiálů (vosk, plasty, rtuť) se i s vtokovou soustavou namočí do řídké obalové směsi s ethylsilikátem a vrstva, která na něm ulpí, se po každém namočení usuší. Postup opakujeme, dokud nedosáhneme požadované tloušťky stěny formy. Modely se z forem vytavují. Po vytavení modelových hmot se formy vypalují v pecích, abychom zvýšili jejich pevnost a vytavili zbytky modelových hmot. Vzniklá skořepina se vloží do formovacích rámců a prostor mezi ní a rámem se zasype křemenným pískem. Do takto připravených forem se odlévá ihned po jejich vyjmutí z vypalovací pece.

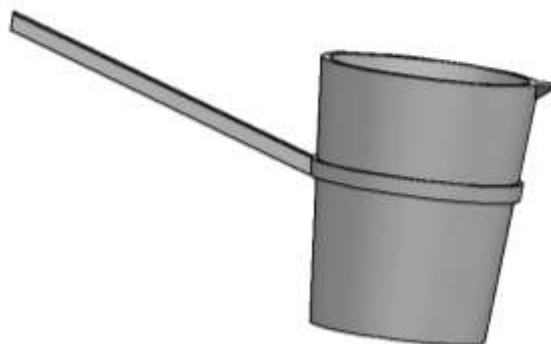
Tohoto způsobu se využívá zejména při odlévání uměleckých a klenotnických předmětů, chirurgických nástrojů, vozidel, zbraní, apod.



obr. 19 Postup výroby formy obalovým způsobem – a) vytvoření modelu, b) modely sestavené do stromečku, c) vytvoření keramického obalu, d) zasypání skořepiny, e) vypalování formy, f) lití roztaveného kovu do žhavé formy, g) odlitky

2.10 Odlévání kovů do forem

Roztavený kov se na místo odlévání dopravuje v **licích pánvích**, před odlitím kovu se přehřívají. Velikost pánví závisí na velikosti odlitků. Podle způsobu dopravy a způsobu odlévání rozlišujeme pánve **ruční** a **jeřábové**. Pánve pro ocel na odlitky mají spodní výpust', aby struska nevěkla s kovem do formy. Pro šedou litinu se používají jeřábové pánve s výlevkou a pro slitiny neželezných kovů používáme pánve nebo kelímky, ve kterých se slitiny taví přímo. Teplota odlévaného kovu se kontroluje optickým nebo ponorným pyrometrem.



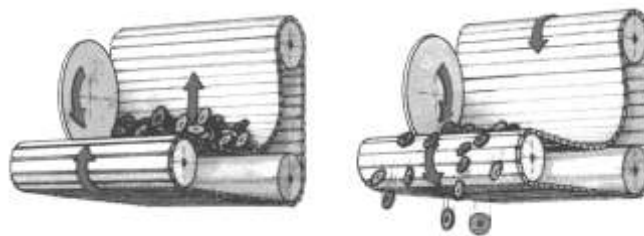
obr. 20 Nářadí na odlévání kovu

2.11 Vytlačování, čištění a úprava odlitků

Po odlití a ochlazení kovu ve formě se odlitky z formy **vytlačují** nebo **vytloukají**. Forma vyrobená z netrvalých formovacích materiálů (slévárenského písku) se rozbije. **Použitý formovací materiál** se dopravuje zpět do úpravny formovacích materiálů, kde se provádí jeho **regenerace**.

Po uvolnění odlitku z formy následuje odstraňování jader, oddělování vtokové soustavy, výfuků, případně nálitků, **čištění** a **úprav** povrchu odlitku. Způsob čištění je závislý na velikosti a počtu odlitků. Velké odlitky se čistí ručně sekáči a ocelovými kartáči nebo v tryskacích komorách. Malé odlitky se čistí pomocí strojů, např. v pásových čistících bubnech.

V některých případech se u odlitků provádí tepelné zpracování, aby se odstranila hrubá lící struktura (odlitek je křehký) a vnitřní pnutí. Tepelné zpracování (nejčastěji se používá žíhání) se provádí za účelem zlepšení obrobitelnosti nebo zvětšení povrchové tvrdosti (kalení).



obr. 21 Princip pásového čistícího bubnu

2.12 Vady a kontrola odlitků

Dobrý **odlitek nesmí mít žádnou vadu**, tj. odchylku od vzhledu, tvaru, rozměru, hmotnosti a struktury. Příčinami vzniku vad mohou být: nevhodná konstrukce odlitku, nevhodný formovací materiál, nesprávně provedená vtoková soustava, nevhodné tepelné zpracování aj. Mezi nejčastější vady patří:

- bubliny – příčinou je velké množství plynů v tavenině, nadměrná vlhkost formy, aj.
- staženiny (dutiny) – provedené špatné nálitkování
- trhliny za tepla – příčinou je nestejněsměrná tloušťka stěn
- praskliny – nevhodná konstrukce odlitků způsobující různý průběh smrštění, nesprávné tepelné zpracování aj.
- nezaběhnutí – příčinou je malá tloušťka stěn
- přesazení – špatně složená forma, opotřebované rámy aj.

Hrubé odlitky **procházejí technickou kontrolou**. Ta zjišťuje, jak byly dodrženy technické podmínky pro výrobu odlitků. Kontrola provádí laboratorní zkoušky (metalografické – zjišťuje strukturu odlitku, mechanické a technologické vlastnosti, atd.). Provádí také defektoskopické zkoušky, které (rentgenová metoda) zjišťují vnitřní vady, které jsou velmi nebezpečné.

Shrnutí učiva



Sléváním vyrábíme odlitky složitých tvarů, které by nešlo vyrobit jiným způsobem. Odlitky se vyrábějí z litiny, oceli na odlitky a slitin nezelezných kovů. Podkladem pro výrobu každého odlitku je výkres součásti a výkres odlitku.

Formy se zhotovují ve formovně, kam se dopravuje potřebné **modelové zařízení** (model, jádro, šablona), formovací **rámy** a **formovací materiál**, který se skládá z **ostřiva** a **pojiva** (nejčastěji se používá slévárenský písek). Formovací materiál by měl být pevný, soudržný, žáruvzdorný, prodyšný a dobře rozpadavý. Při formování (pěchování spodní a horní poloviny formy) vkládáme do formy kromě modelu také vtokovou soustavu a výfuky. **Vtoková soustava** slouží pro vlévání roztaveného kovu a **výfuky** pro unikání plynů vzniklých při odlévání. Po zaformování modelu formu otevřeme a opatrně vyjmeme model a vtokovou soustavu, abychom neporušili její dutinu. Pokud dutinu formy poškodíme, musíme ji opravit. Má-li odlitek dutinu, vložíme do formy jádro a složíme ji.

Roztavený kov se taví v pecích a na místo lití se dopravuje v licích pánvích. Kov odléváme do forem před vysušením nebo po vysušení (forma je pevnější a prodyšnější).

Ztuhlé odlitky (surové) z forem vytloukáme, poté odstraníme vtoky, jádra a výfuky (hrubý odlitek). Hrubý odlitek je konečným výrobkem slévárny, od čistého (obrobeného) odlitku se liší o přídavky na obrábění na funkčních plochách.

Vratný materiál (vtoky, výfuky aj.) se vrací zpět do slévárny. Použité modely, jaderníky a formovací rámy se po opravě vrací do skladu. Upotřebený formovací materiál se posílá do úpravy materiálu, kde se provede jeho regenerace.

V hromadné a sériové výrobě se na slévárnách využívá také jiných způsobů lití, zejména lití pod tlakem, sklopné lití, odstředivé lití, lití do skořepinových forem a lití metodou vytavitelných modelů.

Otázky a úkoly



1. Čím se zabývá technologie slévání a jaké materiály se používají pro odlévání?
2. Popište a načrtněte postup výroby odlitku.
3. Vysvětlete pojmy surový, hrubý a čistý odlitek.
4. Co tvoří modelové zařízení?
5. K čemu se používá model a jaké zásady platí při jeho navrhování?
6. Vysvětlete, kdy se používá jádro při výrobě modelu. Jaké vlastnosti musí mít materiály pro výrobu jader?
7. Z jakých složek se skládají formovací materiály? Vyjmenujte nejpoužívanější formovací materiály.
8. Jaké jsou funkce vtokové soustavy, odplynění forem a nálitků?
9. Jak rozlišujeme formy podle použití?
10. Popište a načrtněte postup ručního formování do dvou rámců.
11. V čem spočívají výhody strojního formování?
12. Popište metody strojního formování.
13. Jaké metody používáme při lití roztaveného materiálu do forem?

14. Jaké vady vznikají nejčastěji v odlitcích při odlévání? Jak je zjišťujeme?
15. Jakými zásadami se při navrhování odlitku řídí konstruktér a technolog?

Test

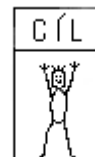
1. Pro slévání používáme materiály:
 - a. kovové
 - b. nekovové
 - c. kovové i nekovové *
2. Slévání se používá k:
 - a. odlévání odlitků *
 - b. tváření odlitků
 - c. svařování odlitků
3. Modelové zařízení tvoří:
 - a. model a písek
 - b. model a forma
 - c. model, jádro a šablona *
4. Jádro slouží pro vytvoření:
 - a. modelu odlitku
 - b. dutiny v odlitku *
 - c. jaderníku
5. Vtoková soustava se používá pro:
 - a. vlévání roztaveného kovu do formy
 - b. k odvodu vzduchu z formy
 - c. pro oba uvedené příklady *
6. Formy určené k odlévání kovů vyrábíme:
 - a. pouze netrvalé
 - b. netrvalé a trvalé
 - c. netrvalé, polotrvalé a trvalé *
7. Formovací rámy se používají k výrobě:
 - a. trvalých forem
 - b. netrvalých forem *
 - c. polotrvalých forem
8. Strojní formování:
 - a. nahrazuje ruční práci *
 - b. nepoužívá se
 - c. používá se výjimečně
9. Trvalá forma se nazývá:
 - a. ingot
 - b. kokila *
 - c. forma
10. Písek použitý při ručním formování se:
 - a. vyhazuje
 - b. použije se znovu upravený *
 - c. použijeme ho znovu bez upravení

3 TVÁŘENÍ

CÍLE

Po prostudování této kapitoly dokážete:

- definovat pojmy tvárnost a tváření
- rozlišovat tváření za studena a za tepla
- vyjmenovat zařízení potřebné pro ohřev teploty
- charakterizovat metody tváření za tepla a za studena



Tváření je technologické zpracování materiálů, při kterém **působením vnějších sil dochází k požadované změně tvaru, rozměrů a vlastností polotovaru**. Při tváření polotovaru se neporuší celistvost materiálu, částice materiálu se pouze přemísťují. Pokud chceme materiály tvářet, tak musí mít dobrou tvárnost.

Tvárnost je technologická vlastnost materiálu, vyjadřuje schopnost materiálu trvale měnit svůj tvar při zatěžování vnějšími silami. Tvárnost závisí na chemickém složení a struktuře materiálu, použité teplotě, rychlosti deformace, napětí atd., zjišťujeme ji pomocí technologických zkoušek.

Nejčastěji používané materiály pro tváření jsou **oceli**, nezelezné kovy, plasty a kompozity. U materiálu, který zpracováváme tvářením, musíme znát chemické složení, mechanické vlastnosti, teplotu potřebnou pro tváření a způsob ohřevu. Tvářením zpracováváme nejčastěji tyto polotovary: ingoty, vývalky, plechy, tyčový materiál atd.

V tvářeném materiálu probíhají tyto deformace:

- **pružná** (elastická) deformace
Vnější síly působící na materiál mění jeho tvar. Pokud na něj přestaneme vnějšími silami působit a nepřekročíme mez pružnosti, tak se materiál vrátí do původního stavu.
- **trvalá** (plastická) deformace
Při dalším zatěžování vzroste v materiálu hodnota napětí a překročí mez pružnosti, polotovar je trvale deformován, mění svůj tvar.

Materiál vůči plastické deformaci, která vzniká při tváření, klade odpor (deformační), tím se **zpevňuje**. Při dalším zatěžování se mez kluzu rychle přibližuje mezi pevností a v materiálu vznikají trhliny, tzn. **tvárnost materiálu je vyčerpána**. Deformační odpor se mění se změnou teploty, s rostoucí teplotou se kovy a jejich slitiny dají snáze tvářet.

Tvářecí procesy můžeme rozdělit podle hlediska **působících sil** na materiál na:

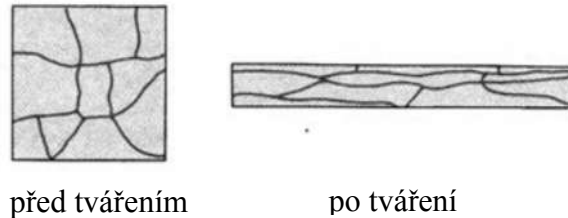
- objemové – kování, válcování, protlačování, tažení drátů, aj.
- plošné – stříhání, ohýbání, tažení aj.

Podle **teploty** použité při tváření rozlišujeme tváření:

- za studena
- za tepla

3.1 Tvářením za studena

Tváření za studena probíhá pod rekrystalizační teplotou, do 200°C. Při tvářením za studena dochází ke **zpevnění** materiálu, zrna se deformují ve směru tvářením a v materiálu se vytváří **textura**. Zpevněním se zvyšují hodnoty meze kluzu a meze pevnosti, houževnatost materiálu klesá.



obr. 22 Vznik textury – změna tvaru zrn před a po tvářením

Výhodou tvářením za studena je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch (nenastává okujení) a zlepšování mechanických vlastností díky zpevnění materiálu. Nevýhodou je použití velkých tvářecích sil a omezená tvárnost materiálu.

3.2 Tvářením za tepla

Tváření za tepla probíhá nad rekrystalizační teplotou, nad 750°C. **Materiál** se díky vysokým teplotám **nezpevňuje**, proto k tvářením můžeme použít menší síly než u tvářením za studena. U tvářením za tepla dochází v materiálu k zotavení a rekrystalizaci.

- **zotavení**
Po ohřevu se materiál snaží vrátit do rovnovážného stavu, to se projevuje snížením vnitřního napětí. Vlivem toho dochází k zániku napětí a deformací v materiálu.
- **rekrystalizace**
Nastává při dalším zvyšování teploty nad teplotu zotavení. V průběhu rekrystalizace se netvoří zrna nové fáze, vznikají zárodky a nová (nedeformovaná) zrna téže fáze. Nová zrna rostou na úkor deformovaných zrn.

Při tvářením za tepla vzniká důsledkem nečistot, které jsou obsažené v povrchových vrstvách krystalů, **vláknitá struktura** (vlákna kopírují tvar součásti). Vláknitá struktura ovlivňuje mechanické vlastnosti. Hodnoty mechanických vlastností jsou vyšší ve směru vláken než v kolmém směru. Vláknitost se nedá nijak odstranit, ani tepelným zpracováním.

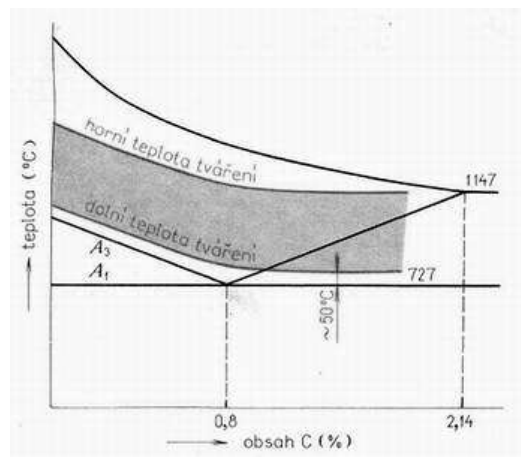


obr. 23 Vláknitost vzniklá při kování

Výhodou tváření za tepla je použití menších tvářecích sil a tím i méně nákladných strojů. Nevýhodou je kvalita povrchu součástí, ta je zhoršena vzniklými okujemi.

3.3 Ohřev materiálu

Materiál, který je určen ke tváření, ohříváme v pecích na tzv. **tvářecí teplotu**. Pásmo tvářecích teplot je ohraničeno horní a dolní tvářecí teplotou (ocel – oblast austenitu). Tvářecí teplota se během tváření přibližuje dolní tvářecí teplotě. Při tváření nesmíme překročit horní teplotu tváření (200°C pod teplotou solidu) – dochází ke **spálení oceli** (úbytek materiálu). Pokud jsme nedokončili tváření materiálu nad dolní tvářecí teplotou (50°C nad A_1 , A_3), tak musíme materiál znovu ohřát a poté tváření dokončit. Každým ohřevem materiálu dochází k jeho **oxidaci** a tím ke vzniku okují, proto musíme tvářet na co nejmenší počet ohřevů.



obr. 24 Oblasti tvářecích teplot u oceli

Nevýhody ohřevu:

- Při ohřevu **hrubne struktura** materiálu (k odstranění používáme tepelné zpracování – žíhání) a klesá jeho houževnatost.
- Povrch materiálu se vlivem vysokých teplot oduhličuje a vytváří se **okuje**. Proto musíme zajistit co nejrychleji rovnoměrný ohřev materiálu v celém jeho průřezu, aby **ztráty opalem** byly co nejmenší. Při jednom ohřevu činí ztráty opalem asi 3%.

Materiál se ohřívá v **pecích**, **cyklicky** nebo **průběžně**. U cyklických pecí se materiál sází na pevnou půdu pece a během ohřevu se většinou nepřekládá. V průběžných pecích se materiál ohřívá při plynulém průchodu pracovním prostorem pece. Vsázka může mít různé rozměry a hmotnost – kg, tuny. Podle druhu vytápění jsou pece elektrické nebo plynové. Pro tváření používáme nejčastěji tyto pece:

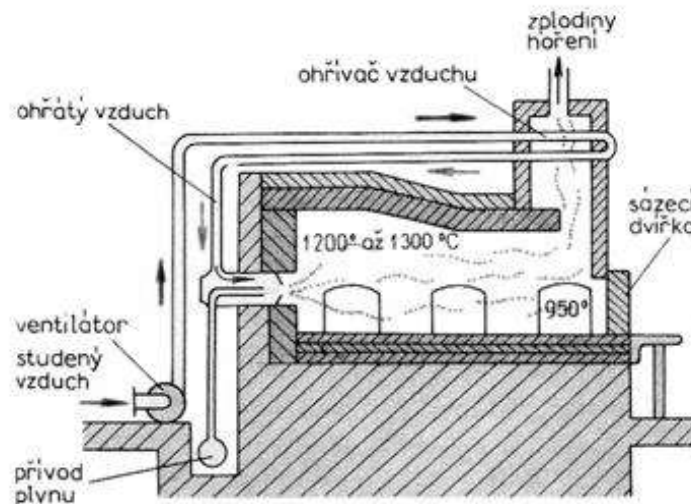
- **hlubinné** - se ohřívají pomocí hořáků umístěných v čelní stěně nebo ve spodku pece



obr. 25

Hlubinná pec

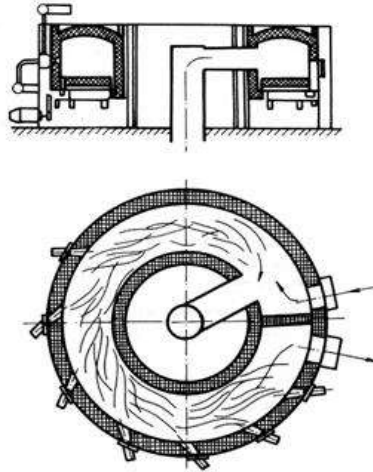
- **komorové** – hořáky jsou umístěny v bočních stěnách nebo v klenbě, pracují s cirkulací spalin



obr. 26

Komorová pec

- **narážecí** - jsou průchozí s dveřními otvory, pec má předehřívací, ohřívací a vyrovnávací pásma, spaliny jsou odváděny proti pohybu polotovaru
- **karuselové** - průchozí pece, nístěj má tvar mezikruží a je otočná, pohonem je možné měnit rychlost průchodu ohřivaného materiálu, a tím regulovat dobu ohřevu, hořáky jsou umístěny na vnějších stěnách, pec má předehřívací, ohřívací a vyrovnávací pásma



obr. 27 *Karuselová pec*

- **talířové** - mají otočnou nístěj a pouze jeden otvor pro vkládání a vyjímání polotovarů, v celém prostoru je téměř stejná teplota
- **štěrbinové** - používají se k ohřevu konců tyčí, trubek, tyčoviny
- **elektrické odporové** pece a **indukční** – snadná a přesná regulace, jednoduchá obsluha, u indukčních pecí je polotovar uvnitř indukční cívky, kterou prochází střídavý proud dané frekvence a vzniklé elektrické ztráty se přeměňují v teplo

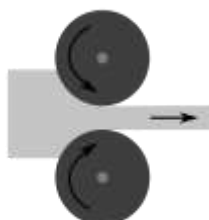


obr. 28 *Indukční pec*

3.4 Válcování

Při válcování prohříváme ztuhlé ocelové ingoty v pecích na stejnosměrnou teplotu (okolo 1000°C) a válcujeme je na **předvalky** - polotovary. Z předvalků se vyrábějí konečné výrobky - **vývalky**. Válcováním lze zhotovit tyče různých průřezů, dráty, pásy, plechy, trubky atd.

Válcování je **tváření** materiálu (kovu) mezi **rotujícími válci**. Materiál je mezi válci trvale deformován, je mezi válce vtahován a zároveň stlačován a prodlužován. Mezera mezi pracovními válci je menší než výstupní rozměr vývalku.



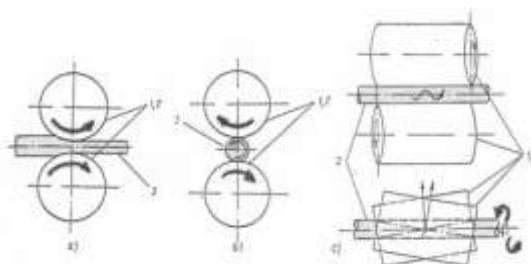
obr. 29 Princip válcování

Válcování se provádí:

- **za tepla**
- **za studena.**

Podle uložení os válců vzhledem k válcovanému materiálu a podle průběhu deformace rozlišujeme válcování:

- **podélné** – materiál je tvářen v podélném směru, výroba tyčí, kolejnic, atd.
- **příčné** – materiál kruhového průřezu je tváření v příčném směru, výroba osazených hřídelů
- **kosé** – materiál kruhového průřezu je tvářen mezi válci s mimoběžnými osami, výroba trubek



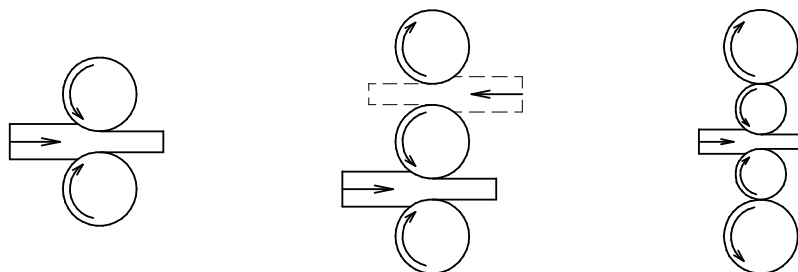
obr. 30 Princip podélného (vlevo), příčného (uprostřed) a kosého (vpravo) válcování (1, 2 – válce, 3 – materiál)

Válcování se provádí na **válcovacích stolicích**, jsou to uspořádané válce, které potřebujeme k výrobě, společně s příslušenstvím. Počet válců stolice závisí na způsobu práce.

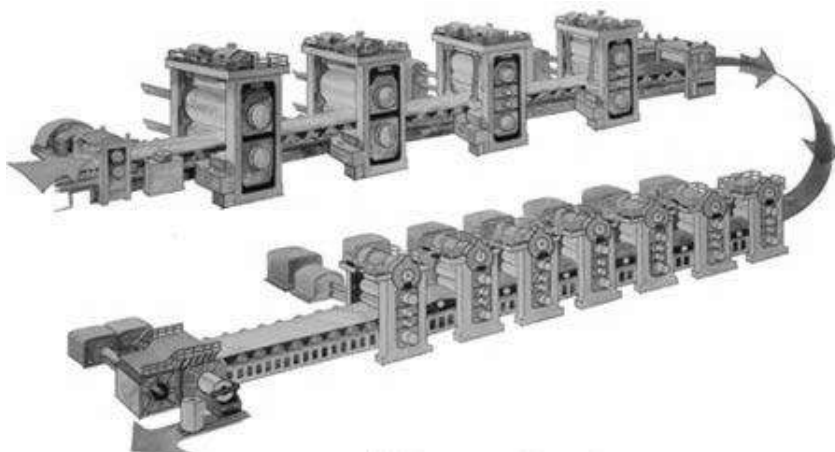
Rozeznáváme válcovací stolice:

- **dvouválcové** (dua)
- **trojválcové** (tria)
- **univerzální.**

Válce mohou být **hladké** nebo **kalibrované**. Válcování většinou nedokončíme na jedné válcovací stolici. Válcovací stolice jsou pak uspořádány za sebou nebo vedle sebe do **válcovací tratě**. Po válcování následuje kalibrace rozměrů, jakosti struktury, povrchu a tvaru. Kalibrace závisí na tvaru konečného polotovaru.



obr. 31 Příklady válcovacích stolic



obr. 32 Válcovací trať

3.4.1 Výroba polotovarů válcováním

Válcování plechů

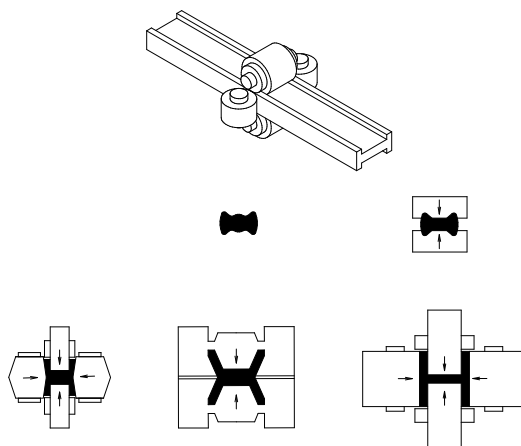
Plechů válcujeme z plochých předvalků na válcovacích stolicích s hladkými válci. Nejprve válcujeme plech napříč, abychom dosáhli požadované šířky. Poté otočíme plech o 90°C a válcujeme ho na potřebnou délku, tím získáme stejnou tloušťku a stejnosměrné vlastnosti v celém průřezu materiálu (v příčném i podélném směru).

Válcováním získáme plechy **tenké** ($t < 4$ mm) a **tlusté** ($t > 4$ mm) v tabulích různých rozměrů. Povrch plechů může být přirozený (kovově lesklý a matný) nebo povrchově upravený (pozinkovaný, pocínovaný, lakovaný, atd.)

Pokud požadujeme u plechů hladký povrch, vysokou přesnost a dobré mechanické vlastnosti tak dokončujeme jejich válcování za studena, i když výchozím polotovarem jsou plechy válcované za tepla.

Válcování profilů

Profily různých tvarů a rozměrů válcujeme na profilových válcovacích stolicích. Válcovaný materiál prochází postupně kalibry, které se zmenšují, aniž se válce k sobě přibližují. Poslední kalibr má tvar požadovaného profilu. Válcují se profily kruhové, čtyřhranné, šestihřanné, atd., i tyče různých profilů jako I, T, U, H, L, kolejnice atd.



obr. 33 Válcování H profilu

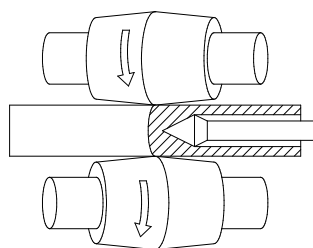
Válcování drátů

Dráty o průměru větším než 5 mm (menší průměry se vyrábějí tažením) se válcují za tepla na speciálních, kontinuálních (nepřetržitých) válcovacích tratích s kalibrovanými válci.

Válcování trubek

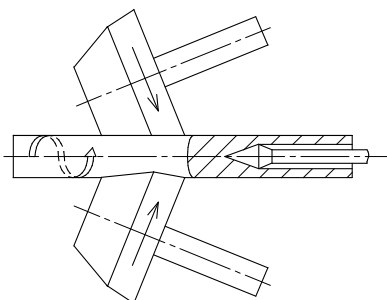
Válcováním se vyrábějí tzv. **bezešvé** trubky, nejpoužívanější je Mannesmannův a Stiefelův způsob. Rozměry trubek jsou dány jejich průměrem a tloušťkou stěny.

- **Mannesmannův** způsob – polotovar je válcován otáčejícími se válci (stejný smysl otáčení) s mimoběžnými osami. Kromě otáčení se polotovar šroubovitě posouvá. Při válcování působí na materiál jednostranné stlačení, to vyvolá ve středu tahové napětí, které rozruší materiál. Porušený materiál se posouvá ze středu směrem ven (k obvodu) a vytvoří tak dutinu. Dutina vzniklá uprostřed vývalku má nepravidelný tvar. Pro získání hladkého povrchu dutiny provádíme kalibraci trnem. Tímto způsobem se vyrábí krátké tenkostěnné trubky, které se pak ještě válcují na potřebnou tloušťku stěny a délku.



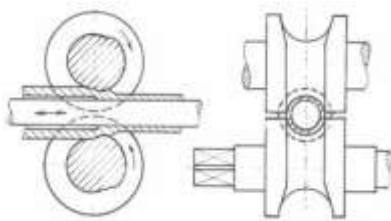
obr. 34 Výroba trubek podle Mannesmanna

- **Stiefelův** způsob – podobný jako Mannesmannův způsob, odlišnost je ve tvaru použitých pracovních válců (válců mají tvar kotoučů). Tímto způsobem válcujeme trubky menších průměrů.



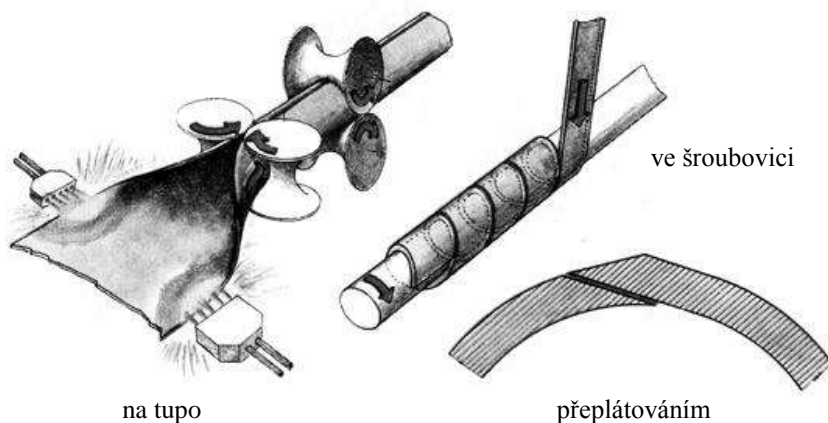
obr. 35 Výroba trubek podle Stiefela

K další změně průměru a prodloužení vývalku se používá tzv. **poutnická stolice**. V průběhu válcování dochází ke změně vnějšího i vnitřního průměru a délky trubky. Při tomto způsobu výroby používáme trn. Průměr trnu odpovídá průměru trubky, ale jeho délka je větší než u děrovaného polotovaru.



obr. 36 Schéma válcování na poutnické stolici

Pozn. Výroba bezešvých trubek (válcování) je nákladná, proto vyrábíme trubky **svařované** (se švem). Jejich výroba je levnější a nejsou na ně kladeny tak vysoké konstrukční požadavky jako u trubek bezešvých. Švové trubky se vyrábějí z pásové oceli. Okraje oceli se svařují natupo, přeplátováním nebo ve šroubovici.



obr. 37 Výroba trubek svařováním

3.5 Kování

Kování patří k nejvíce používanému způsobu tváření za **tepla**. Kováním získáme tvary požadovaných rozměrů a zároveň lepší mechanické vlastnosti (prokování). Prokováním odstraníme hrubou strukturu materiálu a případné vady ingotů (vznikly v materiálu při jeho výrobě - odlití) – jejich vlivem dochází ke zhoršování mechanických vlastností. Materiál se při kování ohřívá na nejvyšší možnou **kovací teplotu**, to nám umožňuje používat menší tvářecí síly.

Konečným výrobkem kování je **výkovek**. Kování dělíme podle způsobu práce na **ruční** a **strojní**. Hlavními výhodami kování je menší spotřeba materiálu, optimální přesnost výkovku, vysoká jakost tvářeného kovu a náklady spojené s výrobou součástí.

Kovat lze téměř všechny tvárné kovy a jejich slitiny. Nejčastěji se používají ocele a neželezné kovy jako jsou měď, hliník, titan a jejich slitiny. Pro neželezné kovy a jejich slitiny platí stejné zásady jako u kování ocelí.

3.5.1 Ruční kování

Materiál se při ručním kování ohřívá na kovací teplotu ve výhni nebo v malých pecích. Kovář získá požadovaný tvar výkovku pomocí ručního kovářského náradí (např. opakovanými údery kladiva na tvářený materiál). Ruční kování je velmi namáhavá, nákladná a zdlouhavá práce vyžadující zručnost kovářů.

Kovářské náradí používané u ručního kování:

- výheň – pevná nebo přenosná s nástroji pro úpravu ohně
- kladiva – jednoruční, dvouruční, probíjecí, atd.
- kleště – ploché, kruhové, tvarové (pěchovací)
- sekáče
- průbojníky
- zápustková (probíjecí) deska
- měřidla – hmatadla, kalibry, atd.



obr. 38 Kovadlina

Požadovaného rozměru výkovku dosáhneme různými operacemi:

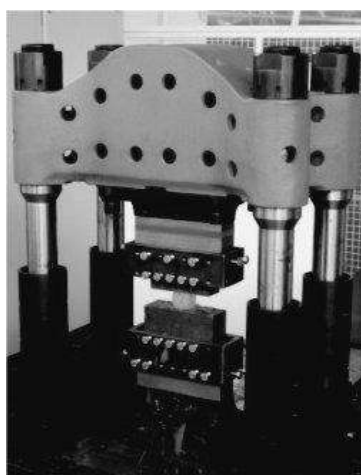
- pýchování – úderem kladiva se materiál stlačuje a zároveň rozšiřuje
- prodlužování – více pýchovacích kroků za sebou na kovadlině nebo přes její hranu
- sekání – rozdělování materiálů
- osazování – zeslabování průřezu materiálu v určité délce
- děrování – prorážení různých děr pomocí průbojníků
- ohýbání – nejčastěji se ohýbá přes hranu kovadliny, materiál musí být v místě ohybu nejdříve napýchován, aby nedošlo k zeslabení jeho průřezu (materiál by mohl také prasknout)
- kování profilů – např. kování kruhového průřezu z výchozího čtyřhranného polotovaru
- kovářské svařování - svařovat lze natupo nebo přeplátováním, materiál se musí ohřát na teplotu tzv. bílého žáru (ocel - 1300°C)

3.5.2 Strojní kování

Stroje nám ulehčují namáhavou a těžkou práci. Zrychlují výrobu a tím je zvýšena i produktivita práce. Pomocí strojního kování můžeme vyrábět velmi těžké výkovky (tuny). Strojní kování dělíme na **volné** a **zápustkové**.

Ruční práce je nahrazena stroji:

- **lisy** - působí na materiál klidnou silou (tlakem), často kováme na jeden zdvih
 - prokovávají materiál v celém jeho průřezu
 - vzniklý povrch výkovku není čistý a rovný, to je způsobeno zatlačováním okují do povrchu výkovku, tím je zhoršena jeho obrobitelnost
- **buchary** - působí na materiál údery (rázy) beranu a otřásají celým okolím
 - prokovávají materiál pouze do určité hloubky
 - vlivem otřesů, které vznikly rázy bucharu, opadávají okuje z výkovku, povrch výkovku je čistý a lze lépe obrábět



obr. 39 Kovací lis a buchar

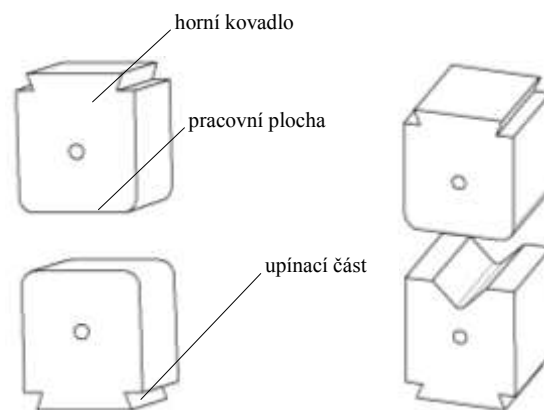
Volné kování

Při volném kování je materiál tvářen rázy nebo tlakem stroje. Kovaný materiál volně teče ve směru kolmém k působící síle. Výchozím polotovarem jsou předvalky a ingoty. Získaný povrch výkovku je hrubý a nerovný.

Volně kované výkovky se navrhují tak, aby jejich tvar byl co nejjednodušší. Jejich rozměry jsou zvětšeny o technologické přídavky a přídavky na obrábění. Pro sestavení správného výrobního postupu musíme znát výkres výkovku.

U volného kování používáme jednoduché nástroje, přípravky a stroje. Jejich tvar a velikost jsou přizpůsobeny velikosti výkovku. Nejpoužívanějším nástrojem jsou **kovadla** (horní a spodní), na lis nebo buchar se upínají pomocí rybinovité části. Pro snazší manipulaci jsou kovadla opatřena v čelních stranách otvory, do kterých zavěšujeme řetězy jeřábu (přenášení pomocí jeřábů). Pracovní plochy kovadel jsou kaleny. Dále se používají kovátko, kleště, sekáče, průbojníky, osazovací příložky, měřidla, atd.

Tvaru výkovku dosáhneme některou ze základních kovářských operací nebo jejich kombinací. Základní operace jsou stejné jako u ručního kování: pěchování, prodlužování, sekání, děrování, osazování atd. Pro manipulaci s ohřátým materiálem používáme manipulátory.



obr. 40 Typy kovadel

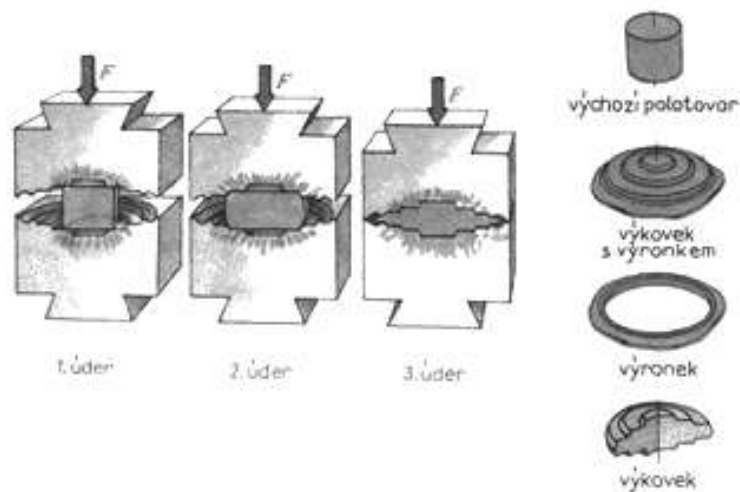
Zápustkové kování

Zápustkové kování se používá k výrobě velkého počtu tvarově stejných součástí. **Zápustka** je nejčastěji dvoudílná (horní a spodní) forma vyrobená z nástrojové oceli se zvýšenou odolností proti otěru a vysokým teplotám, její dutina má tvar shodný s výkovkem. Dutina zápustky je zhotovena obráběním nebo vytlačováním, je zvětšena o hodnoty smrštění vychladlého kovu, popř. o přídavky na obrábění.

Zápustkovým kovááním dosáhneme přesnějších tvarů výkovků, lepší jakosti povrchu a vyššího stupně prokovaní než u volného kování. Průběh vláken sleduje obrys výkovku (lepší mechanické vlastnosti). Přesnost rozměrů lze zlepšit kalibrováním, výkovky se pak nemusí obrábět. Rozměry a velikost výkovku jsou omezeny použitím kovacího stroje (závisí na kovací síle a rozměrech stroje).

Při zápustkovém kování vložíme ohřátý materiál do dutiny spodní zápustky a horní zápustka se úderem bucharu nebo tlakem lisu přitlačuje na spodní zápustku. Zápustka je na bucharu

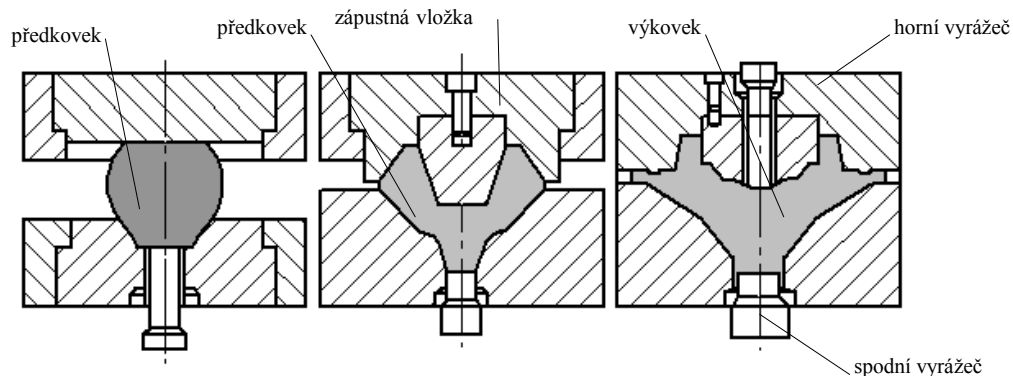
upevněna pomocí rybinovité části a na lisu šrouby. Materiál vložený do zápustky má větší objem než výkovek, aby dokonale vyplnil dutinu zápustky. Přebytný materiál odtéká do výronkové drážky. Výronek se po kování ostříhne protlačáním výkovku střížnicí.



obr. 41 Zápusťkové kování

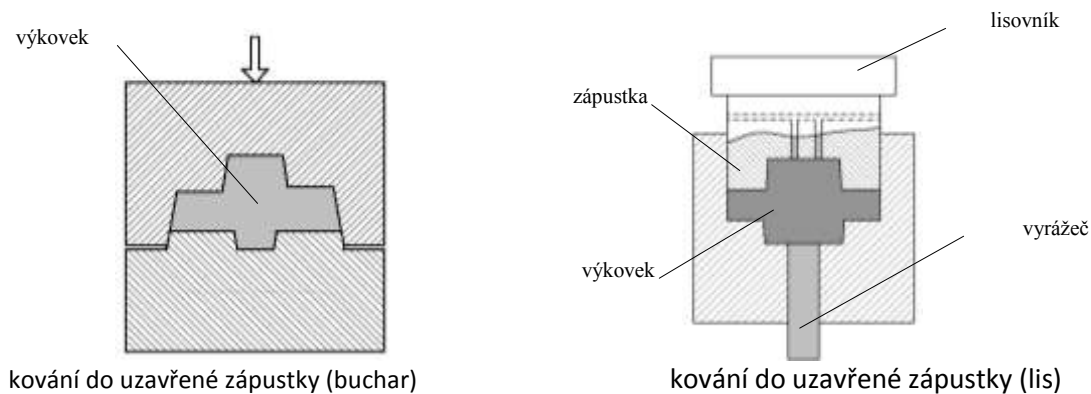
Materiál potřebný pro zápusťkové kování má mít přibližně tvar dutiny, to umožní rychlejší plnění formy a zabrání přebytečnému odtékání materiálu do výronku. Provádíme tzv. **předkování** – volně, v zápusťkách nebo na kovacích válcích. Pokud mají být ve výkovku průchozí díry (nekováme je přímo) naznačíme je předkováním tzv. blány, ta se odstraní odstřížením nebo se děruje.

Složité výkovky nelze vyrobit najednou, musíme je kovat postupně. K tomu používáme **postupové zápustky**. U postupové zápustky rozlišujeme dutiny předkovací (v převážné míře dutiny otevřené) a dutiny dokončovací (uzavřené).



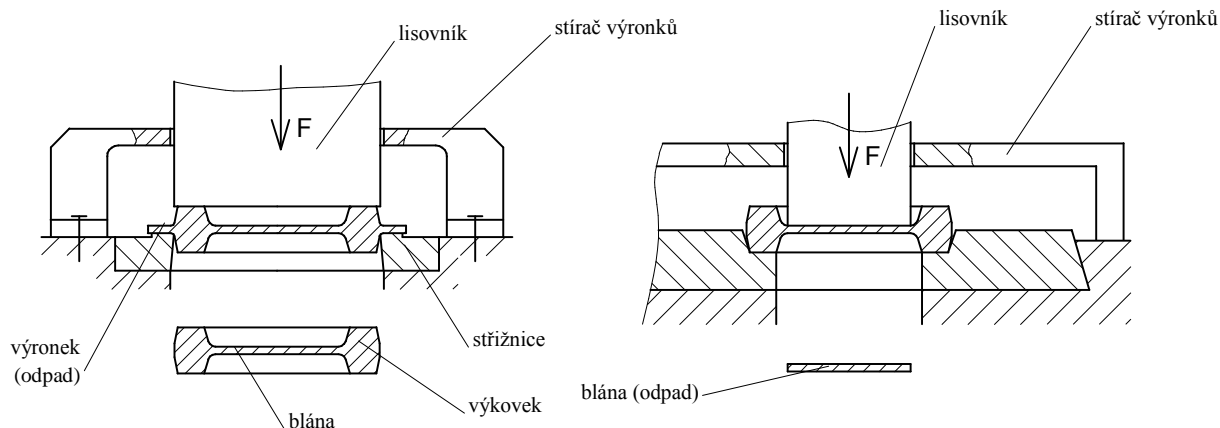
obr. 42 Postupové kování

Výkovky s minimálními přídávky na obrábění a úkosity se vyrábějí v uzavřených zápusťkách (bez výronku) **přesným kovááním**. U tohoto způsobu kování musí být přesně stanoveno množství potřebného materiálu. Přesné kování se provádí na lisech i bucharech. Tímto způsobem se vyrábějí nejčastěji výkovky rotačních tvarů.



obr. 43 Přesné kování

Hotové výkovky se zbavují okují mořením v kyselině solné nebo sírové, aby se snadněji uvolnily a následně odprýskaly tvořícím se vodíkem, který vzniká působením kyseliny na kov. Výkovky mají nestejnou strukturu a nestejnou mechanickou vlastnosti, proto se tepelně zpracovávají (normalizačně žijají), dále se kontrolují a kalibrují na požadovaný rozměr.



obr. 44 Úprava výkovku

3.6 Protlačování

Protlačování můžeme rozdělit podle použité **teploty** na protlačování:

- za tepla
- za studena

Při protlačování je materiál deformován silami vyvolanými tlakem **průtlačníku** a **průtlačnice**. Materiál se nejčastěji přemísťuje ve směru pohybu nástroje. Nástroj se nazývá **protlačovadlo**, výrobek **protlaček**. Nástroj je opatřen stěračem, který při zpětném zdvihu stáhne protlaček z průtlačníku. Protlačování se používá na výrobu konečných výrobků nebo polotovarů (trubky, tyče, profily) v sériové výrobě, provádí se na lisech.

Polotovary používané u protlačování mají tvar plných nebo dutých špalků, prstenců, tyčí, trubek, apod. Tyče a trubky se na požadovaný tvar dělí řezáním, stříháním nebo upichováním. Povrch ocelových polotovarů se upravuje žiháním, vzniklé okuje se odstraňují otrýskáváním

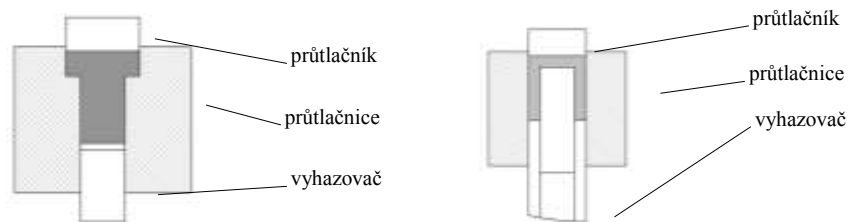
nebo omíláním. Povrch polotovarů se upravuje ještě fosfátováním, abychom snížili tření a přetvárný odpor materiálu při protlačování.

Pro protlačování se používají materiály s vyšší tažností a kontrakcí např. ocel s obsahem uhlíku do 0,2% a neželezné kovy jako jsou měď, hliník, cín, olovo a jejich slitiny.

Přesnost protlačků je velmi vysoká, přídatky na obrábění jsou minimální. Rozměry protlačků se většinou před montáží již nemusí upravovat. Využití materiálu je 90 - 100%.

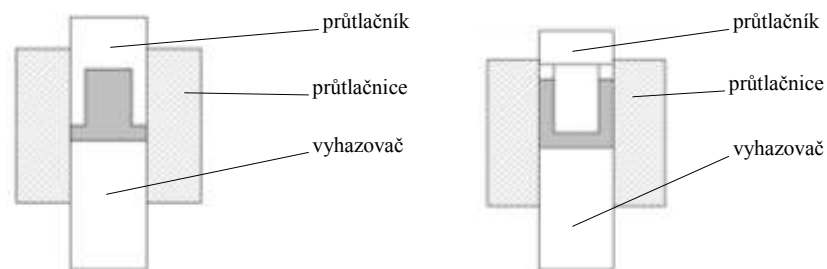
Podle směru pohybu tvářeného materiálu vzhledem k pohybu průtlačníku rozlišujeme protlačování:

- **dopředné** – materiál se pohybuje ve stejném směru jako průtlačník, používá se při tváření čepů, šroubů, pouzder, apod.



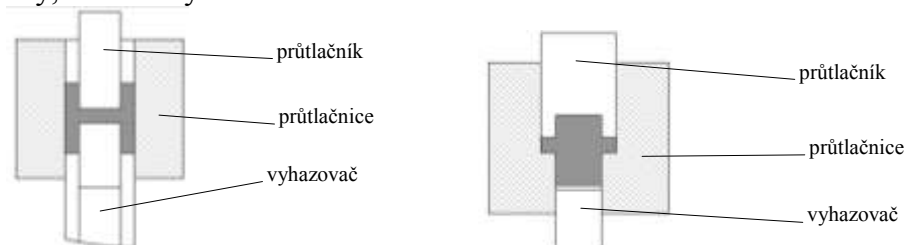
obr. 45 Princip dopředného protlačování

- **zpětné** – materiál se pohybuje v opačném směru, používá se k výrobě dutých protlačků



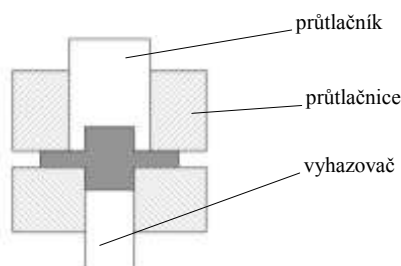
obr. 46 Princip zpětného protlačování

- **kombinované** - kombinace dopředného a zpětného protlačování, materiál se pohybuje ve směru i proti směru pohybu průtlačníku, tímto způsobem se vyrábějí profilové výrobky, nemusí být válcové



obr. 47 Princip kombinovaného protlačování

- **stranové** - tvářený materiál se pohybuje kolmo na směr pohybu průtlačníku, slouží k výrobě protlačků s vnějším i vnitřním oboustranným osazením



obr. 48 Princip stranového protlačování

3.7 Stříhání

Stříhání je oddělování materiálu v celém jeho průřezu protilehlými hranami střížného nástroje (**nůžky, stříhadla**). Stříháním se zhotovují polotovary nebo výrobky různých tvarů z plechů, pásů, profilů, atd. – **výstřížky**. Tvar výstřížku a jeho uspořádání na páse ovlivňuje hospodárné využití materiálu. Stříhání se používá také jako pomocná operace při výrobě strojírenských výrobků např. ostřihování výtažků, výkovek, atd.

Stříhání lze dělit také podle **teploty**:

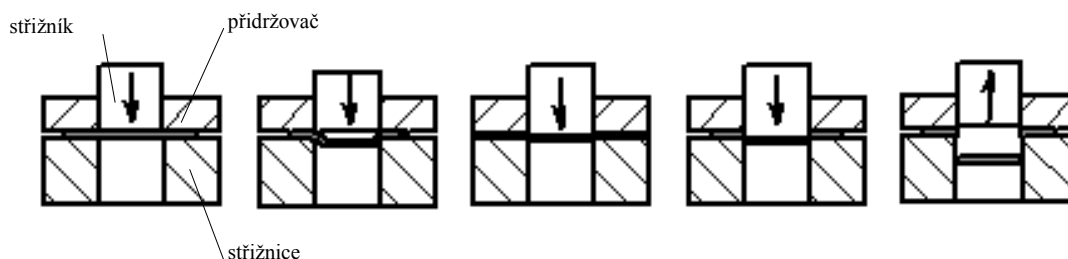
- za tepla - tvrdší a tlustší materiály, ohřev na teplotu okolo 700°C
- za studena – měkké materiály - plechy, oceli (pevnost do 400 MPa)

Mezi nejdůležitější základní operace stříhání patří:

- děrování – vytváření otvorů
- ostřihování – oddělování přebytečného materiálu
- vystřihování – vystřihování určitých tvarů z materiálu
- prostřihování – vystřihování z materiálu po částech
- přistřihování – dosažení přesnějších tvarů, atd.

Průběh stříhání lze rozdělit do tří fází:

1. fáze - oblast pružných deformací, materiál se stlačuje, ohýbá a vtlačuje do otvoru střížnice
2. fáze - oblast plastických deformací, střížník se vtlačuje do plechu a ten do otvoru střížnice, napětí překračuje mez kluzu a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti
3. fáze – napětí dosáhlo meze pevnosti, v materiálu na hranách střížníku a střížnice vznikají první trhliny, ty se rozšiřují, až dojde k usmýknutí materiálu v celém průřezu



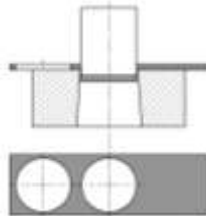
obr. 49 Fáze stříhání

Výstřížek je oddělen od zbytku materiálu dříve, než projde střížník celou tloušťkou materiálu. Dalším pohybem střížníku je výstřížek ze střížnice vytlačen. Pro snadné oddělení materiálu musí být mezi střížníkem a střížnicí střížná **vůle**. Velikost vůle závisí na tloušťce a pevnosti materiálu. Musí být taková, aby se stříháním získal co nejkvalitnější výstřížek. Střížná vůle se pohybuje v rozmezí 3 – 12% tloušťky materiálu (ocel 0,05 – 0,07 tloušťky). Při stříhání se materiál ohýbá, aby nedošlo k zaklínění materiálu mezi nože, používají se **přidržovače**. Průběh stříhání nůzkami je podobný.

Nástroje pro stříhání

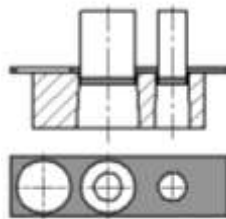
Nástroje - **nůžky** a **stříhadla** se vyrábějí z nástrojové uhlíkové oceli v různých tvarech (rovné, šikmé, kruhové, profilové nože) a velikostech (závisí na podobě výstřížku a použité technologii stříhání).

- **nůžky**
 - pásové – stříhání plechů různé šířky
 - tabulové – stříhání plechů
 - křivkové – vystřihování různých tvarů, ostřihování výtažků, výlisků atd.
 - okružní – vystřihování kotoučů a mezikruží
 - kmitací – ostřihování výlisků, vystřihování drážek a tvarových děr
- **stříhadla** - hlavní části jsou **střížník** a **střížnice**, materiál je veden pomocí vodítka (při zpětném chodu má funkci stírače) mezi střížníkem (pohyblivý) a střížnicí (pevná), posuv mezi jednotlivými zdvihy střížníku je omezen dorazem, podle počtu prováděných operací dělíme stříhadla na:
 - *jednoduchá* – používají se pro jednu operaci, např. vystřihování jednoduchých tvarů z pásu plechu, poloha pásu je zajištěna koncovým dorazem, před dalším vystřížením se pás posune o krok (velikost výrobku s přírůstkem)



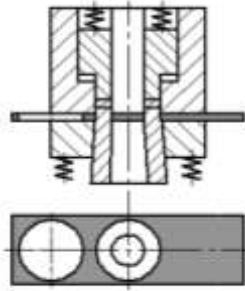
obr. 50 Jednoduché stříhadlo

- *postupová* – výstřížek se zhotovuje postupně (v několika krocích), prvním krokem je děrování, dalším je vystřížení obvodu výstřížku, při postupném stříhání využíváme při zakládání pásu načínacího dorazu, dále je poloha pásu zajištěna koncovým dorazem



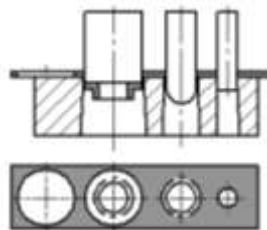
obr. 51 Postupové stříhadlo

- *sloučená* – více kroků je sloučeno v jednu operaci, na jeden zdvih vyrobíme výstřížek – dochází k děrování i vystřížení obvodu současně



obr. 52 Sloučené stříhadlo

- *sdužené* – sdružení více pracovních úkonů (např. stříhání, děrování, ohýbání, tažení, atd.) na více kroků



obr. 53 Sdužené stříhadlo

3.8 Tažení

3.8.1 Tažení dutých těles

Tažení je tvářecí proces, v jehož průběhu je plech tvářen (výstřížek – přístřih) v jednom nebo několika tazích v duté těleso jednoduchého nebo složitého tvaru (nejčastěji polouzavřené nádoby obvykle rotačního tvaru). Tvářené polotovary musí mít dobrou **tažnost**. Velikost a tvar přístřihu ovlivňují kvalitu výrobku – **výtažku**. Př. u rotačních nádob se používají kruhové přístřihy – tzv. rondely. Výtažky se většinou již jiným způsobem nezpracovávají, pouze se ostříhují. Tažení se používá zejména v sériové a hromadné výrobě. Tažením vyrábíme např. hrnce, vany, karoserie automobilů, atd.

Podle tvaru výtažku můžeme tvářecí proces rozdělit na:

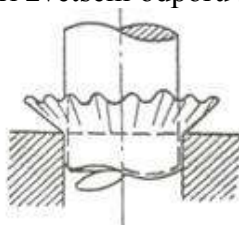
- tažení mělké a hluboké
- tažení bez a se ztenčením stěny
- tažení rotačních a nerotačních tvarů
- tažení nepravidelných tvarů

Tvářecí proces tažení lze rozdělit i podle teploty:

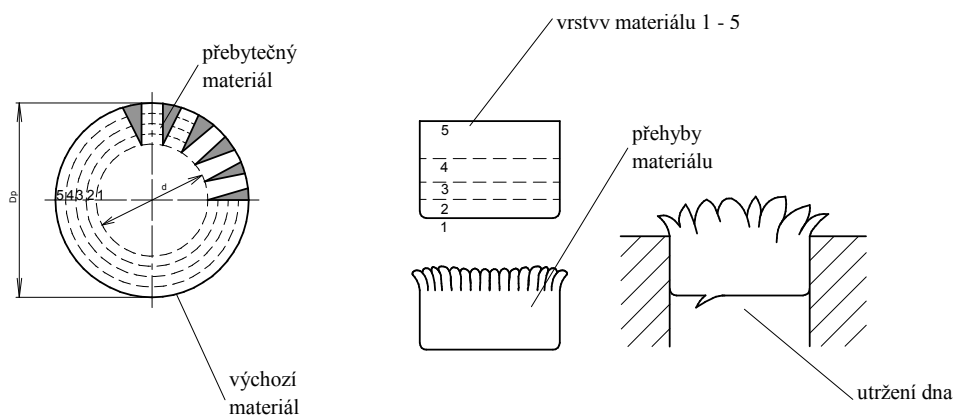
- za studena
- za tepla – materiál se ohřívá mezi vyhřívanými plochami tažnice a přidržovače ohřevu na 300 - 350°C se využívá u slitin, které mají špatnou tvárnost za studena, jedná se zejména o slitiny hořčíku, titanu, atd.

Nástrojem je **tažidlo**, hlavní části jsou **tažník** a **tažnice**, popř. **přidržovač**. Principem je protažení přístřihu (plechu) mezi tažníkem a tažnicí. Materiál se při tažení přemísťuje (protahuje) ve směru poloměru a zároveň se stlačuje ve směru obvodu. Jinak by mohlo dojít ke zvětšení tloušťky výtažku nebo zvlnění materiálu.

Čím větší je rozdíl mezi vnějším a vnitřním průměrem, tím více materiálu musíme v průběhu tažení přemístit - v taženém materiálu vznikají vyšší napětí a deformace. U tažení tenkých plechů se vytvářejí přehyby materiálu a při zvětšení odporu se utrhne dno.

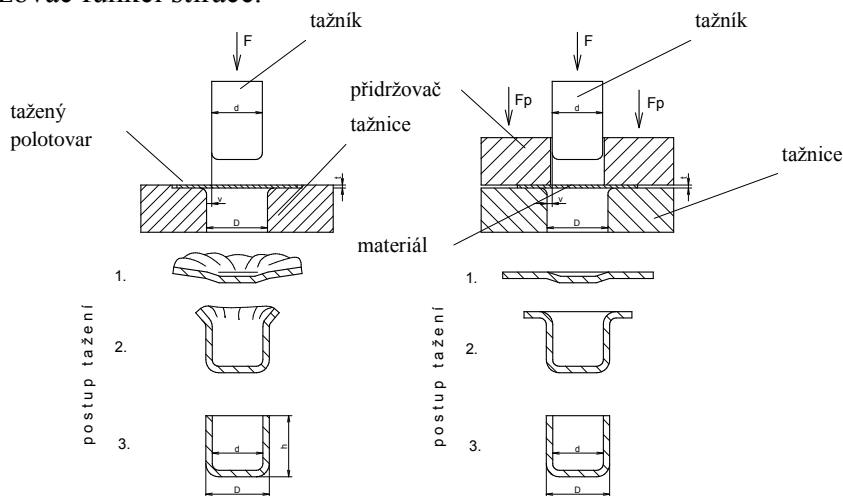


obr. 54 Tvorba vln na výtažku a nebezpečí utržení dna



r. 55 Výroba duté nádoby

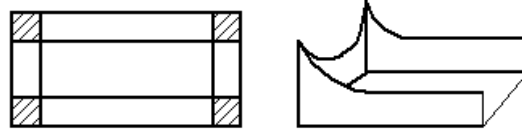
Abychom zabránili vzniku zvlnění materiálu, používáme **přidržovače** - přidržuje plech k tažnici. Materiál musí mezi přidržovačem a tažnicí prokluzovat. Při zpětném pohybu tažníku má přidržovač funkci stírače.



obr. 56 Tažení bez přidržovače a s přidržovače

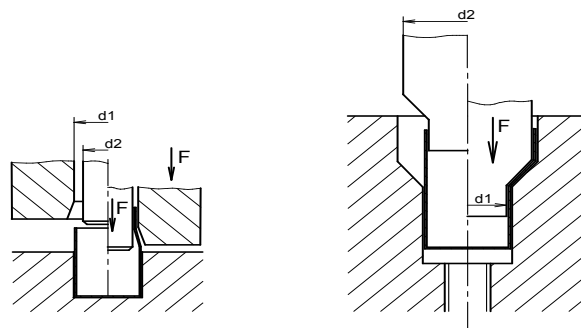
Hluboké a složité nádoby nelze vyrobit na jeden tah, ale postupným tažením. Mezi jednotlivými tahy se musí dodržovat určitý poměr, jinak by se materiál potřhal.

U hranatých výtažků se pro stanovení tvaru přístříhu používají výpočtové a grafické metody. Nelze použít obdélníkové přístříhy, v rozích by vznikly vysoké cípy.



obr. 57 Tažení hranaté krabice, optimální přístřih

Výtažky se často upravují rozšiřováním nebo zužováním. Zvlněné a cípaté okraje výtažků se ostříhují nebo upichují.



zužování výtažků

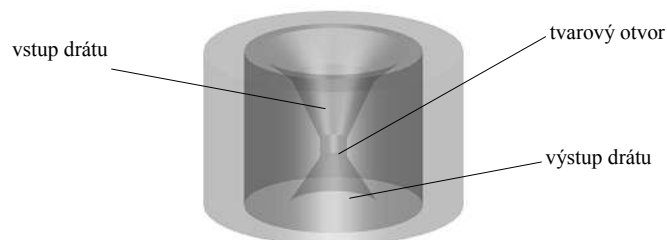
rozšiřování výtažku

obr. 58 Zužování a rozšiřování

K tažení se používají nejčastěji **mechanické dvojčinné lisy**. Jsou vybaveny zařízením pro ovládání přidržovače a zařízením k vyvození tažné síly. Při tažení lze také použít lisy bez přidržovače.

3.8.2 Tažení drátů, tyčí a profilů

Tažení spočívá v protahování (kalibrování) polotovaru otvorem v průvlastku. Při protahování se zmenšuje příčný průřez a zároveň se zvětšuje délka materiálu. Nástroje - **průvlastky** jsou nepohyblivé, vyrábíme je např. z kalené oceli, slinutých karbidů nebo diamantu. Polotovarem mohou být tyče válcované za tepla, které musíme před tažením zbavit okují. Po několika taženích je plasticita (tvárnost) materiálu vyčerpána, materiál ztvrdne a zkřehne. Abychom obnovili tvárnost materiálu, tak musíme provést normalizační žhání. K tažení se používají stroje – **tažné stolice**.



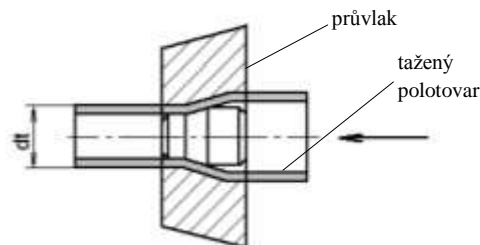
obr. 59 Průvlastek

Výhodou tažení je dosažení přesných rozměrů a tvarů, výrobky se již nemusí dále zpracovávat (obrábět). Zlepšuje se také jakost povrchu a mechanické vlastnosti (vyšší pevnost a tvrdost) výrobku.

Při tažení drátů, tyčí, trubek a profilů je důležité používat mazání. Mazivo snižuje tření mezi polotovarem a průvlakem, odvádí teplo a zajišťuje hladký povrch výrobku. Jako maziva se používají mastek, grafit nebo tuky.

Touto metodou tváření se vyrábějí **dráty** o průměru menším než 5 mm. Dráty se táhnou za studena nepřetržitě na bubnových tažných stolicích. Požadovaného průměru drátu dosáhneme postupným tažením stále menšími kalibry. Podobným způsobem se provádí i tažení **tyčí**.

K tažení bezešvých **trubek** a **profilů** se používá přetržitý proces. Trubky a profily se táhnou nejčastěji za studena v konečné délce. Tažení trubek se provádí pomocí trnu. Při tažení se mění vnitřní i vnější průměr trubky a ztenčuje se její stěna. Tímto způsobem se vyrábí tenkostěnné i tlustostěnné trubky malých a středních rozměrů s požadavky na rozměrovou přesnost a jakost povrchu. Profily nepravidelných tvarů se táhnou pomocí vícedílných průvlaků, které jsou sestaveny v upínacím rámu.

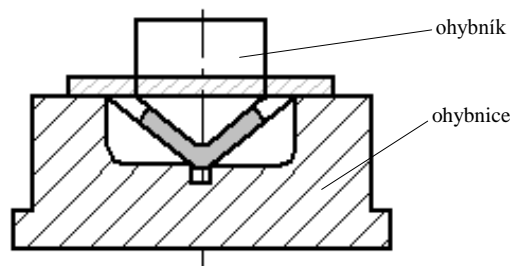


obr. 60 Tažení trubek na volném trnu

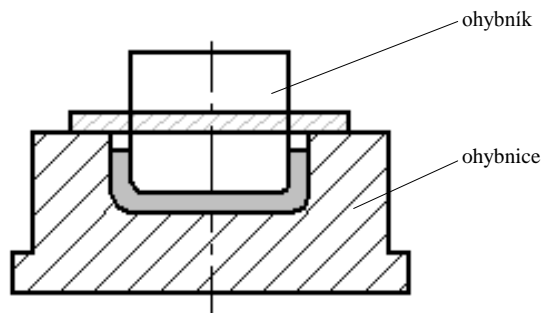
3.9 Ohýbání

Ohýbáním je materiál trvale deformován vnějšími silami pod různými úhly ohybu s menším nebo větším zaoblením hran.

Nejčastěji ohýbáme materiál do **tvaru U a V**, polotovarem jsou plechy, tyče a trubky.



obr. 61 Ohyb do tvaru V

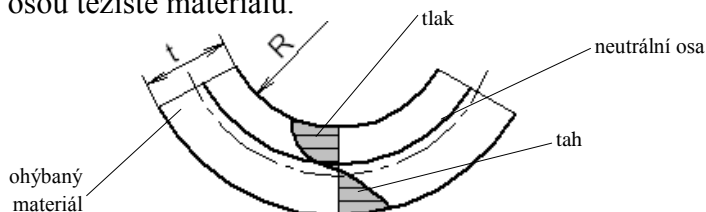


obr. 62 Ohyb do tvaru U

Ohýbání můžeme rozdělit na **ruční** a **strojní**, všechny operace nelze provádět na lisu. Nástrojem je ohýbadlo. Hlavní části **ohýbadla** jsou ohybňík a ohybnice, popř. zakládací dorazy. Při ohýbání zatlačujeme **ohybňík** do **ohybnice** (pevná). Zakládací dorazy se používají pro snadné a správné založení ohýbaného materiálu. Výrobek se nazývá **výlisek**, **ohybek**.

Při ohýbání vznikají na vnitřní straně ohybu tlaková a na vnější straně ohybu tahová napětí, která jsou způsobena plastickou deformací. Pokud není kov dostatečně tvárný, tak na tažené straně mohou vlivem velké deformace vznikat trhliny.

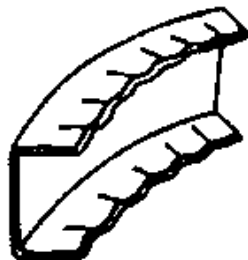
V přechodu mezi tahovým a tlakovým napětím, ve střední části ohýbaného materiálu, se nachází tzv. **neutrální osa** (nulové napětí). Délka neutrální osy se během ohýbání nemění, není zkrácená ani prodloužená. Neutrální osa se při tváření posouvá směrem k vnitřní straně ohybu, není totožná s osou těžiště materiálu.



obr. 63 Rozložení a velikost napětí v materiálu, posunutí neutrální vrstvy v místě ohybu

Pokud na ohýbaný materiál přestaneme působit vnějšími silami, tak se rozměry výrobku částečně vrátí do původního stavu, dochází ke vzniku **odpružení**. Odpružení je způsobeno pružnými deformacemi okolo neutrální osy. Velikost odpružení je závislá na tvárnosti materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání, pohybuje se v rozmezí 3 - 15°. Odpružení můžeme předejít tak, že materiál ohneme více o hodnotu odpružení nebo použijeme větší lisovací sílu na konci ohýbání, atd.

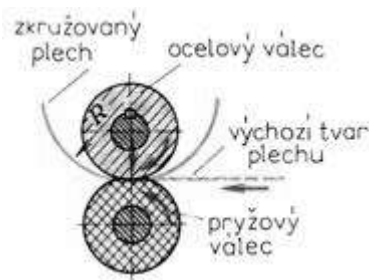
U tenkých materiálů se mohou při ohybu tvořit **vlny**. Tomu se dá zabránit přitlačováním materiálu k nástroji nebo použitím dostatečně velké tahové síly při ohýbání.



obr. 64 Zvlnění materiálu během ohýbání

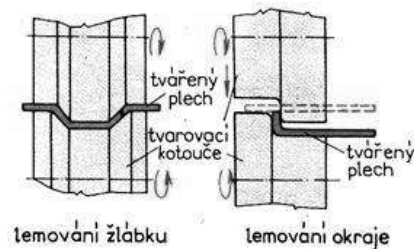
Mezi další operace ohýbání patří:

- *zakružování* – používá se při výrobě válcových nebo kuželových plášťů nádob, trubek, plechů, apod., stroje se nazývají zakružovač – konstrukce je závislá na tloušťce zpracovávaného plechu



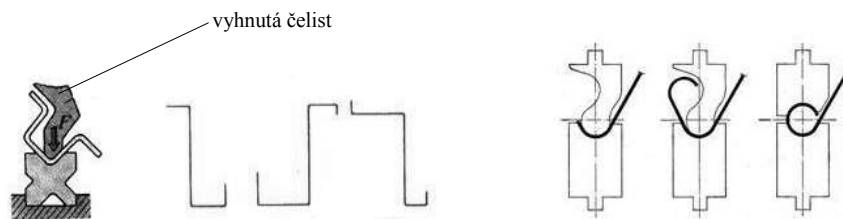
obr. 65 Zakružování

- *lemování* – slouží k výrobě různých profilů a vytvoření žlábků uprostřed nebo na okraji výlisku za účelem zvýšení jeho tuhosti



obr. 66 Lemování

- *ohraňování* - používá se k vyztužení okrajů výlisků

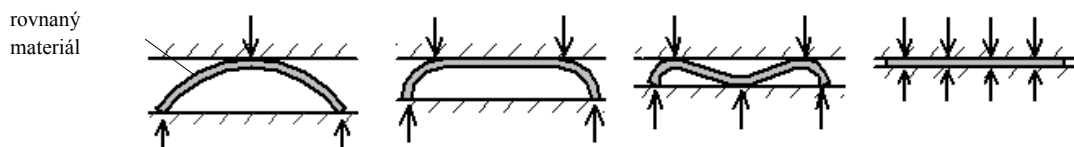


obr. 67 Ohraňování

- *válcování profilů* – dochází k vytvoření kruhového tvaru na okrajích plechu, postupné ohýbání pásů na profilovacích strojích – výroba trubek a různých profilů

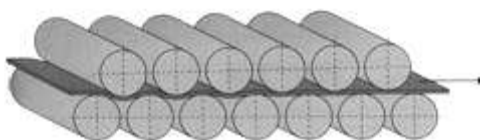
3.10 Rovnání

Rovnání používáme k odstranění nežádoucích deformací vzniklých při výrobě nebo manipulaci s materiálem. Při tomto způsobu tváření se provádí tlakem rovnání zakřivených částí materiálů do roviny. Po odlehčení dochází v materiálu jako u ohybu k odpružení, to se projeví zbytkovým zakřivením materiálu.



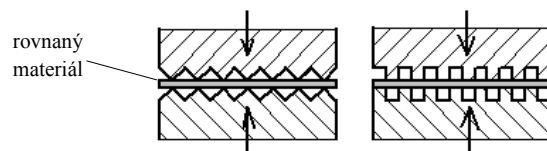
obr. 68 Rovnání výlisku tlakem mezi rovnými deskami

K rovnání používáme čelisti nebo válce. Mezi válci prochází materiál, který je při průchodu rovnán střídavým ohybem (tah, tlak).



obr. 69 Rovnání mezi válci

Pokud rovnáme čelistmi, tak i po jejich do sedu musíme zvyšovat sílu potřebnou k rovnání, abychom překonali zbytková pnutí od předešlého rovnání – provádíme kalibraci. U velmi tenkých nebo tvrdých materiálů roste lisovací síla neúměrně, proto materiál nerovnáme v celém průřezu, ale pouze v pravidelně rozložených místech.



obr. 70 Rovnání čelistmi – bodové, bradavkové

Shrnutí učiva



Tvářením dochází k požadované změně tvaru materiálu působením vnějších sil. Částice materiálu se tvářením pouze přemísťují, nedochází k porušení soudržnosti materiálu. Materiály určené k tváření musí mít dobrou **tvárnost** – schopnost materiálu trvale měnit svůj tvar při zatěžování vnějšími silami. Tvárnost materiálu závisí na chemickém složení, struktuře materiálu, použité teplotě, rychlosti deformace a napětí. Nejpoužívanějšími materiály jsou oceli, neželezné kovy, plasty a kompozity. Podle **teploty** použité při tváření rozlišujeme tváření za studena a za tepla.

Tváření za studena probíhá pod rekrystalizační teplotou, do 200°C, dochází ke zpevnění materiálu, zrna se deformují ve směru tváření a v materiálu se vytváří **textura**. Zpevněním se zvyšují hodnoty meze kluzu a meze pevnosti, houževnatost materiálu klesá.

Tváření za tepla probíhá nad rekrystalizační teplotou, nad 750°C. Materiál se díky vysokým teplotám nezpevňuje, proto k tváření můžeme použít menší síly než u tváření za studena. U tváření za tepla dochází v materiálu k **zotavení** a **rekrystalizaci**. Při tváření za tepla vzniká důsledkem nečistot obsažených v povrchových vrstvách krystalů, **vláknitá struktura** (vlákna kopírují tvar součásti). Vláknitá struktura ovlivňuje mechanické vlastnosti, jejich hodnoty jsou vyšší ve směru vláken než v kolmém směru. Vláknitost se nedá nijak odstranit.

Materiály určené k tváření ohříváme v cyklických nebo průběžných **pecích** na tzv. **tvářecí teplotu**. Tváření materiálu musíme dokončit na co nejmenší počet ohřevů, jinak dochází ke ztrátě materiálu opalem (okuje). Vsázka může mít různé rozměry a hmotnost.

Mezi používané metody tváření patří: **válcování, kování, protlačování, stříhání, tažení, ohýbání, rovnání a zvláštní metody** tváření jako jsou např. metoda tváření pomocí pryže Guerin, Marform, pomocí kapaliny metoda Hydroform a tváření výbuchem.

Otázky a úkoly



1. Definujte pojmy tváření a tvárnost.
2. Jak dělíme tváření podle použité teploty?
3. Popište vznik vláknité struktury.
4. Jaké zařízení používáme pro ohřev polotovarů? Vyjmenujte používaná zařízení.
5. Charakterizujte válcování. Jaké polotovary a výrobky vyrábíme válcováním?
6. Jaké metody používáme při výrobě trubek?
7. Popište princip kování. Jaký je rozdíl mezi zápusťkovým a volným kovááním?
8. Jak dělíme protlačování? Popište způsoby.
9. Vysvětlete základní způsoby tažení.
10. Popište princip stříhání a uveďte používané nástroje.
11. Charakterizujte ohýbání a rovnání.
12. Vyjmenujte zvláštní metody tváření.

Test

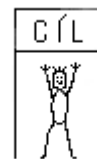
1. Tvářením se mění:
 - a. tvar a vlastnosti materiálu *
 - b. soudržnost materiálu
 - c. tvar a vlastnosti materiálu se nemění
2. Tvárnost materiálu zjišťujeme zkouškami:
 - a. mechanickými
 - b. technologickými *
 - c. fyzikálními
3. Tvářet lze materiály:
 - a. pouze kovové
 - b. pouze nekovové
 - c. kovové i nekovové *
4. Tvářením za studena se provádí při teplotě:
 - a. nad 500°
 - b. do 200°C *
 - c. nad teplotou solidu
5. Válcováním se vyrábějí:
 - a. plechy *
 - b. profily *
 - c. odlitky
6. Kování se provádí na:
 - a. lis a buchar *
 - b. soustruh
 - c. vrtačka
7. Pro snížení vzniku deformací při tažení nádob používáme:
 - a. stírač
 - b. průvlak
 - c. přidržovač *
8. Jak se nazývají hlavní nástroje používané při stříhání:
 - a. střížník a tažnice
 - b. střížník a střížnice *
 - c. průtlačník a střížnice
9. V neutrální ose u ohybu je napětí:
 - a. nulové *
 - b. tahové
 - c. tlakové
10. Výrobek získaný kováním se nazývá:
 - a. výlisek
 - b. výtažek
 - c. výkovek *

4 ZPRACOVÁNÍ PLASTŮ

CÍLE

Po prostudování této kapitoly dokážete:

- vyjmenovat v jaké podobě používáme plasty při jejich zpracování
- charakterizovat metody zpracování plastů



Plasty se zpracovávají mnoha způsoby na **polotovary** (desky, fólie, trubky, atd.) nebo **konečné výrobky**. Zpracování plastů ovlivňují zejména technologické vlastnosti a použití výrobku. Plasty používáme v podobě **granulí, prášku**, kaše, tablet, atd.

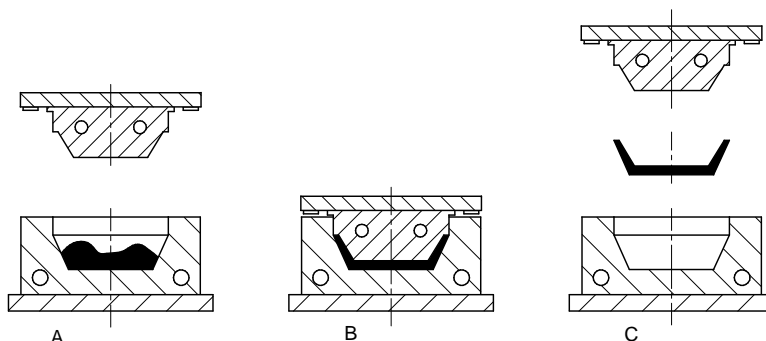


obr. 71 Granulát plastu

Zpracování plastů provádíme technologiemi jako je např. lisování, přetlačování, vstřikování, vytlačování, foukání, odlévání atd. Při zpracování plastových výrobků musíme dodržovat technologické parametry jako je tlak, teplota a čas. Proto jsou výrobní pochody při tváření plastů zautomatizovány.

4.1 Lisování

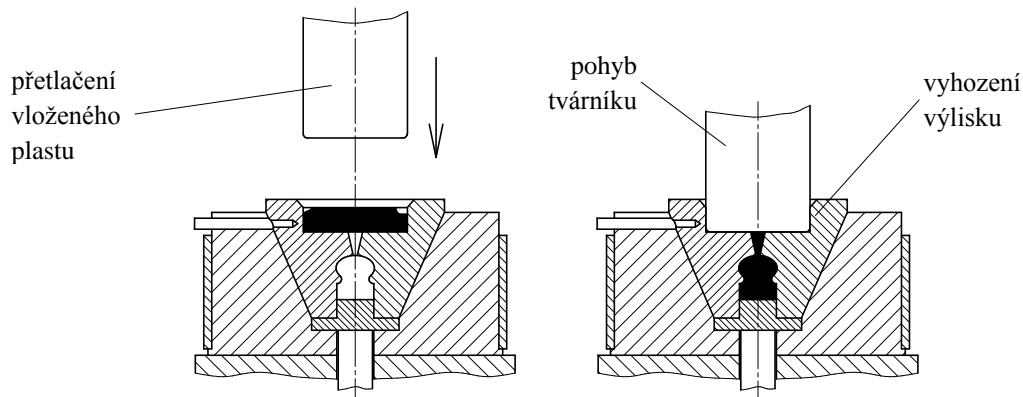
Lisováním se zpracovávají termoplasty i reaktoplasty. Do vytápěné dutiny formy vložíme odměřené množství prášku (tablet, kaše) a formu se uzavře. Lisovací hmota přejde za působení tlaku a teploty do tekutého stavu, vyplní formu a vytvrdí se. Po vytvrzení se forma otevře, vyhodí se vylisek, očistí se forma (stlačeným vzduchem) a celý cyklus se znovu opakuje.



obr. 72 Princip lisování termoplastů
A – vložení reaktoplastu do dutiny formy, B – lisování a vytvrzování, C – vyhození vylisku

4.2 Přetlačování

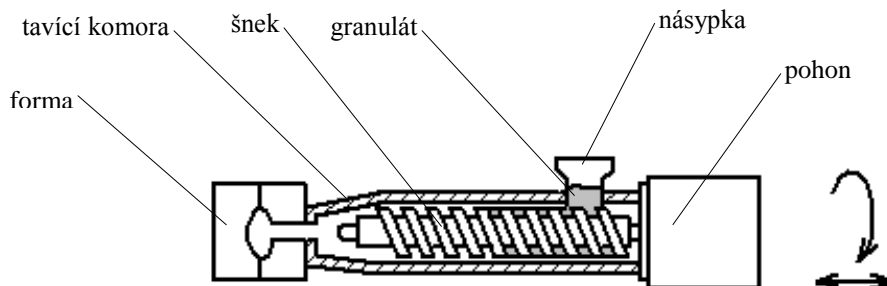
Při přetlačování reaktoplastů se odměřená dávka plastu nekládá přímo do dutiny formy, ale do pomocné formy. Po roztavení je plast z pomocné formy přetlačen pístem vtokovými kanály do vlastní dutiny formy, kde se vytvrdí. Tímto způsobem vyrábíme tvarově složité součásti s lepšími vlastnostmi a v kratším pracovním cyklu. Další výhodou oproti lisování je rovnoměrnější ohřev materiálu, rychlejší a rovnoměrnější vytvrzení.



obr. 73 Princip přetlačování reaktoplastů

4.3 Vstřikování

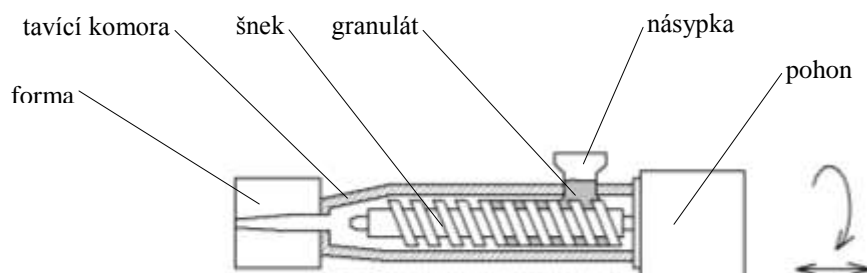
Vstřikováním se zhotovují konečné výrobky nebo polotovary zejména z termoplastů, ojediněle z reaktoplastů a elastomerů. Výrobky vyrobené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou tvarovou a rozměrovou přesností. Při vstřikování nasypeme plast v podobě granulát do násypky, odkud je odebírán šnekem do tavicí komory, kde je roztaven. Roztavený plast je tlakem vstřikován do dutiny formy, kterou vyplní a poté ztuhne v konečný výrobek. Poté se forma otevře, výrobek je vyhozen a celý cyklus se znovu opakuje.



obr. 74 Vstřikování plastů

4.4 Vytlačování

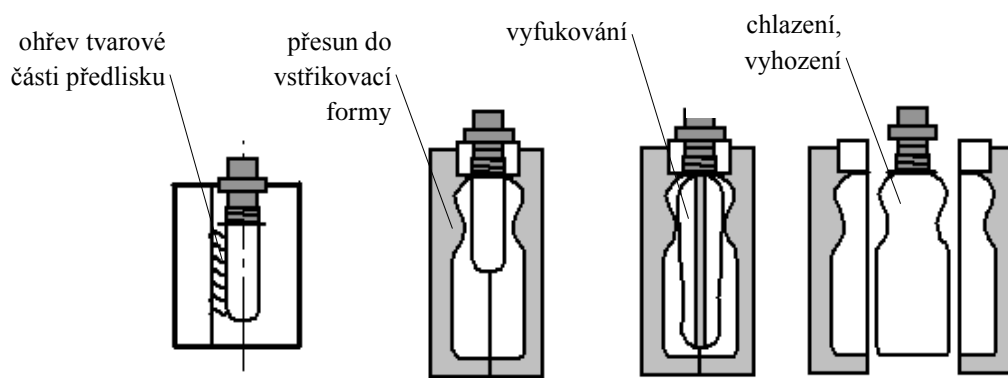
Vytlačováním lze zpracovávat reaktoplasty i termoplasty v konečné výrobky nebo polotovary. Granule plastu jsou roztaveny v topném válci, odkud je tavenina plastu vytlačována šnekem přes tvarovou hubici požadovaného profilu do volného prostoru. Ihned po vytlačení se polotovar kalibruje, chladí a poté se navíjí nebo řeže na potřebnou délku. Vytlačovací stroje se používají např. pro výrobu trubek, profilů, desek, fólií nebo pro opláštění drátů, výrobu vláken, povlaků, atd.



obr. 75 Šnekový vytlačovací stroj

4.5 Foukání

Vyfukováním se zhotovují výrobky členitých tvarů – lahve, kanystry, atd. Vyfukováním je polotovar (např. fólie nebo předlisky zhotovené vstřikováním či vytlačováním) tvarován ve vyfukovací formě do tvaru dutého tělesa. Nejčastěji se používají termoplasty, které se ohřevem musí převést do snadno tvarovatelného stavu (musí mít ještě určitou soudržnost, není to tavenina). Vyfukovací stroje lze rozdělit podle výroby předlisku na vstřikovací nebo vytlačovací, skládají se ze vstřikovacího nebo vytlačovacího stroje na výrobu polotovaru, ocelových forem upnutých do uzavírací jednotky a vyfukovacího zařízení.

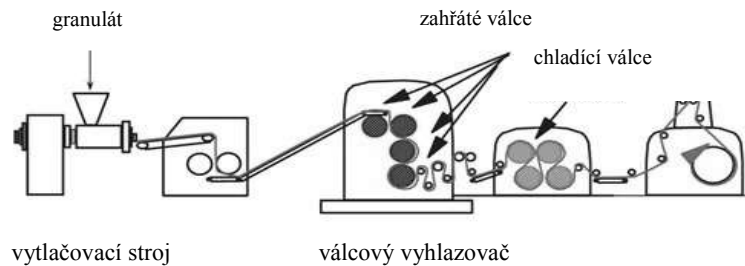


obr. 76 Princip vstřikovacího vyfukování s přerušovaným procesem

Vyfukování fólií se používá např. při výrobě hraček, lahví atd. Mezi dvě fólie, které jsou sevřeny ve formě, se přivádí tlakem horký vzduch. Po ohřátí se fólie tvaruje tlakem podle dutiny formy. Pro výrobky zhotovené vyfukováním jsou charakteristické svary podél jejich obvodu.

4.6 Válcování plastů

Válcování se používá k výrobě fólií, podlahových krytin, desek, atd. Plastická hmota je unášena mezi vyhřívanými válci, kde změkne. Měkký plast je poté válcován na tloušťku danou vzdáleností válců.



obr. 77 Válcování plastů

4.7 Tvarování plastů

Tímto výrobním postupem se zpracovávají pouze polotovary (desky, fólie) z termoplastů. Nejčastěji se používá tvarování za tepla. Předehřátý polotovar je vhodným způsobem tvářen na požadovaný tvar, poté je výlisek ochlazen, vyjmut a očištěn. Tvarování za tepla lze provádět různými způsoby. Rozeznáváme tvarování:

- **mechanické** – změna tvaru polotovaru je dosažena působením jednotlivých částí formy na materiál

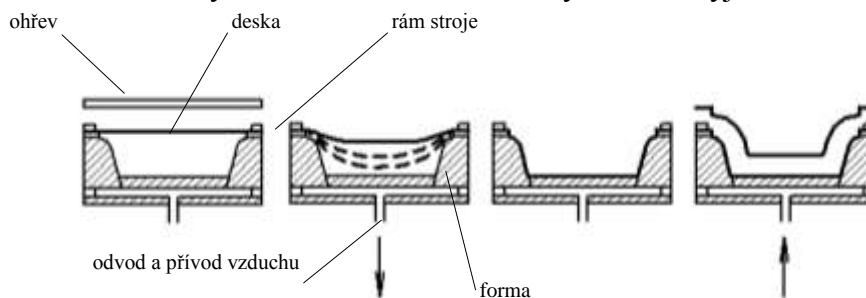


obr. 78 Mechanické tvarování

- **vakuové** – dělíme na dvě skupiny

- *negativní*

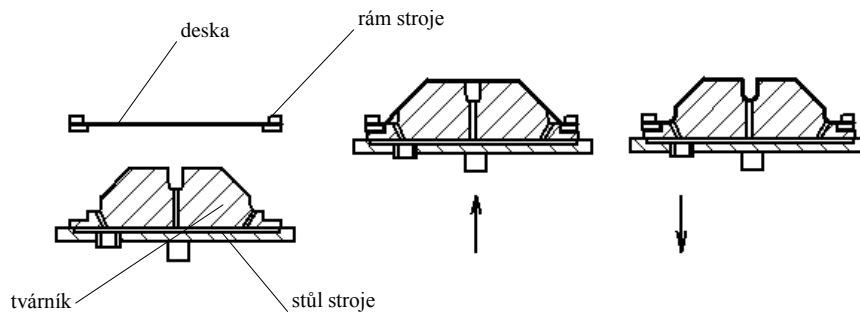
Polotovar (deska) se upne do rámu a neprodyšně se spojí s formou, jejíž dutina má požadovaný tvar výrobku. Po ohřátí desky se z dutiny formy vysaje všechen vzduch a vzniklým vakuem se plast vytvaruje podle dutiny formy. Po ochlazení výrobku se vakuum zruší a výrobek se vyjme.



obr. 79 Princip negativního vakuového tvarování

- *pozitivní*

Desku upnutou v rámu ohřejeme na tvářecí teplotu. Po ohřevu se deska napne neprodyšně přes formu, která má tvar budoucího výrobku, a upne se k základní desce. Poté odsajeme vzduch a deska přilne přetlakem k formě. Výlisek sejmeme z formy po vychlazení.



obr. 80 *Princip pozitivního podtlakového tvarování*

4.8 Odlévání plastů

Odléváním se dají zpracovávat termoplasty i reaktoplasty na výrobky jako jsou ozubená kola, řemenice, těsnění, výrobky s velkou tloušťkou stěny, atd. Před samotným odléváním musíme plasty převést do tekutého stavu. Plasty můžeme odlévat gravitačním nebo odstředivým litím. Výhodou je použití jednoduchých forem z málo pevných materiálů (olovo, sklo) a minimální vnitřní pnutí výrobků.

Shrnutí učiva



Plasty zpracováváme na polotovary nebo konečné výrobky mnoha způsoby, např. lisováním, přetlačováním, vstřikováním, vytlačováním, foukáním a odléváním. Před samotným zpracováním musíme převést používané materiály (termoplasty, reaktoplasty a elastomery) do tzv. plastického nebo tekutého stavu (odlévání plastů). Zpracování plastů ovlivňují zejména jejich mechanické a technologické vlastnosti. Plasty zpracováváme ve formě granulí, tablet, prášku, atd.

Otázky a úkoly



1. V jaké formě používáme plasty při jejich zpracování.
2. Jaké vlastnosti ovlivňují zpracování plastů?
3. Do jakého stavu musíme převést plasty při jejich zpracování nebo odlévání?
4. Vyjmenujte metody zpracování plastů.
5. Uveďte výrobky nebo polotovary, které se vyrábějí z plastů.

Test

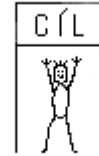
1. Plasty se při zpracování používají ve formě:
 - a. desek a fólií
 - b. trubek
 - c. granulí, prášku a tablet *
2. Jaké vlastnosti zejména ovlivňují zpracování plastů?
 - a. technologické a mechanické *
 - b. chemické
 - c. fyzikální a mechanické
3. Foukáním se vyrábějí:
 - a. jednoduché tvary
 - b. členité tvary *
 - c. nezáleží na tvaru
4. Vstřikováním se zhotovují výrobky:
 - a. pouze z termoplastů
 - b. z termoplastů a reaktoplastů *
 - c. z elastomerů
5. Plasty před zpracováním musíme převést ohřevem do:
 - a. plastického stavu
 - b. záleží na způsobu zpracování *
 - c. nemusíme je ohřívat

5 SVAŘOVÁNÍ A NAVAŘOVÁNÍ

CÍLE

Po prostudování této kapitoly dokážete:

- charakterizovat svařování a vyjmenovat výhody a nevýhody
- rozdělit svařování podle použité energie
- charakterizovat metody tavného a tlakového svařování
- vysvětlit použití navařování

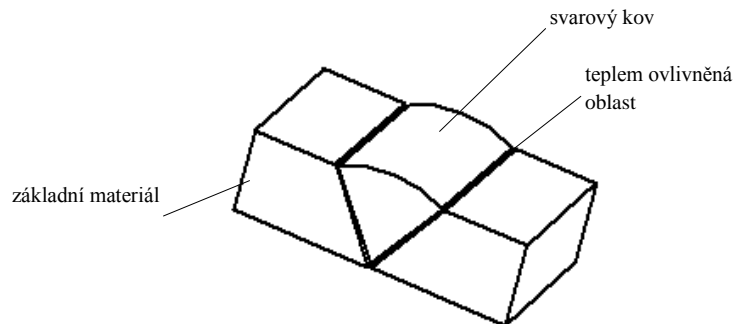


Svařováním vytváříme pevná a nerozebíratelná spojení kovových i nekovových materiálů (plastů). Svařovat lze strojní součásti i celé konstrukce (složené z jednoduchých součástí). Výrobek získaný svařováním se nazývá **svařenec (svarek)**, nejčastěji bývá zhotoven z hutních polotovarů (tyče, profily, plechy) nebo z výkovků, výlisků a odlitků. Kovy, které navzájem svařujeme, musí být svařitelné. **Svařitelnost** je schopnost materiálu vytvořit svarem spojení požadované jakosti.

Svařování je nejvíce používaná technologie ke spojování materiálů při výrobě nových zařízení a konstrukcí, ale i při opravách téměř ve všech strojírenských odvětvích (silniční a železniční vozidla, jeřáby, mosty, atd.). Zaváděním nových způsobů svařování a zaváděním automatizačních výrobních procesů dochází ke značnému zvýšení produktivity práce.

Svařování dělíme na:

- **tavné** (za působení tepla)
- **tlakem** (za působení tlaku)
- současným působením **tlaku a tepla**



obr. 81 Schéma svarového spoje provedeného tavným svařováním

Výhody svařování:

- trvanlivost spoje
- menší spotřeba materiálu, menší hmotnost výrobku
- jednodušší konstrukce
- snadná možnost opravy svarového spoje
- automatizace procesu, vysoká produktivita práce, zkrácení výrobních časů, atd.

Nevýhody svařování:

- nerozebíratelnost spojení
- kvalifikace dělníků
- změna struktury
- změna vlastností svařovaného spoje
- vznik vnitřních pnutí a deformací nebo vad vlivem vysokých teplot

Svařování můžeme rozdělit také **podle úrovně mechanizace** na:

- ruční
- mechanizované
- automatizované
- automatické

5.1 Svařování za působení tepla - tavné svařování

Stykové plochy základního materiálu (svařovaného materiálu) se taví, navzájem mísí, tuhnou a vytvářejí **svar** (svarový spoj) bez použití deformačních účinků (tlak, rázy). Při svařování lze použít také **přídavný materiál** (elektroda, holý drát), musí mít stejné nebo podobné chemické složení jako základní materiál.

5.1.1 Svařování plamenem

Zdrojem tepla je plamen vzniklý hořením směsi **acetylenu** (C_2H_2) a **kyslíku** (O_2). Pro svařování lze použít i jiné hořlavé plyny např. propan, propan - butan aj. Tímto způsobem se dají svařovat všechny železné, neželezné kovy i jejich slitiny a provádět opravy.

Svařovací zařízení jsou různých konstrukcí, musí ale odpovídat předpisům bezpečnosti práce, které jsou uvedeny v normách. Svařovací zařízení se skládá z:

- **tlakových lahví** pro kyslík a hořlavý plyn - ocelové, bezešvé, jsou barevně označeny podle druhu plynu
- lahve jsou opatřeny **lahvovým a redukčním ventilem s manometry**
- **svařovací hořáky** mísí hořlavý plyn s kyslíkem, jsou konstruovány jako **nízkotlaké a vysokotlaké**
- **příslušenství**.

Postupy svařování při svařování plamenem:

- **Svařování vpřed** - svařovací drát je veden před hořákem ve směru svařování.
- **Svařování vzad** - svařovací drát je veden za hořákem. Plamen je směřován na tavnou lázeň a lépe prohřívá a chrání svarový kov i chladnoucí svar před nepříznivými účinky okolního prostředí (vzduch). Svar získaný tímto způsobem je kvalitnější (lepší mechanické vlastnosti).

5.1.2 Svařování elektrickým obloukem

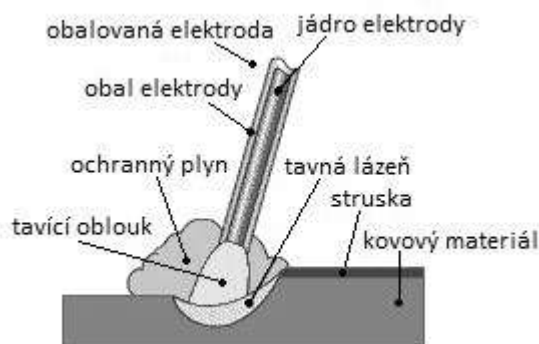
Zdrojem tepla potřebného k natažení stykových ploch svařovaných součástí je **elektrický oblouk**. Elektrický oblouk se zapaluje dotykem elektrody se svařovaným materiálem (zkratem) nebo mezi dvěma elektrodami připojenými na vhodný elektrický zdroj. Hoření oblouku podporují opakované zkraty vzniklé odkapáváním roztaveného materiálu z elektrody. K napájení elektrického oblouku používáme stejnosměrný nebo střídavý proud.

Svařování elektrodami

Elektrody rozlišujeme:

- **Netavné** (uhlíkové, wolframové) - slouží pouze jako prostředek k vytvoření oblouku, neposkytují svarový kov.
- **Tavné** - mají stejné nebo podobné složení jako svařovaný materiál. Teplem oblouku se elektrody odtavují a dodávají do svaru přídatný kov. Mohou být:
 - *Holé* – používají se pouze při svařování v ochranné atmosféře nebo pod tavidlem, atd.
 - *Obalené* – skládá se z kovového jádra a obalu. Obal tvoří legovací prvky (Cr, Ni, Mo, V, aj.) vytvářející přídatný svarový kov, organické a anorganické látky. **Obal stabilizuje oblouk, chrání svarový kov před účinky vzduchu, zpomaluje chladnutí** svaru a tím omezuje vznik vnitřního prnutí vytvořením strusky na povrchu svarového kovu.

Při svařování elektrickým obloukem obalenu elektrodou se svařovaný materiál, kovové jádro i obal taví teplem oblouku. Na povrchu roztaveného kovu se vytvoří **struska**, která **chrání svarový kov před oxidací**. Po vychladnutí svarové lázně odstraníme strusku z jejího povrchu poklepáním kladiva a očištěním pomocí drátěného kartáče.



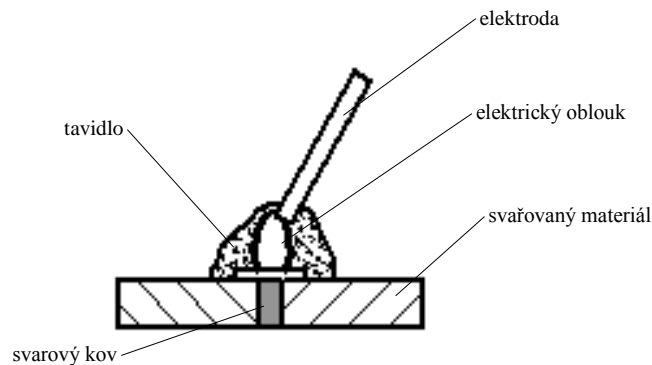
obr. 82 Svařování elektrickým obloukem

5.1.3 Svařování pod tavidlem

Elektrický oblouk hoří pod vrstvou tavidla mezi holou elektrodou (drát - odvíjí se z cívky ze zásobníku a je dodáván do místa svaru) a svařovaným materiálem. Pro svařování se používají zdroje střídavého i stejnosměrného proudu, nejčastěji se svařuje automaticky.

Tavidla jsou zrnité látky, svou funkcí **nahrazují obal u obalené elektrody**. Nejčastěji se používají křemičitany, fluoridy a mangany, které se přivádí násypkou před elektrodu. Tavidla **zakrývají** po celou dobu procesu **svařovací oblouk**, **chrání tak svarovou lázeň před přístupem vzduchu**, **stabilizuje oblouk** a **odvádí** do svaru legovací **příspěvky**. Z tavidla vzniká nad tavnou lázní struska, jejím úkolem je zpomalit ochlazování svaru, aby nedocházelo ke vzniku velkého vnitřního pnutí.

Tímto způsobem se svařují mostové a jeřábové konstrukce, kotle, tlakové nádoby, atd. Používá se zejména pro svařování nízkolegovaných konstrukčních ocelí, tloušťka svařovaných částí může být 2 až 200 mm.



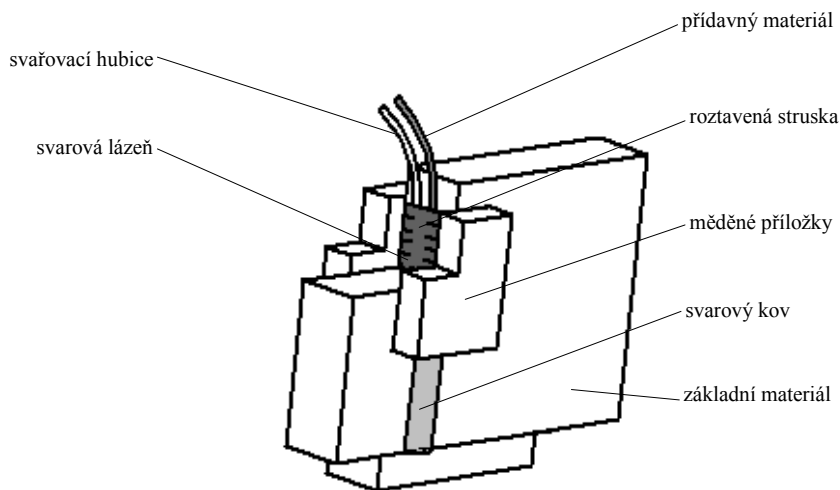
obr. 83 Svařování pod tavidlem

5.1.4 Svařování elektrostruskové

Elektrostruskové svařování se používá pro svařování materiálů s větší tloušťkou (až 1500 mm). Svařuje se automaticky stejnosměrným i střídavým proudem většinou ve svislé poloze ze zdola nahoru v celém průřezu najednou. Teplo potřebné k natavení základního a přidavného materiálu vzniká průchodem elektrického proudu roztavenou struskou.

Svařované části přiložíme k sobě na určitou vzdálenost (25 – 30 mm) a zajistíme jejich polohu. Do mezery je nasypáno tavidlo, to je roztaveno obloukem vzniklým mezi elektrodou a svařovaným materiálem. Tavidlo se ohřevem stává elektricky vodivé a postupně se přeměňuje ve strusku, která odtavuje konce elektrody a natavuje svařovaný materiál. Po roztavení strusky oblouk zanikne a tekuté tavidlo je dále ohříváno odporově. Svarový kov je formován a ochlazován měděnými příložkami, které jsou chlazeny vodou. Příložky se posouvají současně s vlastním zařízením. Pohybem strusky a svarového kovu je teplo současně rozváděno ke svarovým plochám, to umožňuje jejich další ohřev a plynulé natavování.

Tímto způsobem se svařují tlakové nádoby, konstrukce kombinované z výkovků, vylisků, odlitků, apod. a opravují se velké odlitky. Elektrostruskové svařování se používá zejména u svařování uhlíkových a slitinových ocelí, litin a neželezných kovů. Výhodou je vysoká produktivita, roste s tloušťkou součástí a možnost zhotovovat obvodové svary a návary.



obr. 84 Elektrostruskové svařování

5.1.5 Svařování elektrickým obloukem v ochranném plynu

Další možností, jak lze chránit svařový kov před účinky okolní atmosféry, je použití ochranných plynů, které obklopují oblouk a natavený materiál. Svařuje se ručně, poloautomaticky nebo automaticky stejnosměrným nebo střídavým elektrickým proudem.

Podle použitého ochranného plynu a podle použité elektrody rozlišujeme i způsoby svařování:

- **MIG** – svařování tavnou kovovou elektrodou v inertním (netečném – Ar, He) plynu
- **MAG** – svařování tavnou kovovou elektrodou v aktivním plynu (CO_2)
- **WIG** - svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu

Ochranné plyny

Volba ochranného plynu ovlivňuje povrch a strukturu svaru, mechanické vlastnosti, rozstřík svarového kovu, hloubku závaru apod. Ochranné plyny usnadňují zapálení oblouku, zvyšují jeho stabilitu a zabraňují spálení legovacích prvků. Při svařování používáme plyny:

- **Inertní plyn** (Ar, He nebo jejich směsi) chrání svarovou lázeň a nevstupují do reakcí, které probíhají ve svarové lázni.
- **Aktivní plyn** – používá se oxid uhličitý CO_2 (levný, hluboký závar) nebo směs plynů např. Ar + CO_2 , které zabraňují rozstříku svařovaného kovu.

Tyto metody můžeme dělit také na obloukové svařování tavící se elektrodou (odtavuje se během svařování a přechází do svarové lázně a naopak) a netavící se elektrodou.

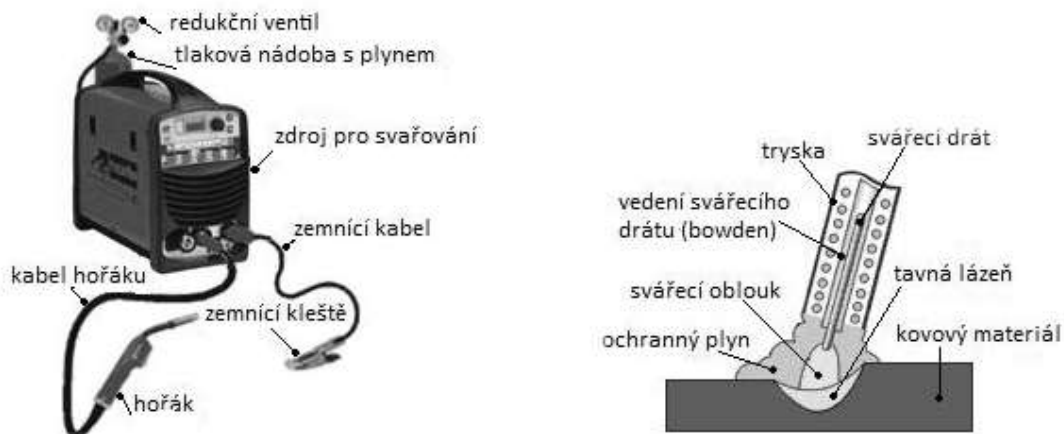
Svařování metodou MIG a MAG

Elektrický oblouk hoří mezi kovovou tavnou elektrodou (holý drát), která je do místa svaru plynule dodávána, a svařovaným materiálem v proudu netečného plynu (MIG) nebo aktivního plynu (MAG - CO_2 při svařování částečně oxiduje tavnou lázeň a na povrchu vytváří strusku, proto se pro zlepšení jakosti svaru používá elektroda legovaná Mn a Si, která částečně dezoxidují tavnou lázeň).

Svařování metodou MIG se používá pro svařování hliníku, mědi, titanu a dalších neželezných kovů. Metodou MAG se provádí svařování nelegovaných, nízkolegovaných a vysocelegovaných ocelí, navařování ocelí.

Zařízení používané pro svařování metodou MIG a MAG je stejné, mění se pouze ochranný plyn, popř. svařovací drát. Svařuje se poloautomaticky nebo automaticky se stejnosměrným

elektrickým proudem. Výhodami těchto metod je velká odtavovací rychlost elektrody, nevznikají póry, cena plynu a čistota pracovního prostředí.



obr. 85 Svařování MIG a MAG

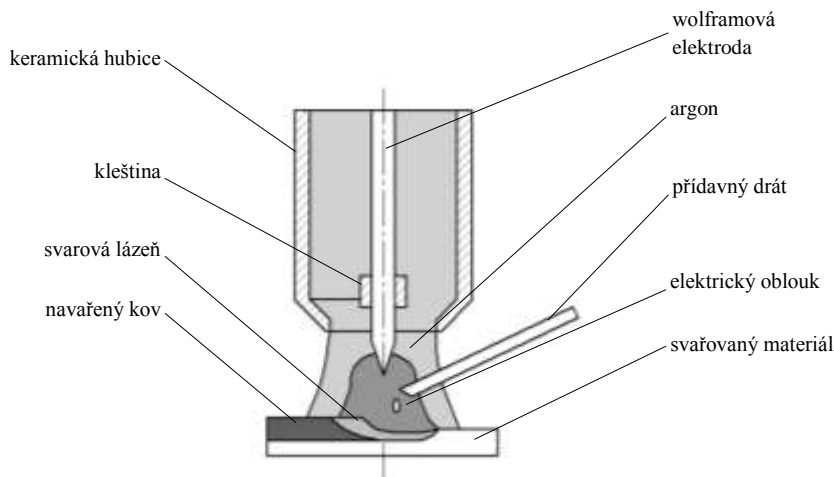
Zvláštní metody MIG/MAG:

- **Impulzní svařování** – hodnota svařovacího proudu se mění v průběhu svařování (pulzuje). Rozsah impulzů závisí na použitém zdroji, pohybuje se v rozmezí 10 – 400 impulzů/s. Výhodou je vysoká stabilita svařovacího oblouku, možnost svařování tenkých plechů, šetření přídavného materiálu, minimální rozstřík a proměnná hloubka závaru.
- **Metoda rotujícího oblouku** – elektromagnetické síly způsobují odklon oblouku od nataveného konce elektrody (drátu) ze směru pohybu drátu a uvádějí ho do rotačního pohybu. Výhodou je vysoká stabilita svařovacího oblouku, vysoký odtavovací výkon, velká rychlost svařování, téměř žádný rozstřík, možnost svařovat ve všech polohách, dobré mechanické vlastnosti a zamezení oxidace při svařování.

Metoda WIG

Elektrický oblouk hoří mezi wolframovou netavicí se elektrodou (netvoří přídavný kov) a svařovaným materiálem v proudu netečného plynu (argon, helium, popř. jejich směs). Většinou se svařuje ručně střídavým (hliník, hořčík a jeho slitiny) nebo stejnosměrným proudem (ocel, měď, titan a jeho slitiny). Při svařování můžeme použít přídavný materiál, do svařovacího oblouku se podává ručně nebo automaticky podavačem z cívky.

Tato metoda se používá pro svařování legovaných (korozivzdorných, žárovevných) ocelí, neželezných kovů a jejich slitin, zejména hliníku, titanu nebo hořčíku, v literatuře bývá také označena jako metoda TIG.



obr. 86 Svařování metodou WIG

5.1.6 Zvláštní způsoby tavného svařování

Svařování elektronovým paprskem

Elektronový paprsek vysílaný wolframovou elektrodou je urychlován rozdílem napětí mezi katodou (wolframová elektroda) a anodou (clona). Paprsek elektronů prochází otvorem v anodě a elektromagnetické čočky jej usměrňují do místa svaru. Kinetická energie elektronů (rychlost - až 165 000 km/s) se při dopadu na svařovaný materiál přeměňuje v teplo. V místě svaru se teplota pohybuje okolo 6000°C. Svar se vytváří pohybem svařovaného předmětu.

Svařovací zařízení je umístěno ve vakuové komoře, to zabraňuje oxidaci a znečištění svaru. Moderní zařízení jsou konstruována bez vakuové komory. Svařovací procesy lze automatizovat a tím dochází k výraznému zvyšování produktivity práce. Velkou výhodou je možnost svařování přes stěnu, kdy elektronový paprsek proniká celou tloušťkou svařovaného materiálu. Tím se dosahuje velmi úzkých svarů ve velké hloubce (lze regulovat). Deformace vzniklé po svařování jsou zanedbatelné díky malé šířce ovlivněného pásma teplem. Elektronové svářečky jsou zdrojem rentgenového záření, je nutná ochrana obsluhy.

Metoda se používá pro svařování vysokolegovaných ocelí a těžkotavitelných slitin, kde jsou kladeny vysoké požadavky na svařovací techniku - raketová technika, stavba reaktorů, atd. Díky vysoké přesnosti svařování se tato metoda používá také ke spojování součástí v elektrotechnice.

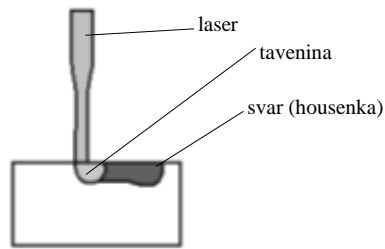
Svařování laserem

Energie elektromagnetického záření viditelného světla o vysoké intenzitě (laser) je soustředěna z vysílače (generátor) čočkami na malou plochu do místa svaru. Kinetická energie záření se při dopadu přeměňuje na tepelnou a ohřívá místo svaru na teplotu převyšující teplotu svařování až o několik desítek tisíc stupňů.

Laserovým svařováním lze vytvářet všechny základní typy svarů (tupé, koutové, bodové, atd.) a spojovat materiálů minimální tloušťky (μm). Při svařování se nepoužívá přídavný materiál. Velkou výhodou je malá šířka svaru a malé ovlivnění okolí svaru teplem (malé deformace). Laserem lze svařovat metodou průchozího materiálu a můžeme kombinovat materiály, které jsou navzájem nesvařitelné. Laserové svařování je velmi přesné, tiché, lze použít bez ochranné atmosféry a dá se snadno automatizovat.

Svařování pomocí laseru je vhodné pro svařování vysokotavitelných materiálů a malých součástí, řezání a protavování děr do tvrdých materiálů – dosahuje se vysoké čistoty řezu.

Svařování laserem je nejvíce rozšířené v automobilovém průmyslu, kde je využíváno na spojování karoserií i motorových a převodových komponentů (např. automobil Volkswagen Golf). Laser se také využívá v nestrojírenských oborech např. v lékařství.



obr. 87 Svařování laserem

Svařování plazmou

Plazmový oblouk hoří mezi netavící se elektrodou a základním materiálem nejčastěji v atmosféře ochranného plynu, je stabilní a velmi málo se rozšiřuje (malá svarová lázeň). Spojované součásti jsou nataveny úzkým svazkem vysokotlakého plazma o teplotě pohybující se řádově okolo 10^4 °C. Plazma vystupuje nadzvukovou rychlostí z trysky hořáku, který je intenzivně chlazen vodou. Jako plazmový plyn se pro ocel používá čistý dusík, pro neželezné kovy argon a vodík. Ke svařování plazmou lze použít střídavý i stejnosměrný proud. Vysoká hustota plazmového plynu v místě svaru umožňuje použít svařování průchozím paprskem. Paprsek při průchodu celou tloušťkou svařovaného materiálu natavuje současně obě plochy svařovaných součástí. Oblast v okolí svaru ovlivněná teplem je malá, tím je dosaženo minimálních deformací ve svařovaném materiálu a velmi dobrého vzhledu svaru, to nám umožňuje svařovat materiály i s velmi malou tloušťkou.

Metoda se používá pro svařování legovaných (korozi-vzdorných, žárovevných) ocelí, běžných uhlíkových ocelí, neželezných kovů a jejich slitin (hliník, měď). Plazmou se svařují součásti velmi malých rozměrů (součásti letecké, radiové, jaderné a automobilové techniky), tlakové nádoby a potrubí v chemickém a potravinářském průmyslu. Používá se také k navařování a řezání slitin i k nástřikům kovových povlaků, které vynikají dobrou odolností proti korozi a žáruvzdorností.

5.2 Svařování za působení tepla a tlaku

Při svařování tlakem ohřejeme spojované součásti v místě spoje na teplotu, při které jsou kovy dostatečně tvárné. Ke spojení kovů dochází použitím potřebného tlaku.

5.2.1 Svařování elektrickým odporem

Svařovaným materiálem prochází elektrický proud, který se přemění v teplo a nataví spojované části. V místě styku svařovaných částí je odpor největší, materiál se v tomto místě rozžhaví a pak se působením tlaku spojí. Svařujeme bez přídavného materiálu střídavým proudem. Svar je vytvořen roztavením a poté ztuhnutím určité části základního materiálu.

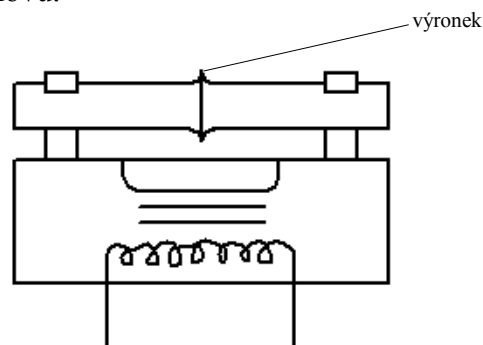
Svářečku používanou při odporovém svařování tvoří dvě části:

- **elektrická** – skládá se ze svařovacího transformátoru, slouží k ohřevu materiálu na svařovací teplotu
- **mechanická** – skládá se z tlačného zařízení, popř. upínacího zařízení

Svařování odporem lze použít v kusové (neekonomické vzhledem k investicím do svařovacího zařízení), sériové a hromadné výrobě. Odporové svařování se dá snadno automatizovat, tím se výrazně zvýší produktivita práce. Mezi nejvíce používané způsoby odporového svařování patří **svařování stykové, bodové a švové**.

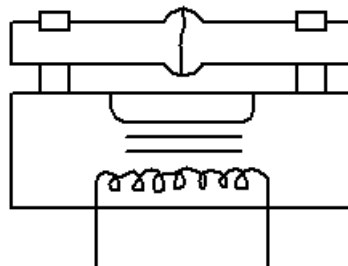
Stykové odporové svařování probíhá dvojím způsobem - tlakem nebo odtavením.

- *Odtavovací způsob* - po zažehnutí oblouku dochází k odtavování svařovaných materiálů (materiálu ubývá), proto se k sobě musí svařované části stále přibližovat. Poté se k sobě svařované plochy rychle přitlačí a tím se svaří. Odtavením vzniká svar s viditelným otřepem a dobrou kvalitou. Tento způsob se používá ke svařování uhlíkových a legovaných ocelí, lze použít i pro některé slitiny neželezných kovů.



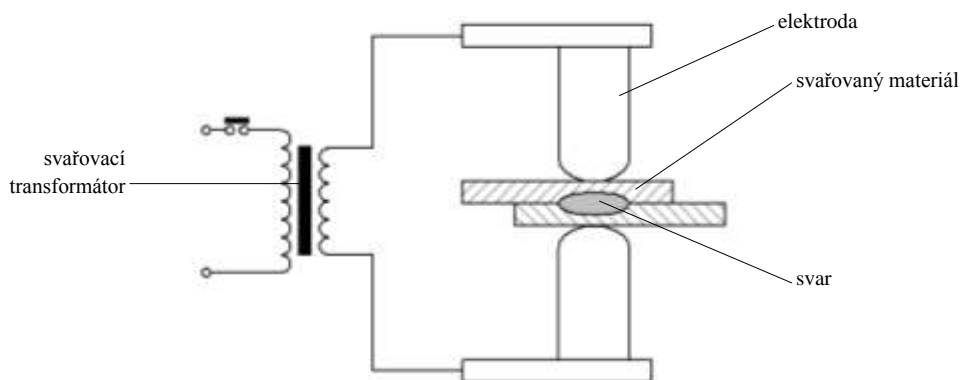
obr. 88 Stykové svařování – odtavení

- Svařování *stlačením* – svařovaný materiál (dráty, tyče) se sevře do čelistí svářečky a vzájemně se přitlačí k sobě. Poté se zapne proud, který se přemění na teplo potřebné k natavení spojovaných částí. Při svařování je ohříván celý materiál mezi čelistmi, nejvyšší teplota je však v místě styku. Po dosažení svařovací teploty se materiály spojí působením tlaku. V okolí svaru vzniká široká teplem ovlivněná oblast, proto se materiál v místě styku napěchuje a vyboulí. Tento způsob se používá např. při nastavování drátů, spojování betonářské oceli, prodlužování vrtáků nebo svařování řetězů.



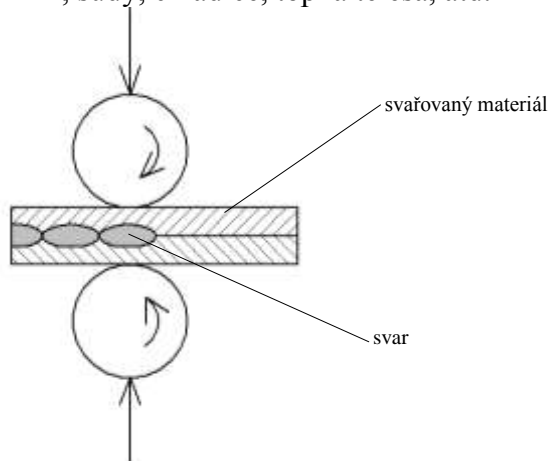
obr. 89 Stykové svařování - stlačením

Bodové svařování – spojované součásti se přeplátují a stlačí mezi dvě elektrody (vyrobené z mědi, uvnitř jsou chlazeny vodou), které jsou připojeny na transformátor, a zapne se elektrický proud. Průchodem elektrického proudu se spojované součásti roztaví v místě největšího přechodového odporu. Ke svaření dojde působením tlaku ve stykových plochách obou součástí. Bodové svařování se používá v sériové a hromadné výrobě ke spojování nízkouhlíkových a legovaných ocelí, slitin neželezných kovů, zejména mědi a hliníku. Svařovací stroje se používají mechanické nebo automatické (až 500 bodů za minutu).



obr. 90 Bodové svařování

Švové svařování je podobné bodovému. Svařované součásti jsou spojované na tupo nebo přeplátovaně. Otáčející se elektrody mají tvar kotouče a jsou chlazeny vodou. Elektrody stlačují svařovaný materiál a přivádějí do něj proud plynule (velké rychlosti svařování) nebo přerušovaně (krátkodobě). Svarový spoj tvořený řadou bodů je souvislý a těsný. Součásti spojované švem mohou být z uhlíkové i slitinové oceli nebo slitin neželezných kovů. Švem se nejčastěji spojují plechy o tloušťce do 3 mm, sudy, chladiče, topná tělesa, atd.



obr. 91 Švové svařování

Výstupkové svařování patří k nejproduktivnějším způsobům odporového svařování, používá se zejména v sériové a hromadné výrobě. Svařovací proud a tlak je soustředěn do výstupků, které jsou vytvořeny lisováním nebo obráběním, na svařovaných částech v místě spoje. Svařované části jsou nejprve přitlačeny elektrodami (slitiny mědi) až na dolehnutí výstupků a

poté se zapne svařovací proud. Průchodem elektrického proudu elektrodami se výstupky nataví a stlačením svařovaných částí mezi čelistmi lisu dochází k vytvoření svaru. Tímto způsobem lze svařovat legované i nelegované oceli. Výstupkovým svařování se dají na plech přivařovat matice, svorníky, trubky a součásti různých tvarů.

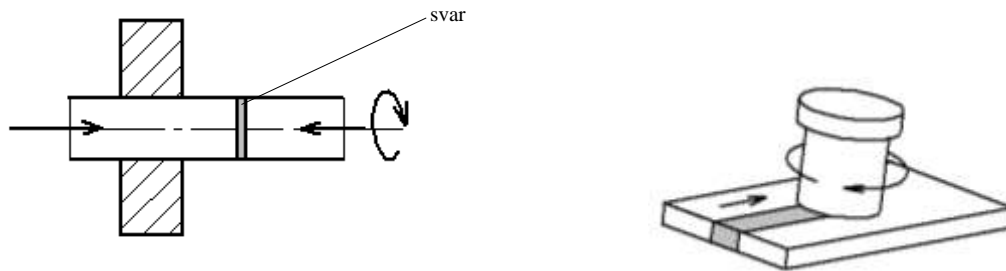
Impulzní odporové svařování – během svařování se akumulovaná energie z kondenzátorové baterie vybíjí krátkým impulzem přes primární vinutí impulzního transformátoru. Na sekundárním vinutí se indukuje proudový impuls. Svarový průřez musí být předem konstrukčně vymezen (výstupky, lemy). Svařovací cyklus je řízen programem, opakuje se v rozmezí 1 – 3 s. Tímto způsobem můžeme svařovat i různé kombinace materiálů – ušlechtilá ocel se slitinami niklu nebo slitými karbidy. Impulzní svařování se používá zejména v automobilovém průmyslu v sériové a hromadné výrobě pro navařování matic na plechy, spojování čepů atd. Výhodami impulzního svařování jsou kratší svařovací časy, menší spotřeba energie, minimální přenos tepla na elektrody (nemusí se chladit) a minimální tepelné ovlivnění okolí svaru, s tím je spojené menší vnitřní pnutí a deformace.

5.2.2 Indukční svařování

Spojovaný materiál je ohřátý na svařovací teplotu, která se nachází asi 150°C pod teplotou tavení, tepelným účinkem indukovaného střídavého proudu. Induktor (ohřívací cívka), zkonstruovaný podle tvaru svařovaných součástí, provede místní ohřev podél svařovaných okrajů a tlakové zařízení (tlak rotujících válců) dokončí svaření. Výhodou indukčního svařování je velká rychlost svařování a velmi úzké tepelně ovlivněné místo (malé pnutí a deformace). Jedná se o způsob vhodný ke svařování slitin hliníku, mědi, niklu a vysokolegovaných ocelí. Indukční svařování se používá zejména při výrobě švových trubek – automatická výroba.

5.2.3 Svařování třením

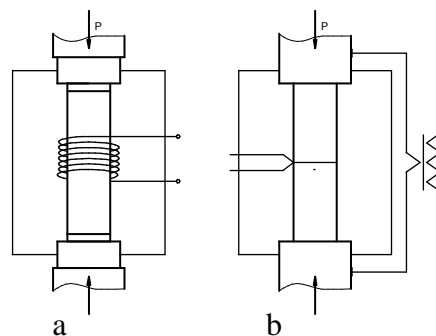
Svařované součásti jsou upnuty do svařovacího zařízení tak, aby se vzájemně dotýkali upravenými svarovými plochami (obráběním, odmaštěním, zbavením okují, atd.). Teplotu potřebnou ke svařování získají svarové plochy třením vzniklým mezi součástmi. Svar vzniká bez přídavného materiálu místním ohřevem a vyvozením pýchovacího tlaku v místě styku spojovaných součástí. Vzniklý svar má vlastnosti základního materiálu a velmi dobré mechanické vlastnosti. Třením lze svařovat konstrukční oceli (legované i nelegované), neželezné kovy (mosaz), šedou litinu, keramiku a plasty i v kombinacích (nástrojová ocel a karbid wolframu nebo šedá litina s ocelí, atd.) s minimální spotřebou energie. Třecí svařování se používá převážně u rotačních symetrických součástí (ozubená kola, hřídele), dají se svařovat také čtvercové a vícehranné průřezy. Svařovací stroje se dají snadno automatizovat, nevýhodou jsou vysoké pořizovací náklady zařízení.



obr. 92 Svařování třením

5.2.4 Difuzní svařování

Svar je uskutečněn prostřednictvím difuze, kdy atomy jedné spojované součásti prostupují do druhé. K vytvoření spojení musíme spojované součásti přiblížit na vzdálenost potřebnou k vytvoření pevných vazeb mezi jejich atomy. V místě spoje vznikají nové strukturní fáze (nové zárodky krystalů) zasahující do okrajů spojovaného materiálu. Spojované součásti musí mít vhodně upravené (obrobené) svařové plochy. Svařovací zařízení se skládá z mechanické části vyvozující tlak potřebný ke svaření a ohřívací části (indukční ohřev, ohřev elektrickým odporem, atd.). Vysoká svařovací teplota (oblast solidu) vyžaduje dlouhodobý ohřev, mohlo by dojít ke vzniku nežádoucím strukturním změnám, proto se svařuje ve vakuové komoře nebo v atmosféře ochranného plynu. Difuzí se svařují součásti ze žárovevného a elektricky vodivé materiálu v elektrotechnice, mikromechanice, letectví a jaderném průmyslu.

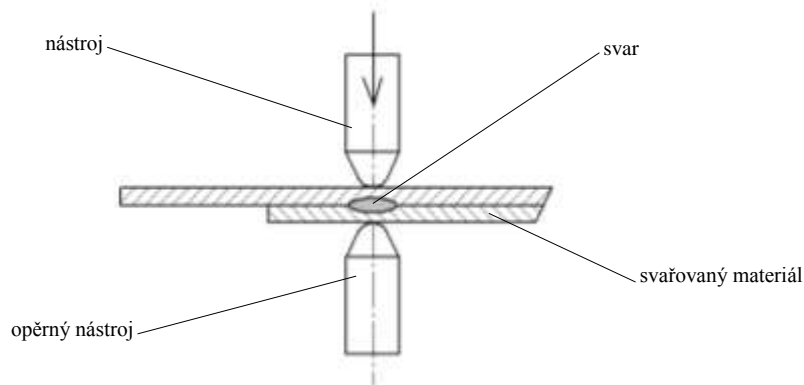


obr. 93 Difuzní svařování a) indukční ohřev ve vakuu, b) ohřev odporem

5.3 Svařování za působení tlaku

5.3.1 Svařování tlakem za studena

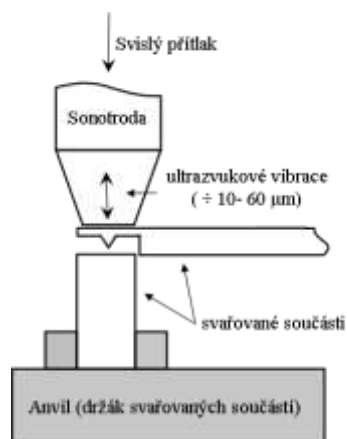
Svařování se používá ke spojování dílů (stykově, bodově a přeplátovaně) pomocí velké plastické deformace za studena bez ohřevu svařovaných dílů. Stykové plochy svařovaných součástí musí být upraveny (odmaštěny, zbaveny oxidů, atd.), poté se vloží do čelistí a stlačí se. Spojení součástí je uskutečněno difuzí, kdy vznikají vazby mezi povrchovými (hraničními) krystalovými mřížkami. Použitý tlak (300 – 3800 MPa závisí na druhu svařovaného materiálu. Tímto způsobem lze svařovat hliník a jeho slitiny, nikl, olovo, měď a stříbro. Svařování za studena se používá při výrobě konzervových krabic, nádrží, trubek, spojování elektrických drátků, kontaktů, atd. Tloušťka svařovaných plechů nepřesahuje 5mm.



obr. 94 Svařování tlakem za studena

5.3.2 Svařování ultrazvukem

Spojované materiály jsou vystaveny kmitům ultrazvuku za současného působení tlaku. Mechanické kmity spojovaných dílů získané přeměnou elektrické energie vyvolávají třením teplo v tenké povrchové vrstvě podporující difuzi. Kmity jsou do místa svaru přenášeny tzv. sonotrodou. Ultrazvuk se používá pro svařování kovů (o velmi malé tloušťce 0,005 – 3mm), slitin, jejich kombinací a plastů. Tloušťka je omezená pouze u jedné součásti, tloušťka druhé součásti je libovolná. Ultrazvukem se materiály spojují přeplátovaně (bodově nebo švově). Ultrazvukem se svařují části kondenzátorů, pouzdra tranzistorů, rámečky diapozitivů, atd.



obr. 95 Svařování ultrazvukem

5.3.3 Svařování výbuchem

Přeměna tepelné nebo kinetické (pohybové) energie na mechanickou je způsobena řízeným výbuchem. V místě výbuchu vzniká následkem vysoké teploty a velkého množství uvolněných plynů tlak potřebný ke svařování. Při svařování výbuchem rozlišujeme dvě metody:

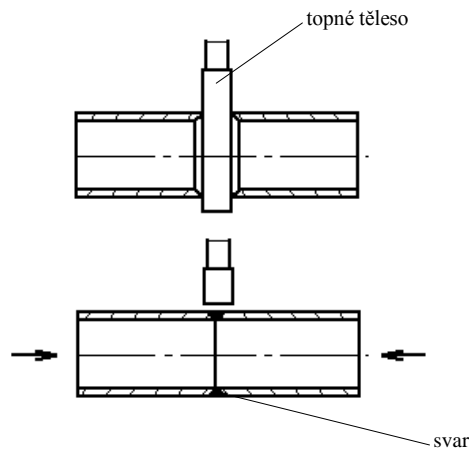
- nastřelování – používá se ke spojování drobných součástí, provádí se na lisech pomocí razníku, jehož pohybová energie se přeměňuje na svařovací tlak
- plátování – výbušnina je umístěna nad svařovaným materiálem a tlakovou vlnou exploze je horní spojovaný materiál přitlačen ke spodnímu

Výbuchovým svařováním se získávají spoje kovových materiálů, popř. jejich kombinací (hliník a měď, nerez ocel, atd.). Tento způsob se používá ke svařování trubek výměníků tepla, plátování nástrojových ocelí, spojování elektrických vodičů velkých průřezů apod.

5.4 Svařování plastů

Svařovat můžeme pouze termoplasty, které se teplem taví. Ke svařování plastů se používá horký plyn (vzduch, dusík) ohřátý ve svařovací pistolí. Přídavný materiál (drát) je ze stejného plastu jako svařované součásti. Způsoby svařování i druhy svarů jsou podobné jako u kovů. Svařování plastů ovlivňuje vlastnosti spojovaných materiálů a jejich tloušťka.

Ke spojování trubek (spoje na tupo a přeplátované) se používá svařování kovovým topným tělesem. Použitím topného tělesa dochází ke tvarování spojovaných konců trubek, poté následuje jejich svaření. Kromě této technologie se používá ještě svařování třením, ultrazvukové atd. Technologie svařování je podobná jako u kovů.



obr. 96 Svařování plastů topným tělesem

5.5 Navařování

Navařováním se používá k:

- renovaci (opravám) opotřebovaných součástí (čepy, obráběcí nástroje, zápustky, atd.)
- nanášení nového materiálu (návaru) na povrch základního materiálu, provedené návary mohou být jednovrstvé nebo vícevrstvé

K navařování se používají technologie jako u svařování: navařování plamenem, elektrickým obloukem, laserem, plazmou, atd. Navařování se provádí zejména za účelem zvýšení odolnosti proti mechanickému opotřebování a korozivzdornosti.

Obloukové vibrační navařování

Uplatňuje se hlavně při renovaci opotřebovaných součástí (např. hřídelí). Jedná se o automatický proces, při němž je navařována vrstva max. do tloušťky 3mm. Elektroda (holý drát) se odvíjí z bubnu a vykonává kmitavý pohyb, při kterém se neustále zapaluje a zháší elektrický oblouk. Tím dochází k vytvoření návaru.

Shrnutí učiva



Svařování se používá k vytvoření pevného a nerozebíratelného spojení kovových i nekovových materiálů. Svarem můžeme spojovat strojní součásti i celé konstrukce. Výrobek zhotovený svařováním se nazývá **svařenec** (svarek), nejčastěji bývá zhotoven z hutních polotovarů, odlitků, výkovků atd. V oblasti svaru a jeho okolí dochází vlivem vysokých teplot ke vzniku vnitřního prnutí, deformací a změnám ve struktuře materiálu. Pro odstranění těchto nedostatků se používá tepelné zpracování. Svařování dělíme podle použité energie na tavné a tlakové.

Svařování **tavné**:

- plamenem
- obloukové (obalenou elektrodou, pod tavidlem, MIG, MAG, WIG)
- elektrostruskové
- elektronovým paprskem
- laserem
- plazmou

Svařování **tlakové**:

- odporové (stykové, bodové, švové, výstupkové, impulzní)
- indukční
- třením
- difúzní
- za působení tlaku
- ultrazvukem
- výbuchem

Ke spojování plastů se používá svařovací topné těleso nebo se používají technologie stejné jako u svařování kovů, např. svařování třením, ultrazvukem. Svařovat lze pouze termoplasty, které teplem taví a mění svůj tvar.

K opravám poškozených strojních součástí a konstrukcí nebo k nanášení povrchových vrstev se používá **navarování**. Navařováním se snažíme zvýšit ořezuvzdornost materiálů a odolnost proti korozi. Při navařování se využívá stejných technologických postupů jako při svařování.

Otázky a úkoly



1. Charakterizujte svařování a svařitelnost.
2. Vyjmenujte výhody a nevýhody svařování,
3. Jak se nazývá výrobek zhotovený svařováním?
4. Jak dělíme svařování podle použité energie při svařování?
5. Vysvětlete, jak ovlivňuje teplo použité při svařování svar a jeho okolí.
6. Charakterizujte metody svařování.
7. Jakými způsoby svařujeme plasty?
8. Charakterizujte navařování a určete jeho použití.

Test

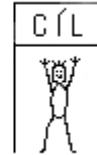
1. Svařovat lze materiály:
 - a. kovové
 - b. nekovové
 - c. kovové i nekovové *
2. Svařováním se materiály:
 - a. spojují *
 - b. oddělují
3. Svařováním vyrábíme spojení:
 - a. nerozebíratelná *
 - b. rozebíratelná
 - c. materiály se svařováním nespojí
4. Výrobek získaný svařováním se nazývá:
 - a. odlitek
 - b. svařenec *
 - c. výstřižek
5. Struska u tavného svařování:
 - a. podporuje oxidaci kovu
 - b. zabraňuje oxidaci kovu *
 - c. nevytváří se
6. Volba ochranného plynu:
 - a. neovlivňuje vlastnosti svaru
 - b. ovlivňuje vlastnosti svaru *
7. Při svařování elektrickým odporem se proud přeměňuje v:
 - a. teplo *
 - b. tlak
 - c. rychlost *
8. Plasty svařujeme:
 - a. stejnými způsoby jako kovy *
 - b. nelze je svařovat
9. Z plastů lze svařovat:
 - a. reaktoplasty *
 - b. termoplasty
 - c. elastomery
10. Navařování se používá k:
 - a. opravám *
 - b. navařování vrstev *
 - c. nepoužívá se

6 PÁJENÍ

CÍLE

Po prostudování této kapitoly dokážete:

- popsat princip pájení a vyjmenovat výhody a nevýhody
- vyjmenovat vlastnosti pájky
- rozdělit pájky podle teploty tání
- charakterizovat metody pájení



Pájením vzniká nerozebíratelné spojení kovů pomocí roztavené slitiny – **pájky**. Pájet lze materiály stejného nebo rozdílného chemického složení. Pájené plochy (upraveny přeplátovaně nebo stykově) musí být dokonale očištěné a odmaštěné. Spojované plochy nejsou při pájení natavené, jsou pouze smáčené roztavenou pájkou. Teplota tání pájky (přídavného materiálu) je vždy nižší než teplota základního kovu. Materiál se na pracovní teplotu ohřívá místně nebo se ohřívají celé součásti. Spoj vzniká vlivem **adheze** (přilnutí materiálů) nebo **difuze**, kdy dochází k rozpuštění stykových ploch základního materiálu v roztavené pájce.

Výhody:

- v okolí spoje vznikají malá pnutí a deformace
- kratší pracovní časy (nízké pracovní teploty) a menší spotřeba energie oproti svařování
- spoje jsou těsné a elektricky vodivé

Nevýhody:

- nebezpečí vzniku elektrochemické koroze
- menší pevnost oproti svařovanému spoji

Pájka musí mít dobrou zatékavost, smáčivost, vzlínavost, vyhovující mechanické vlastnosti a malý rozdíl elektrického potenciálu vůči základnímu materiálu.



obr. 97 Pájení

Pozn.

- **zatékavost** – schopnost roztavené pájky vyplnit a spáru mezi spojovanými součástmi
- **smáčivost** – schopnost roztavené pájky spojit se při pracovní teplotě se základním materiálem, smáčivost pájky lze zlepšit přidáním malého množství např. niklu, lithia, manganu, atd.
- **vzlínavost** - schopnost roztavené pájky vyplnit při pájecí teplotě určitou mezeru spoje působením kapilární síly

Podle **teploty tání** se **pájky** dělí na měkké (do 500°C) a tvrdé (500 - 1000°C).

- **Měkké** pájky – nejčastěji se používají pájky na bázi cínu a olova nebo speciální pájky obsahující, kromě cínu a olova, měď, zinek, stříbro, bizmut, atd. Jsou dodávány ve tvaru litých tyček, trubiček s náplní tavidla, zrn, apod.
- **Tvrde** pájky jsou na bázi slitin mědi s hliníku, stříbra, zlata aj. Dodávají se ve formě housek, drátů apod. Používají se pro získání spojů s větší pevností. Stříbrné pájky vytvářejí houževnatější spoje než pájky mosazné.

Za účelem zvýšení smáčivosti a vzlínivosti pájky a ochraně proti oxidaci se používají ochranné plyny (inertní, aktivní), vakuum a tavidla. **Tavidla** (chemické látky – kapaliny, pasty) odstraňují z pájených ploch nečistoty a oxidy. Pro měkké pájení se používá nejčastěji roztok chloridu zinečnatého, amoniaková sůl aj., pro tvrdé pájení směs boraxu a kyseliny borité, atd. Zbytky tavidel musíme odstranit, např. opláchnutím vodou, mořením v roztoku kyseliny chlorovodíkové, neutralizací čpavkovou vodou, mají korozivní účinek.

Podle **pracovní teploty pájení** rozlišujeme pájení:

- **měkké** – do 500°C, s použitím tavidla
- **tvrdé** – nad 500°C, s použitím tavidla
- **vysokoteplotní** – nad 900°C, bez použití tavidla, v ochranném plynu nebo vakuu

Podle tepelného zdroje použitého k roztavení pájky rozlišujeme pájení páječkou, horkým plynem, elektrické odporové a indukční pájení, pájení laserem, elektronové pájení, pájení v peci, atd.

Pájení dělíme na:

- **Měkké**
Měkkým pájením se nejčastěji vytvářejí plátované spoje, spojované plochy musí být před pájením očištěny. Tavidlo se nanáší před zajištěním polohy pájených součástí na nepřístupná místa, a na přístupná až po zajištění. Pájka se umísťuje na materiál v místě spoje nebo na špičku hrotu pájedla. Při pájení pájedlem se hrotem ohřátým na pracovní teplotu nabírá z tyčinky pájka a roztírá se na pájených plochách. Pájedlo je ohříváno elektricky nebo plamenem. Zbytky pájky a tavidla se odstraňují omytím v rozpouštědle, které se volí podle druhu použitého tavidla.

Spoje vytvořené měkkým pájením nesmí být v provozu vystavovány vysokému namáhání (max. pevnost v tahu je 80 MPa). Získané spoje jsou těsné a umožňují přenos elektrického proudu nebo tvoří vrstvy chránící materiál před korozi.

Měkkým pájením lze spojovat oceli, šedou litinu, slitiny zinku, stříbra, niklu, olova, cínu, hliníku, mědi, aj. Měkké pájení se používá zejména v elektrotechnice, instalatérství a klempířství ke spojování pocínovaných a pozinkovaných atd.

- **Tvrde**
Tavidlo pro tvrdé pájení se nanáší na spojované plochy (před pájením musí být očištěny) nebo je obsaženo ve směsi se zrnem pájky. Použitá pájka, ve tvaru zrn nebo pásů, drátů aj. se vkládá k místu spoje. Zdroj tepla potřebný k dosažení pájecí teploty se volí podle druhu pájeného spoje – př. plamen, solná lázeň, elektrický indukční nebo odporový ohřev.

Tvrdé pájení se používá zejména k získání spojů namáhaných na tah. Je vhodné pro spojování ocelí (korozivzdorné, žárovevné), slitin mědi, hliníku, ušlechtilých kovů a šedé litiny.

- **Kapilární**

Jedná se o zvláštní způsob pájení, kde využíváme kapilární vzlínivosti pájky. Tekutá pájka proniká difuzí do všech mezer (pórů) v povrchové vrstvě stykových ploch i do spáry mezi součástmi. Před pájením se části očistí a zajistí proti posunutí (nalisují se k sobě). K ohřevu pájených částí se používají elektrické průběžné pece s ochrannou atmosférou nebo se provádí ve vakuu, aby se zabránilo oxidaci. Pájka se i s tavidlem vkládá do spojů před vsunutím součástí do pece. Kapilárním pájením lze spojovat veškeré oceli včetně nerezových a neželezné kovy, používá se zejména v automobilovém průmyslu.

Shrnutí učiva



Pájení používáme k vytvoření nerozebíratelného spojení pomocí **pájky** – roztavené slitiny. Pájka musí mít dobrou zatékavost, smáčivost, vzlínavost, vyhovující mechanické vlastnosti a malý rozdíl elektrického potenciálu vůči základnímu materiálu. Pájky dělíme podle teploty tání na **měkké** a **tvrdé**.

Pájet můžeme materiály se stejným nebo odlišným chemickým složením. Pájené plochy (odmaštěné a očištěné) jsou pouze pájkou **smáčené**, nejsou natavené. Pájený spoj vzniká **přilnutím** materiálu nebo **rozpuštěním** stykových ploch součástí v roztavené pájce.

Proti oxidaci kovů při pájení se používají **tavidla**, **ochranný plyn** nebo **vakuum**. Pájení dělíme pracovní teploty na **měkké**, **tvrdé** a **vysokoteplotní**; podle výrobního postupu na **měkké**, **tvrdé** a **kapilární**.

Otázky a úkoly



1. Definujte pájení a vyjmenujte jeho výhody a nevýhody.
2. Jak rozlišujeme pájky podle teploty tání?
3. Vyjmenujte vlastnosti pájky potřebné k vytvoření spoje.
4. K čemu se používá tavidlo nebo ochranný plyn při pájení?
5. Jaké jsou pracovní teploty pájení?
6. Charakterizujte metody pájení.

Test

1. Pájení se používá k vytvoření:
 - a. rozebíratelného spojení
 - b. nerozebíratelného spojení *
2. Pájené plochy před samotným pájením:
 - a. musí být upraveny *
 - b. nemusí být upraveny
 - c. nezáleží na tom
3. Pro zlepšení smáčivosti pájky se používá:
 - a. ochranný plyn *
 - b. tavidlo *
 - c. nemusí se nic používat
4. Používané pájky jsou z:
 - a. oceli
 - b. neželezných kovů *
 - c. litiny
5. Pájet můžeme materiály:
 - a. pouze se stejným chemickým složením
 - b. pouze s různým složením
 - c. se stejným i různým chemickým složením *

7 ŽÁROVÉ DĚLENÍ MATERIÁLŮ

CÍLE

Po prostudování této kapitoly dokážete:

- charakterizovat metody plamenového řezání kyslíkem a elektrickým obloukem
- vyjmenovat a popsat principy zvláštních metod žárového řezání

Tepelná energie se nevyužívá ve strojírenském průmyslu pouze ke spojování materiálu, ale i k jeho dalšímu zpracování např. řezání, drážkování apod. Metody žárového (tepelného) dělení (řezání) materiálů zkracují čas potřebný na výrobu a obrábění polotovarů.

7.1 Plamenové řezání kyslíkem

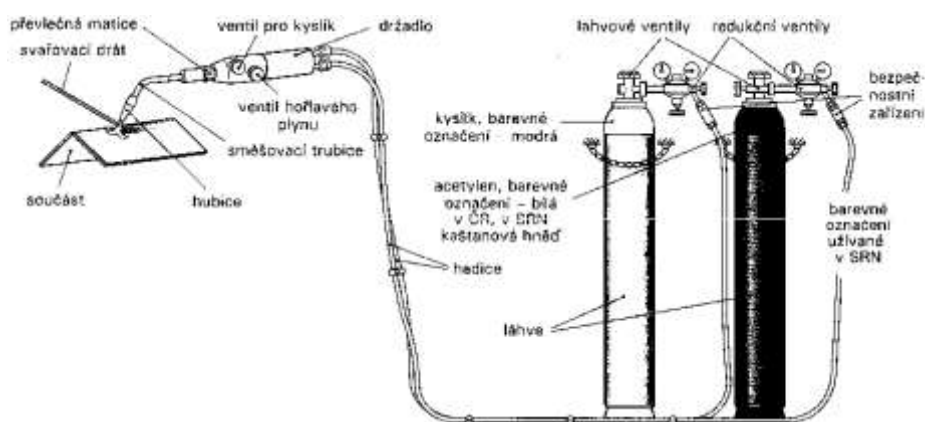
Plamenové řezání kyslíkem dělíme do dvou skupin:

- **plamenové řezání kyslíkem na vzduchu**

Podstatou řezání je **ohřev kovu na teplotu spalování** (hoření materiálu) a **jeho spálení v proudu kyslíku, vyfukování oxidů** a tím **vytvoření řezné spáry**. Spalováním se uvolňuje teplo potřebné k předehřevu dalšího místa řezu.

Řezat můžeme pouze ty kovy, jejichž teplota spalování je nižší než teplota tání (př. železo 1 050°C). Pokud je teplota spalování vyšší dochází pouze k natavení materiálu a provedený řez je nekvalitní. Nižší teplotu tání než řezaný materiál musí mít také vzniklé oxidy a struska. Struska musí mít také dobrou tekutost, aby se dala snadno odstranit z řezné mezery. Řezat kyslíkem lze oceli s nízkým obsahem uhlíku a vysocelegované oceli, šedá litina a neželezné kovy se musí řezat zvláštními způsoby.

Řezání se provádí **řezacím hořákem**, kterým se do místa řezu přivádí **kyslíko-acetylenový plamen** potřebný k ohřevu materiálu nebo methylacetylen-propadienový plyn. Kyslík používaný k řezání musí mít čistotu alespoň 98,5%. **Ohřev materiálu musí být plynulý a rovnoměrný** v celém průřezu. Získané **plochy řezu jsou nekvalitní** s otřepy, které se musí odstranit (př. broušením nebo omíláním). Pro získání kvalitního povrchu řezaných ploch musíme počítat s **přídavky na obrábění**.



obr. 98 Plamenové řezání kyslíkem

- **plamenové řezání kyslíkem pod vodou**

Princip této metody je stejný jako u plamenového řezání kyslíkem na vzduchu, rozdíl je pouze v úpravě hořáku. Místo acetyleny se používá většinou vodík. Okolo ohřívacího plamene musí být vytvořena ochranná clona proti vniknutí vody – používá se speciální ochranná špička na řezací hlavě, kde zplodiny hoření vytlačují vodu nebo ochranný tlak. Metoda se používá pro řezání plechů o tloušťce 10 – 40mm. Větší tloušťka vyžaduje odbornou kvalifikaci.

Řezání kyslíkem lze provádět:

- **ručně** – provádí se ručními řezacími hořáky, nízká kvalita řezu (hrubý), používá se hlavně v zámečnických dílnách (dělení polotovarů), hutnictví (oddělování velkých nálitků)
- **strojně** – používají se stabilní nebo přenosné stroje, vhodné pro sériovou výrobu – moderní stroje jsou řízeny programově, vyšší kvalita řezu (hladký) než u ručního řezání

Při řezání polotovarů (plechy, vývalky, svařence) dochází v okolí řezu k tepelnému a deformačnímu ovlivnění materiálu, které se projevuje vnitřním pnutím, zvýšenou tvrdostí v okolí řezné spáry, změnou struktury materiálu, tvorbou povrchových trhlin (závisí na rychlosti ochlazování) aj. Ke snížení vnitřních pnutí, obnovení struktury a mechanických vlastností se používá tepelné zpracování (žihání) nebo lze uvažovat s přísádky na obrábění.

7.2 Řezání elektrickým obloukem (elektrokyslíkové)

- **řezání elektrickým obloukem na vzduchu**

Metoda je založena na stejném principu jako svařování elektrickým obloukem. Používá se také stejné svařovací zařízení, rozdíl je v použitém elektrickém proudu – u řezání je asi o 30% vyšší. Elektrický oblouk hoří mezi elektrodou a řezaným materiálem. Řezací kyslík je přiváděn dutou ocelovou elektrodou. Řezaný materiál se odtavuje a částečně spaluje v proudu řezacího kyslíku. Řezné plochy nebývají očištěné a přesné, proto se řezání elektrickým obloukem používá hlavně pro demontážní práce, dělení šedé litiny, nerezavějících ocelí a neželezných kovů převážně na šrotištích.

- **řezání elektrickým obloukem pod vodou**

Metoda je podobná jako řezání kyslíkem. Zdrojem tepla potřebného k řezání je elektrický oblouk hořící mezi elektrodou a řezaným materiálem. K řezání se používá ocelová (keramická) dutá elektroda obalená tavidlem, její povrch je lakován (izolátor). Pro zajištění vyšší bezpečnosti se používá elektroda obalená epoxidovou vrstvou.

7.3 Zvláštní způsoby řezání

Materiály, které nelze řezat kyslíkem musíme řezat mechanicky (pilou, odvrtáváním, broušením, frézováním) nebo nějakým jiným hospodárnějším způsobem.

7.3.1 Práškové řezání

Do místa řezu je přiváděn speciální železný prášek pomocí kovové roury nebo řezacího hořáku. Železný prášek hoří v proudu kyslíku a při spalování uvolňuje velké množství tepla potřebného k řezání, zároveň odstraňuje i oxidy (strusku) vzniklé při spalování z řezné mezery. Pro snadnější odstranění oxidů (strusky) z místa řezu můžeme místo železného prášku použít korundový nebo křemenný písek přiváděný ze zásobníku do proudu řezacího kyslíku, kde dochází k jeho spalování.

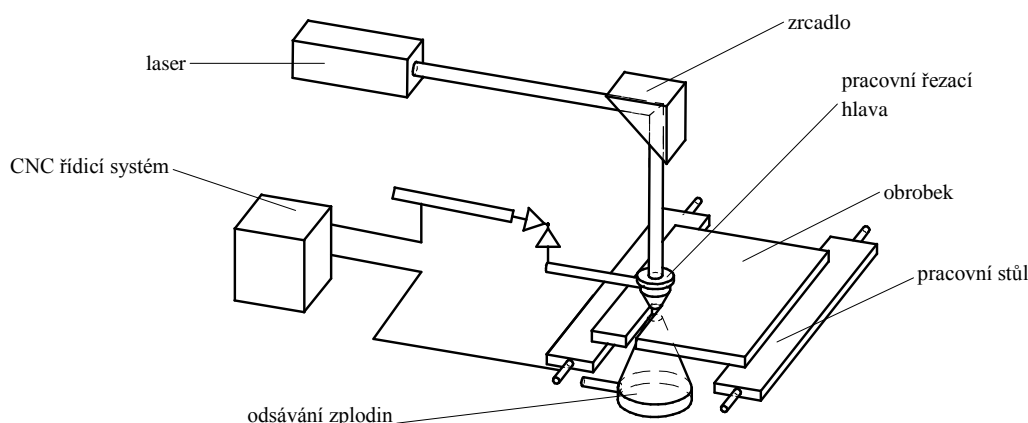
7.3.2 Řezání laserem

Řezání laserem spočívá ve spalování nebo protavování řezaného materiálu. Laserový paprsek je soustředěn do několika setin až desetin milimetrů v místě řezu a tam je ohříván na pracovní teplotu.

Při řezání **spalováním** ohřívá laserový paprsek řezaný materiál, vlastní řezání je způsobeno vyfukováním kyslíku přivedeným do místa řezu.

Protavováním je roztavený materiál z řezné spáry vyfukován řezným plynem. U nekovových materiálů (snadno spalitelné - termoplasty, textil, apod.) se používá řezný plyn na bázi dusíku. Při řezání protavováním dochází k odpařování řezaného materiálu.

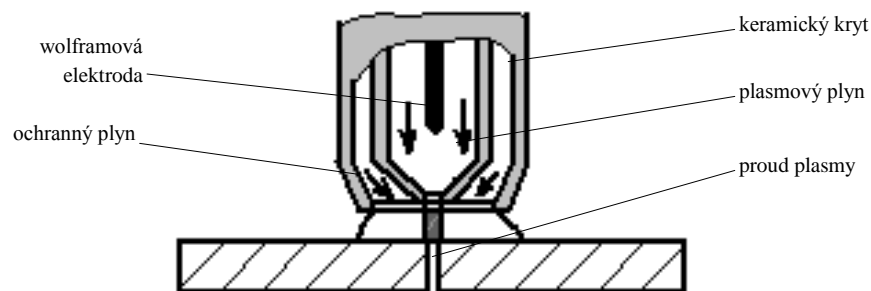
Laserovým řezáním je dosaženo vysoké tvarové a rozměrové přesnosti i jakosti řezných ploch (díly se v některých případech nemusí již obrábět). Laserem lze řezat velmi tvrdé i velmi měkké materiály, rovinné i prostorové tvary (nemusí se vyrábět složité střížné nástroje). Používá se pro řezání polotovarů do tloušťky 15mm.



obr. 99 Schéma zařízení pro řezání laserem

7.3.3 Řezání plazmou

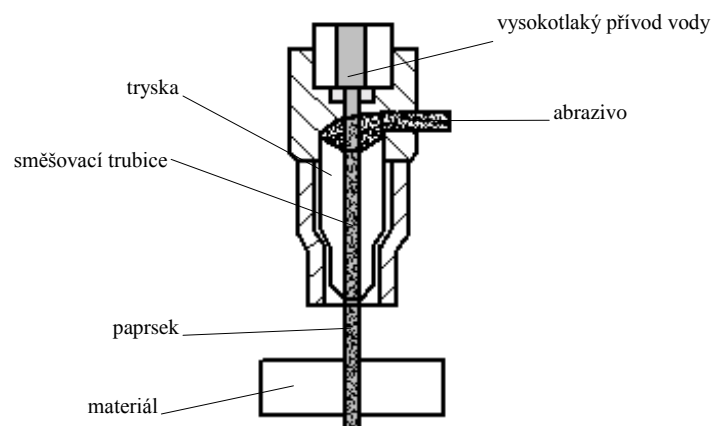
Při dělení materiálů se používá koncentrovaný oblouk, který taví materiál vysokoteplotním plazmovým svazkem. Svazek plazma má při výstupu z hořáku vysokou výstupní rychlost způsobenou vyšším tlakem a větším množstvím přiváděného plynu. Vysoká teplota plazmy umožňuje řezat vysocelegované žáruvzdorné a korozivzdorné oceli, uhlíkové oceli a neželezné materiály s vysokou tepelnou vodivostí (hliník, měď). Plazmové řezání se používá zejména tam, kde nelze použít jinou metodu řezání (plamen). Výhodou je vysoká produktivita při minimálním ovlivnění základního materiálu. V současné době jsou řezací stroje vybaveny číslicově řízeným systémem. Jednotlivé díly jsou navrhovány programem pro CNC systém, který ovládá plazmový hořák.



obr. 100 Řezání plazmou

7.3.4 Řezání vodním paprskem

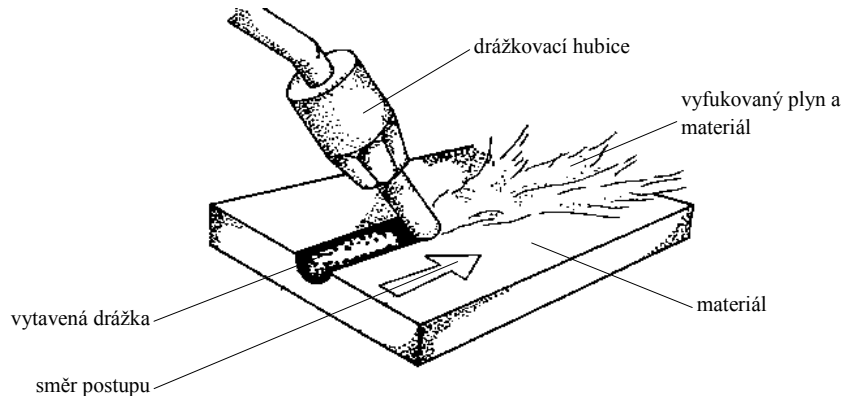
Řezání vodním paprskem patří mezi metody přesného a tvarového řezání, materiál je v podstatě obrušován tlakem vodního paprsku. Voda tekoucí pod vysokým tlakem z čerpadla přes vysokotlaké potrubí do řezací hlavy je v trysce změněna na vodní paprsek o rychlosti až čtyřnásobně vyšší než rychlost zvuku. Při řezání vodním paprskem je vytvořen tenký řez. V místě řezu a jeho okolí nedochází k oteplení materiálu a tím ke vzniku deformací. Při řezání nevzniká žádný prach ani toxické plyny (plamen) škodící životnímu prostředí. Řezání vodním paprskem se používá pro řezání azbestu, mramoru, skla, plastů, ocelí (konstrukční, nástrojová), atd. Díky tenkému řezu je minimální odpad materiálu. Řezání probíhá nejčastěji na CNC řízených strojích.



obr. 101 Řezání vodním paprskem

7.4 Drážkové řezání kyslíkem

Princip je podobný plamenovému kyslíkovému řezání, liší se ve tvaru řezací hubice a směru kyslíkového proudu. Materiál se při drážkování nedělí, vypaluje se pouze jeho určitá část. Drážkováním se do materiálu vypalují půlkruhové drážky různé hloubky a šířky. Šířka a hloubka závisí na velikosti a sklonu řezací hubice. Vzniklé oxidy a zplodiny hoření jsou vyfukovány proudem kyslíku ze vzniklé drážky. Drážkování se používá při mechanickém opracování (odstraňování nálitků, úpravách svarů a povrchu ingotů, výkovků, atd.)



obr. 102 Drážkové řezání kyslíkem

7.5 Rovnání plamenem

Rovnění plamenem se používá k odstranění deformací vzniklých v součástech po jejich tepelném zpracování, např. při svařování – zakřivení materiálu, atd. Rovnění se provádí zejména u plechů, jednostranně svařených konstrukcí a tyčí různých průřezů (I, L, U, atd.).

Princip rovnání plamenem spočívá v prudkém ohřevu deformovaných míst kyslíko-acetylenovým plamenem a následném chladnutí. Ohřáté místo má snahu se roztahovat, tomu však brání okolní chladný materiál. Při ochlazování se ohřátý materiál zkracuje a vlivem pnutí dochází k jeho vyrovnání. Rovněním se opravují součásti např. z oceli, niklu, mědi, mosazi, hliník a titan.

Shrnutí učiva



Tepelná energie se nepoužívá pouze ke spojování materiálů ale i k jejich **dělení** nebo odebrání určitého průřezu materiálu z polotovaru. K nejpoužívanějším metodám patří řezání kyslíkovým plamenem na vzduchu.

Řezání plamenem spočívá v ohřevu kovu nejčastěji kyslíko-acetylenovým plamenem na teplotu spalování (hoření materiálu) a jeho spálení v proudu kyslíku, vyfukování oxidů a tím vytvoření řezné spáry. Plamen je do místa řezu veden řezacím hořákem. Ohřev řezaného materiálu musí být plynulý a rovnoměrný v celém jeho průřezu. Nevýhodou řezání plamenem je nekvalitní řez, abychom získali kvalitní povrch řezaných ploch, musíme počítat s přidavky na obrábění. Řezání plamenem se používá zejména k dělení polotovarů.

Mezi další používané metody patří řezání **laserem**, **plazmou** a **vodním paprskem**. Jedná se o metody s vysokou rozměrovou a tvarovou přesností, úzkým řezem a kvalitními řeznými plochami (většinou odpadá obrábění).

Při **drážkování** se materiál nedělí, vypaluje se do něj půlkulatá drážka o různé hloubce a šířce. Drážkování se používá při odstraňování nálitků, úpravách svarů a povrchu ingotů, výkovek, atd.

Rovnění plamenem se používá k odstranění deformací vzniklých v součástech např. po svařování – zakřivení materiálu. Rovnění plamenem spočívá v prudkém ohřevu deformovaných míst kyslíko-acetylenovým plamenem a následném chladnutí. Rovnění se provádí zejména u plechů, jednostranně svařených konstrukcí a tyčí různých průřezů.

Otázky a úkoly



1. Charakterizujte řezání kyslíkem.
2. Jaké materiály můžeme řezat kyslíkem?
3. Popište princip řezání plazmou, laserem a vodním paprskem.
4. K čemu používáme drážkování?
5. Popište princip rovnání plamenem, kdy ho používáme?

Test

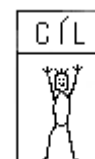
1. Řezání plamenem se používá ke:
 - a. spojování materiálů
 - b. oddělování materiálů *
2. Řezaný materiál se musí ohřát na teplotu:
 - a. tavení
 - b. spalování *
 - c. 500°C
3. Řezání kyslíkem lze provádět
 - a. pod vodou *
 - b. na vzduchu *
 - c. v ochranné atmosféře
4. U které metody žárového dělení nemusíme používat přísady na obrábění?
 - a. plamenem
 - b. plazmou *
 - c. elektrickým obloukem
5. Jakým způsobem se odstraňuje zakřivení materiálu po řezání nebo svařování:
 - a. rovnáním *
 - b. lisováním
 - c. obráběním *

8 KOROZE A OCHRANA PROTI KOROZI

CÍLE

Po prostudování této kapitoly dokážete:

- definovat pojem koroze
- rozlišovat druhy koroze podle různých hledisek
- navrhnout vhodné způsoby ochrany proti korozi



Koroze je **samovolné** a **postupné rozrušování materiálů** vzájemným chemickým nebo fyzikálněchemickým působením materiálu a okolního prostředí. Prostředí, ve kterém se koroze nachází, může být **pevné** (půda), **kapalně** (voda) nebo **plynné** (atmosféra). Korozní děje jsou posilovány současným působením mechanického (tření, vibrace) a tepelného namáhání.

Rozrušování materiálu korozi se projevuje změnami materiálu:

- **zhoršují se zejména mechanické vlastnosti** - materiál křehne, praská
- dochází ke **změně tvaru a rozměrů**.

Koroze vzniká **nejčastěji na povrchu** materiálu a **postupuje směrem dovnitř**. Na povrchu materiálu vznikají vrstvy koroze, jejichž vlastnosti se liší od materiálových vlastností před napadením. Povrch materiálu pokrytý korozi je drsnější a koroze ho tak může snadněji napadat.

U některých kovů oxiduje pouze jejich povrch (zinek, měď aj.). Oxidy vytvářejí na povrchu materiálu ochranný povlak a chrání tak spodní vrstvy kovu před další oxidací. U ostatních kovů (např. železo) pokračuje oxidace tak dlouho, dokud nerozruší celý materiál.

Koroze znehodnocuje kromě **kovů** i **nekovové materiály** (např. plasty – bobtnání, rozpouštění). U plastů způsobuje korozi ultrafialové a radioaktivní záření, působení vzduchu, mikroorganismů, agresivních plynů, atd..

Účinkům koroze lze zabránit vhodně zvoleným způsobem **protikorozní ochrany**, např. povrchové a konstrukční úpravy. Protikorozní ochrany prodlužují životnost strojních součástí.

8.1 Druhy koroze

Podle povahy korozivních dějů se rozlišují různé druhy koroze.

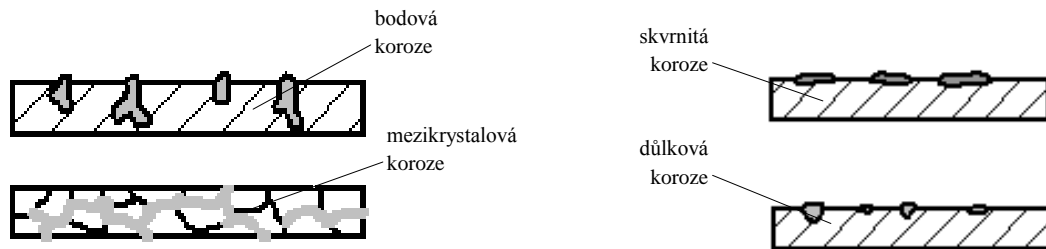
Druhy koroze **z hlediska vzhledu** (zjišťuje se na metalografických výbrusech):

- **rovnoměrná** – napadá celý povrch materiálu,



obr. 103 Koroze rovnoměrná

- **nerovnoměrná (místní)** – nebezpečnější než celková, napadá materiál v určitých místech do různé hloubky, projevuje se jako:
 - skvrnitá,
 - důlková,
 - bodová – koroze působí v nepatrných plochách, ale do hloubky může způsobit proděravění materiálu,
 - mezikrystalová – šíří se po hranicích mezi zrny, snížení hodnot mechanických vlastností materiálů,
 - selektivní – rozpadají se pouze některé složky (fáze) slitin.



obr. 104 Koroze nerovnoměrná

Druhy koroze z hlediska vnitřního mechanismu:

- **chemická**
Koroze je způsobena chemickými reakcemi materiálu s okolním prostředím (kapalné, plynné). Při chemické korozi materiál oxiduje a vytváří na povrchu vrstvu oxidů:
 - tenká a souvislá vrstva - chrání materiál před dalším korodováním (jedná se zejména o hliník, zinek, cín, atd.),
 - tlustá vrstva oxidů – oxidační vrstva vlivem vysokých teplot praská a odlupuje se od povrchu (okuje), dochází tak ke ztrátě hmotnosti materiálu a zhoršené jakosti povrchu (špatná obrobitelnost).
- **elektrochemická**
Probíhá v prostředí, které má povahu elektrolytu (roztavená sůl, vodní roztok solí, kyselin a zásad). Na procesu se podílí elektrický proud, který vzniká přímo při korozním procesu nebo přichází do korozivního prostředí z vnějšího zdroje (bludné proudy).
- **biologická**
Biologickou korozi dochází k rozrušování materiálu živými organismy, bakteriemi, které podmiňují vznik chemických sloučenin zvyšujících agresivitu korozivního prostředí.

Druhy koroze podle korozního prostředí:

- **atmosférická**
Probíhá u většiny kovů v důsledku působení okolní atmosféry (záleží na vlhkosti, teplotě a složení). Vzniká při vlhkosti vzduchu vyšší než 60% a pokud má kov nižší teplotu než okolní prostředí - na povrchu kovu kondenzují vodní páry. Rychlost atmosférické koroze ovlivňuje i drsnost povrchu.

- **kapalinová**
Nejčastějším prostředím, ve kterém se projevuje, je voda. Koroze je viditelná u vodních strojů, strojů na výrobu páry, chladicích zařízení, armatur, potrubí atd., Agresivita vody je závislá na hodnotě pH (měkká, tvrdá). Účinky koroze se mohou snížit např. změkčováním vody, chemickou úpravou nebo odplyněním.
- **půdní**
Podstatou koroze jsou vody a kyslík obsažený v půdách.

Druhy koroze podle **vnějších činitelů**

- koroze při **mechanickém** namáhání
Při namáhání kovových součástí dochází ke změnám elektrického potenciálu a soustředění koroze v místech ostrých přechodů, vrubů apod. V těchto místech proniká koroze snáze do hloubky.
- korozní **únavy**
Dochází k ní zejména při cyklickém způsobu namáhání, snižuje se mez únavy materiálu.
- **vibrační** koroze
Vzniká při současném působení tření a vibrací v materiálu. Účinky lze snížit mazáním tuhými mazivy, jako je např. grafit.
- korozní **praskání kovů**
Projevuje se vznikem trhlin.
- koroze **bludnými proudy**
Nejčastějším zdrojem bludných proudů jsou elektrické dráhy. Projevuje se značným rozpouštěním kovu v místě, kde proud vystupuje.

8.2 Metody ochrany kovů proti korozi

Vhodně zvolený způsob ochrany proti korozi a jeho provedení omezuje rychlost napadání strojních součástí korozi. Rychlost koroze lze omezit následujícími způsoby:

- **volba materiálu**
Na základě znalostí prostředí, ve kterém bude součást pracovat, můžeme navrhnout vhodné materiály, např. ušlechtilé oceli, korozivzdorné oceli, plasty nebo plátované konstrukční oceli.
- **konstrukční a technologické úpravy**
Volíme vhodné kombinace materiálů a tvary součástí, snažíme se zabránit styku kovu s agresivním prostředím (bráníme vzniku usazenin).
- **úpravy korozního prostředí**
Snaha o snížení relativní vlhkosti prostředí, z kapalin odstraňujeme kyslík pomocí odplynovačů a do chladicích kapalin přidáváme inhibitory (látky zpomalující korozi – dusitan, fosfáty, chromany).

▪ **elektrochemická ochrana**

- anodická ochrana – kov se stává pasivním
- katodická ochrana – kov se stává odolným

Principy anodické a katodické ochrany jsou založeny na vytvoření umělých obvodů, do kterých přivádíme stejnosměrný proud z vnějšího zdroje nebo je vytvořen záměrně galvanickým článkem z přidaného (obětovaného – anoda z hořčíku, zinku atd.) a chráněného materiálu. Proudů vzniklé ve vytvořených obvodech působí proti proudům způsobujícím korozi.

- elektrické drenáže – používají se k odvádění bludných proudů ze součástí uložených v zemi, např. v blízkosti elektrifikovaných tratí

▪ **ochrana povlaky**

Tato metoda ochrany kovů je nejrozšířenější, spočívá ve vytvoření souvislého povlaku na povrchu materiálu. Ochranné povlaky (chemicky stálé kovové i nekovové látky) izolují kovový materiál od korozivního prostředí. Před nanášením povlaků se musí kovový povrch zbavit nečistot, mastnoty a musí se zlepšit jeho přilnavost, např. tryskáním, broušením, leštěním, odrezováním. Některé materiály (zinek, kadmium, hliník, cín) vytvoří na povrchu základního materiálu tenkou oxidační vrstvu zabraňující korozi.

Metody nanášení kovových povlaků:

- galvanické pokovování
- plátování (přiválcování, navařování)
- žárové stříkání – metalizování
- pokovování ve vakuu
- elektrochemické pokovování, atd.

Metody nanášení nekovových povlaků:

- smaltování
- fosfátování
- chromátování
- nátěrové hmoty
- povlaky z plastů, atd.

Shrnutí učiva



Koroze dochází ke znehodnocení materiálu. Je to **samovolné** a **postupné rozrušování kovových i nekovových materiálů** vyvolané současným působením chemických nebo fyzikálněchemických vlivů s účinky okolního prostředí (kapalné, plynné, pevné). Účinky koroze jsou posilovány mechanickým (vibrace) a tepelným namáháním.

Koroze vzniká nejčastěji u kovů na povrchu materiálu a postupuje směrem dovnitř až do úplného rozrušení materiálu. Některé neželezné materiály (měď, zinek) oxidují pouze na povrchu materiálu a vytvářejí na něm ochranný povlak chránící spodní vrstvy materiálu před další oxidací. U plastů způsobuje korozi ultrafialové a radioaktivní záření nebo působení vzduchu, mikroorganismů a agresivních plynů. Koroze se u plastů projevuje např. změnou barvy, bobtnáním, rozpouštěním, atd.

Korozi můžeme **zpomalit** následujícími kroky: volbou materiálu, provedením potřebných konstrukčních a technologických úprav, zvolením vhodného prostředí, elektrochemickou ochranou nebo použitím ochranných povlaků.

Otázky a úkoly



1. Definujte pojem koroze.
2. Jak se projevuje koroze?
3. Jaké materiály koroze znehodnocuje?
4. Vyjmenujte druhy koroze.
5. Jakými metodami se snažíme zabránit napadání materiálu korozí?

Test

1. Koroze:
 - a. zlepšuje mechanické vlastnosti materiálů
 - b. zhoršuje mechanické vlastnosti materiálů *
 - c. na materiály nijak nepůsobí
2. Materiál napadený korozí:
 - a. mění svůj tvar a rozměry *
 - b. nemění svůj tvar a rozměry
 - c. záleží na druhu koroze
3. Koroze napadá:
 - a. pouze kovy
 - b. pouze nekovy
 - c. kovy i nekovy *
4. Korozi můžeme zpomalit:
 - a. vhodnou úpravou *
 - b. nelze ji zpomalit
5. Ochranné povlaky proti korozi se provádí
 - a. kovovými látkami
 - b. nekovovými látkami
 - c. kovovými i nekovovými látkami *

9 VĚDOMOSTNÍ TEST

1. Modelové zařízení tvoří:
 - a. model, jádro a šablona
 - b. model a forma
 - c. model a písek
2. Písek použitý při ručním formování se:
 - a. použije se znovu upravený
 - b. vyhazuje
 - c. použijeme bez upravení
3. Vtoková soustava se používá pro:
 - a. vlévání roztaveného kovu do formy
 - b. k odvodu formy
 - c. pro oba uvedené příklady
4. Tvářením se mění:
 - a. soudržnost materiálu
 - b. tvar a vlastnosti materiálu
 - c. tvar a vlastnosti materiálu se nemění
5. Výrobek získaný kováním se nazývá:
 - a. odlitek
 - b. výkovek
 - c. výstřížek
6. Jak se nazývají hlavní nástroje používané při protlačování:
 - a. střížník a tažnice
 - b. střížník a střížnice
 - c. průtlačník a průtlačnice
7. Pro snížení vzniku deformací při tažení nádob používáme:
 - a. přídržovač
 - b. průvlak
 - c. tažník
8. Plasty se při zpracování používají ve formě:
 - a. granulí, prášku a tablet
 - b. trubek
 - c. desek a fólií
9. Plasty před zpracováním musíme převést ohřevem do:
 - a. plastického stavu
 - b. nemusíme je ohřívat
 - c. záleží na způsobu zpracování
10. Svařovat lze materiály:
 - a. kovové
 - b. nekovové
 - c. kovové i nekovové

11. Svařováním vyrábíme spojení:
 - a. nerozebíratelná
 - b. rozebíratelná
 - c. materiály se svařováním nespojí
12. Výrobek získaný svařováním se nazývá:
 - a. svařenec
 - b. odlitek
 - c. výstřižek
13. Struska u tavného svařování:
 - a. podporuje oxidaci kovu
 - b. zabraňuje oxidaci kovu
 - c. nevytváří se
14. Pájené plochy před samotným pájením:
 - a. musí být upraveny
 - b. nemusí být upraveny
 - c. nezáleží na tom
15. Pájet můžeme materiály:
 - a. pouze se stejným chemickým složením
 - b. pouze s různým složením
 - c. se stejným i různým chemickým složením
16. Řezání plamenem se používá ke:
 - a. spojování materiálů
 - b. oddělování materiálů
17. U které metody žárového dělení (řezání) nemusíme používat přídavky na obrábění?
 - a. plamenem
 - b. plazmou
 - c. elektrickým obloukem
18. Koroze:
 - a. zlepšuje mechanické vlastnosti materiálů
 - b. zhoršuje mechanické vlastnosti materiálů
 - c. na materiály nijak nepůsobí
19. Materiál napadený korozí:
 - a. mění svůj tvar a rozměry
 - b. nemění svůj tvar a rozměry
 - c. záleží na druhu koroze
20. Koroze napadá:
 - a. pouze kovy
 - b. pouze nekovy
 - c. kovy i nekovy

Správné řešení vědomostního testu:

1a, 2a, 3c, 4b, 5b, 6c, 7a, 8a, 9c, 10c, 11a, 12a, 13b, 14a, 15c, 16b, 17b, 18b, 19a, 20c

Hodnocení vědomostního testu:

Za každou **správnou** odpověď si započtete **1** bod, za **chybnou** odpověď **0** bodů.

Součtem získaných bodů získáte své hodnocení:

počet bodů	hodnocení
0 – 4	5
5 – 8	4
9 – 12	3
13 – 16	2
17 - 20	1

10 REJSTŘÍK

A

adheze, 75

B

barviva, 9
bodové svařování, 67
buchary, 36

C, Ā

čistý odlitek, 5

D

dělené modely, 7
dělicí prášek, 9
difuze, 75
difuzní svařování, 69
drážkové řezání kyslíkem, 83
druhy koroze, 86

E

elektrostruskové svařování, 61

F

formovací materiály, 8
formovací nářadí, 11
formovací rámy, 10
formovací stroje na jádra, 17
formování do dvou rámu, 13
formování lisovacími stroji, 14
formování metacími stroji, 16
formování střešacími stroji, 16
foukání, 54

G

gravitační lití, 18

H

hrubý odlitek, 5

I

impulzní odporové svařování, 68
indukční svařování, 68

J

jaderníky, 8
jádrový písek, 9

K

koroze, 86

L

lisování, 52
lisy, 36
lití do skořepinových forem, 20
lití metodou vytavitelných modelů, 21
lití pod tlakem, 18

M

model, 7
modelové zařízení, 7
modelový písek, 9

N

nálitky, 12
navarování, 72
nedělené modely, 7
netrvalé slévárenské formy, 10
neutrální osa, 47
nůžky, 42

O

odlévání kovů do forem, 22
odlévání plastů, 56
odlitek, 5
odpružení, 47
odstředivé lití, 19
odvzdušnění (odplynění) forem, 12
ohýbadla, 47
ohýbání, 47
ochranné plyny, 62
ochrany kovů proti korozi, 88
ostřiva, 8

P

pájení, 76
pájky, 75
plamenové řezání kyslíkem na vzduchu, 79
plamenové řezání kyslíkem pod vodou, 80
pojivo, 9
polotrvalé formy, 17
postupové zápustky, 38
protlaček, 39
protlačování, 39
průvlaky, 45
předkování, 38
přesné kování, 38
přetlačování, 53
přidržovače, 44

R, Ř

rovnání, 49
rovnání plamenem, 83
ruční formování, 12
ruční kování, 35
řezání elektrickým obloukem na vzduchu, 80
řezání elektrickým obloukem pod vodou, 80
řezání laserem, 81
řezání plazmou, 82
řezání vodním paprskem, 82

S, Š

sklopné lití, 20
slévačský prášek, 9
slévání, 5
smáčivost, 75
spálení oceli, 28
strojní formování, 14
strojní kování, 36
stříhadla, 42
stříhání, 41
stykové odporové svařování, 66
surové odlitky, 5
sušení forem a jader, 17
svařenec, 58
svařitelnost, 58
svařování, 58
svařování elektrickým obloukem, 60
svařování elektrickým odporem, 65
svařování elektrodami, 60
svařování elektronovým paprskem, 64
svařování laserem, 64
svařování metodou MIG a MAG, 62
svařování metodou WIG, 63
svařování plamenem, 59
svařování plastů, 71
svařování plazmou, 65
svařování tlakem za studena, 69
svařování třením, 68
svařování ultrazvukem, 70
svařování výbuchem, 70
šablony, 7
švové svařování, 67

T

tavidla, 61
tažení, 43
tažidlo, 44
tažné stolice, 45
textura, 27
trvalé formy, 17
tvárnost, 26
tvarování plastů, 55
tváření, 26
tváření za studena, 27
tváření za tepla, 27

U, Ů

úprava formovacích materiálů, 9

V

válcovací stolice, 31
válcování, 31
válcování drátů, 33
válcování plastů, 55
válcování plechů, 32
válcování profilů, 33
válcování trubek, 33
vláknitá struktura, 27
volné kování, 37
vstřikování, 53
vtoková soustava, 11
výkovek, 35
výlisek, 47
výplňový písek, 9
výstřižky, 41
výtažky, 43
vytlačování, 54
vytloukání, čištění a úprava odlitků, 23
vývalky, 31
vzlínavost, 75

Z

zápustkové kování, 37
zatékavost, 75
známky, 7
zpracování plastů, 52

11 POUŽITÁ LITERATURA

- [1] Hluchý, M. – Kolouch, J. – Paňák, R.: Strojírenská technologie 2 – Polotovary a jejich technologičnost – 1 díl. Praha, Scientia 2001. ISBN 80-7183-244-8
- [2] Bothe, O.: Strojírenská technologie II pro strojírenské učební obory. Praha, SNTL 1982
- [3] Hrdličková, D.: Strojírenská technologie III pro strojírenské učební obory. Praha, SNTL 1982
- [4] Lenfeld, P.: Technologie II.. Liberec, (studijní materiály)
- [5] <http://www.strojarskatechnologia.info>
- [6] <http://www.svarak.cz>
- [7] <http://www.mmspektrum.com>



Učební text vznikl v rámci projektu „Obnova a modernizace technických oborů v Olomouckém kraji“, registrační číslo CZ.1.07/1.1.04/02.0071, operační program Vzdělávání pro konkurenceschopnost, oblast podpory Zvyšování kvality ve vzdělávání, termín realizace 1. 3. 2010 – 30. 11. 2011. Projekt byl spolufinancován Evropským sociálním fondem a státním rozpočtem ČR.

Autor učebního textu: Ing. Klára Valouchová

Partneři projektu:

- Střední škola polytechnická, Olomouc, Rooseveltova 79
- Střední odborná škola Jeseník a Střední odborné učiliště strojírenské a stavební, Dukelská, 1240/27, Jeseník
- Střední odborná škola a Střední odborné učiliště Uničov, Moravské nám. 681
- Střední odborná škola průmyslová a Střední odborné učiliště strojírenské, Prostějov, Lidická 4
- Střední odborná škola technická, Přerov, Kouřilkova 8
- Střední odborná škola a Střední odborné učiliště, Šumperk, G. Krátkého 30
- Střední odborná škola průmyslová, Hranice, Studentská 1384
- Střední odborné učiliště stavební Prostějov, Fanderlíkova 25
- Střední odborná škola železniční, stavební a památkové péče a Střední odborné učiliště, Šumperk, Bulharská 372/8
- Úřad práce Olomouc
- Magistrát města Olomouce, školský odbor