

## 4. STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

Obor strojírenských technologií obsahuje širokou škálu různých výrobních procesů a postupů. Spolu se strojírenskými materiály a konstrukcí strojů a zařízení patří mezi základní pilíře strojírenství.

### 4.1 Slévárenství

Slévárenství je jedna z netřískových technologií, výrobní odvětví, kde se zhotovují výrobky – odlitky litím roztaveného kovu, resp. slitiny kovů do dutiny slévárenské formy. Po vyplnění slévárenské formy kovem a po jeho ztuhnutí získáváme odlitek. Ze širšího metalurgického pohledu rozlišujeme slévárenství hutní a strojní.

**Hutní slévárenství** ( odlévání ) se provádí v tzv. ocelárnách (odlévá se ocel ). Hutní odlévání je základem výroby hutních polotovarů (Ostrava, Kladno ). To spočívá v odlévání taveniny požadovaných ocelí do tvarově jednoduchých kovových forem tzv. **kokil** , jejichž dutina má tvar např. negativu komolého jehlanu nebo kužele. Získané odlitky se nazývají **ingoty** a mají tvar např. komolého jehlanu, popř. komolého kužele s nepatrnou kuželovitostí, o délce 2 až 3 m o hmotnosti až 300 t ( podle velikosti ). Podle následného tvářecího procesu jsou ingoty buď pro válcovny nebo kovárny.

Z ocelárny odchází horké ingoty v kokilách do stripovací haly, kde jsou kokily stahovány z ingotů speciálními jeřáby. Ingoty se pak dopravují do haly hlubinných pecí a přehřívají se na teploty 1200° C. Ingoty se za tepla válcují na několik průvalů. K válcování se používají válcovací tratě, jejichž součástí jsou válcovací stolice. Zde ingot prochází mezi rotujícími válci čímž dochází k jeho tvarování. Válcování se zpracovává 85 až 90 % vyráběné oceli. Podle typu stolice získáváme tvářené profily ( vývalky ) různých profilů., jejich velikosti jsou normalizovány.

**Strojní slévárenství**, které je pro naše strojírenství důležité, představuje výrobu velmi členité a tvarově složité odlitků, které se vyznačují rádiusy a úkoly, mají široké uplatnění nejen v automobilovém průmyslu ( výroba bloků a hlav motorů, brzdových kotoučů a bubnů, částí výfukového a sacího potrubí atd.), výroba litých radiátorových těles ústředního topení, stojanů obráběcích a textilních strojů.

Odléváním se též zhotovují mlýnky na maso, mák, ale také některé druhy šperků, a zvony – tj. odlévání uměleckých předmětů.

Největší uplatnění slévárenské technologie lze však spatřovat při výrobě nejrůznějších strojních součástí.

Výroba odlitků je poměrně energeticky náročná týmová práce na které se podílí řada pracovníků odlišných profesí (technolog, metalurg, formíř, slévač, chemik atd.), z nichž každý provádí svou profesi nebo zodpovídá za daný úsek výroby. Cílem jejich společné snahy je ekonomická výroba odlitků požadovaných tvarů, rozměrů, struktury a vlastností. Slévárenská výroba probíhá nejčastěji v samostatných výrobních závodech, nebo popř. ve speciálních provozech – **slévárnách**. Podle typu příslušné slévárenské technologie rozlišujeme např. slévárny šedé, tvárné litiny, slévárny tlakového, kokilového lití atd.

Výroba odlitků představuje složitý a organizačně náročný výrobní cyklus, kde je nutné časové sladění jednotlivých operací. Tak např. před samotnou výrobou odlitků musí být připraveny: formovací rámy, modely nebo modelové desky,

formovací směs, formovací zařízení, a musí být v předstihu vyrobená jádra a celá výroba musí být zabezpečena dalším potřebným zařízením a vybavením včetně tavicích pecí, vsázkových materiálů, pánví, dopravníků a mostových jeřábů. Dále je potřebná kontrolní laboratoř, včetně rychlých analyzačních metod odlitků. Současné slévárny se neobejdou bez certifikačních osvědčení, tak aby splňovaly výrobu odlitků, které svou kvalitou odpovídají mezinárodním normám ISO 9000, 9001 atd. Tyto slévárny jsou vyhledávány a mají záruku výroby kvalitních odlitků.

#### 4.1.1 Rozdělení slévárenských forem

Slévárenská forma – je předmět vyrobený ze žáruvzdorného materiálu, jehož dutina odpovídá svým tvarem negativu budoucího odlitku. Slévárenské formy dělíme z různých hledisek, např. podle trvanlivosti se dělí na formy:

- **trvalé** – formy kovové, které nazýváme kokily, vyrábí se z oceli tř. 17, 19 nebo z litiny s lupínkovým grafitem. V těchto formách lze provést až tisíce násobný počet odlití, ten závisí na složitosti dutiny formy a na typu odlévané slitiny. Do kovových forem může být tavenina odlévána gravitačním způsobem (využíváme vlastní tíhu taveniny), ale to se využívá málo. Především se kokily plní tlakově, buď vysokotlakým nebo nízkotlakým způsobem. Pro oba způsoby musí být příslušné zařízení, resp. tlakový stroj. U vysokotlakého způsobu se tavenina do dutiny slévárenské formy dopravuje na základě tlaku pístu pracovního stroje. U nízkotlakého způsobu tlakem vzduchu působíme na hladinu taveniny v udržovací peci, která je pod úrovní podlahy slévárny. Pomocí vtokové trubice dopravujeme taveninu do formy, která je upevněna nad udržovací pecí k tlakovému stroji.

- **polotrvalé** – keramické, které jsou vyrobené ze speciálních keramických materiálů obléváním modelu v rámu. Tyto formy slouží pro více odlití.

- **netrvalé** – pískové, jsou to formy velmi často používané k odlévání litiny, slitin hliníku, oceli na odlitky atd. Jsou pouze na jedno použití. Pískové formy mohou být před odléváním:

- syrové (nevysušené);
- přisušené (jsou vysušené pouze u pracovního povrchu – tzv. líce formy);
- vysušené.

Výroba kovových forem je založena na specializované výrobě, dnes pomocí moderních číslicově řízených obráběcích strojů, které umožňují přesnou výrobu složitých dutin kovových forem. Tímto způsobem jsou např. vyrobeny formy pro tlakové lití bloků spalovacích motorů nebo formy pro odlévání hlav motorů osobních automobilů AUTO Škoda Mladá Boleslav.

Výroba pískových forem se provádí přímo ve slévárnách a je součástí celé slévárenské výroby. Podkladem pro výrobu odlitků v pískových formách je strojírenský výkres (kótovaný výkres) součástky, součástky, která se má vyrobit. V současné době se ke kreslení používají PC vybavené nejrůznějšími konstrukčními programy, proto dosti často jsou do slévárny předávány jen CD. Tvar součástky je někdy třeba po konzultaci s konstruktérem upravit tak, aby se usnadnila výroba forem a snížilo nebezpečí vzniku vad odlitků (trhlin, povrchových a vnitřních defektů). Dále se musí zvětšit některé rozměry na výkresu součástky o tzv. slévárenské technologické přírůstky a přírůstky pro obrábění. Současně se zakreslí dle potřeby případné nálitky, jádra a známky. Podle tohoto výkresu se nakreslí výkresy

modelového zařízení. Podle těchto výkresů se dle potřeby v modelárně vyrobí příslušné modely, modelové desky a jaderníky.

K modelovému zařízení patří modely, šablony a jaderníky, modelové desky, dále všechny potřebné pomůcky, vyrobené v modelárně, které slouží k výrobě formy. Je třeba rozlišovat modelovou desku pro ruční a strojní formování. Modelová deska pro ruční formování bývá nejčastěji rovná dřevěná podložka na kterou se v rámu usazuje model. Modelová deska pro strojní formování je jednocelová pomůcka. Tvoří jí deska na kterou je připevněn model odlitku, model vtokové soustavy, model výfuků atd.

Model - je základní pracovní pomůckou, která slouží k výrobě dutiny formy. Jeho tvar odpovídá budoucímu odlitku. Součástí modelu jsou i známky, které po zaformování modelu vytváří plochy ve formě sloužící k uložení jádra. Modely jsou často dělené, jen zřídka nedělené. Modely se vyrábí ze dřeva, dnes již to jsou dřeva umělá, která nepodléhají roztažnosti a nabobtnávání. Rozměr modelu je proti odlitku větší o tzv. míru smrštění. Hodnota smrštění závisí na použitém odlévaném materiálu. Model musí obsahovat potřebné úkosy, které usnadňují vyjímání modelu z upéchané formy, plochy kolmé na dělicí rovinu mají úkos 1:50 až 1: 100.

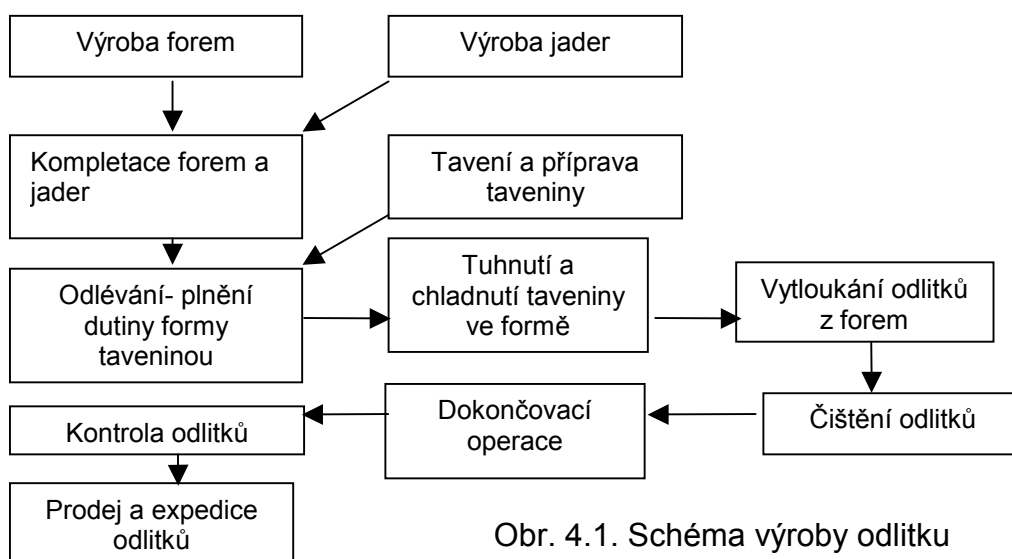
Modely jsou opatřeny barevným nátěrem. Nátěr chrání model proti navlhání. Podle barvy modelu lze usuzovat jaký typ slitiny se bude odlévat:

- červená – litina s lupínkovým grafitem;
- bledě modrá – slitiny hliníku;
- šedá – slitiny hořčíku atd.

Zvláštní skupinu modelů tvoří modely netrválé ( voskové - vytavitelné nebo z napěněného speciálního polystyrenu - spalitelné ), které se musí vyrobit pro každou formu. Výroba forem pomocí vytavitelných nebo spalitelných modelů patří do skupiny speciálních metod výroby forem.

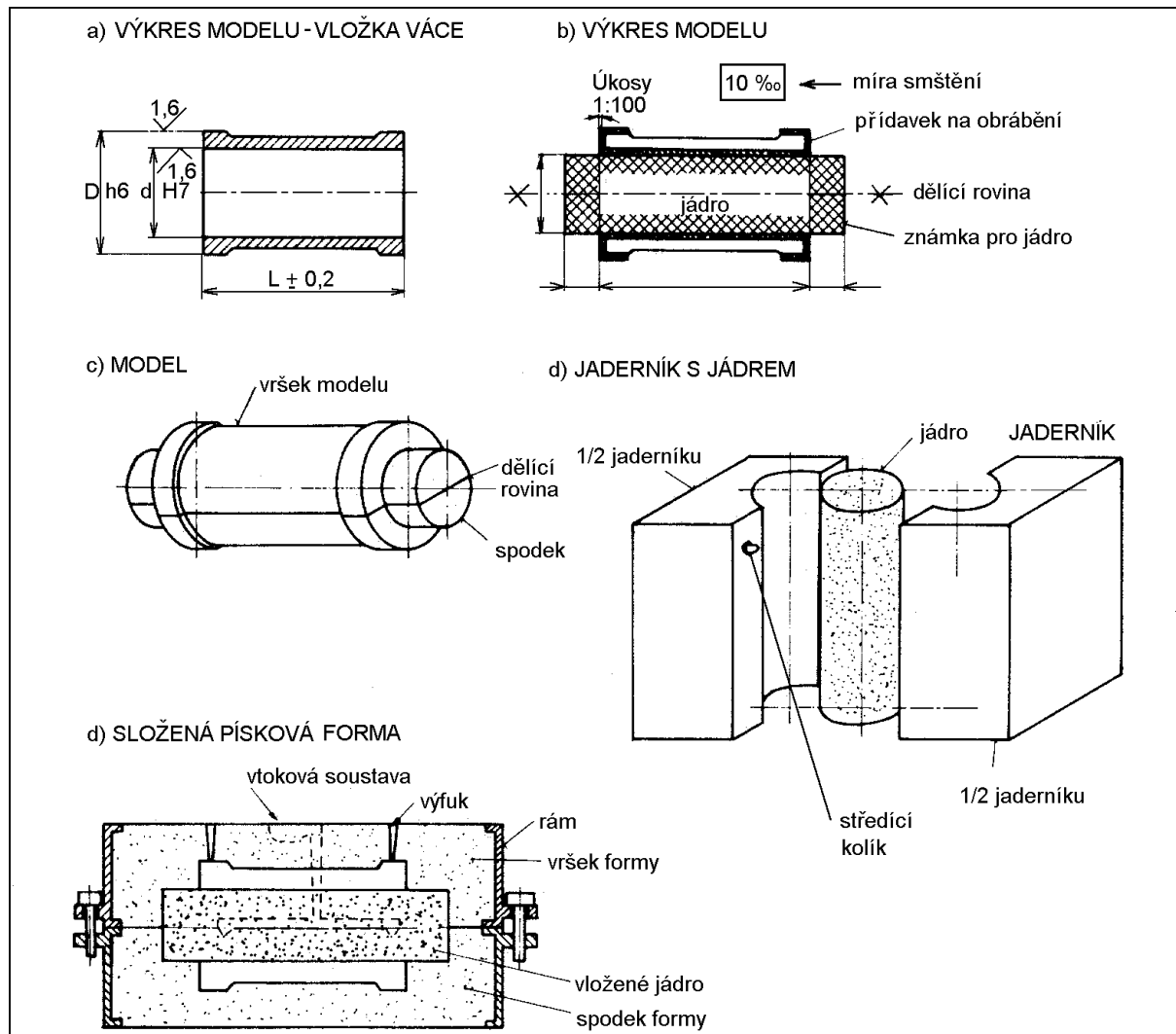
#### 4.1.2 Základní schéma slévárenské výroby do pískových forem

Základní schéma slévárenské výroby odlitků v netrválých formách tvoří jednotlivá oddělení, jejichž činnost je vhodně technicky propojena. Schéma výroby odlitků je na obr. 4.1.



Obr. 4.1. Schéma výroby odlitku

Na obr. 4.2. jsou uvedena schémata: a) výkresu odlitku ( vložka válce ); b) výkresu modelu; c) modelu ( je součástí modelového zařízení ); d) jaderníku s jádrem ( je součástí modelového zařízení ); e) složené pískové formy.



Obr. 4.2. Schéma odlitku, modelového zařízení a pískové formy

**Výroba forem a jader:** Výroba forem se provádí v tzv. formovnách a výroba jader v jadernách. Oba provozy jsou dnes do jisté míry mechanizované výrobní jednotky (provozy). V úpravně formovacího materiálu se připravuje příslušná formovací směs (zde se smíchávají její příslušné složky – ostřivo, pojivo, příměsi a voda v určitém poměru). Tato směs se dopravuje do formovny. Zde se směsí plní formovací rámy s modelem nebo rámy s formovací deskou a následným upěchováním (strojním výjimečně ručním způsobem) se vyrábí dutiny slévarenských forem. Jádra se vyrábí příslušnou technologií v jadernách, pomocí tzv. jaderníků (formy pro výrobu jader). Tato jádra se dovážejí do formovny. Po vyjmutí modelu z formy a vložení jádra (nebo jader) zůstává ve formě dutina, jejíž tvar a rozměry odpovídají budoucímu odlitku. Při formování je ještě nutno ve formě vyrobít **vtokovou soustavu** (tj. soustava kanálů sloužící k dopravě taveniny do dutiny formy) a **výfuky**, které odvádějí unikající plyny z formy. Někdy je nutné ještě ve formě vytvořit dutinu (dutiny) pro náletek, který funguje jako zásobárna taveniny ze které si tuhnoucí a smršťující odlitek doplňuje chybějící kov. Je-li dutina formy tvarově velmi složitá, pak se nevyrábí formováním modelu, ale skládáním nepravých jader do rámu.

**Tavení a příprava taveniny:** Tekutý kov, resp. tavenina o předepsaném chemickém složení se připravuje v provozu, který se označuje tavírnou. Taví se v pecích různého typu. Při odlévání tzv. litiny se tavenina připravuje v kuplovně. Jsou provozy, kdy se tavenina litiny připravuje v elektrických indukčních pecích (např. AUTO ŠKODA). Dále se používají pece elektrické odporové nebo obloukové.

Tavenina je pokryta struskou (je tvořena silikáty) a před odléváním se struska stahuje, aby se nedostala do dutiny formy. Tavenina se z pece přelévá do grafitových kelímků nebo pánví. I zde se ještě tavenina metalurgicky ošetřuje a podle potřeby se očkuje nebo modifikuje, to závisí na typu odlévaného kovu. Pak se měří teplota taveniny.

**Odlévání, tuhnutí a chladnutí odlitků a vytloukání odlitků z forem:** Odlévání taveniny do netrvalých forem se provádí na tzv. licím poli (místo, kde jsou připraveny formy k odlití), zde se odlévá tavenina z optimální teploty do licí jamky nebo nálevky slévárenské formy. Licí jamka nebo nálevka je součástí vtokové soustavy. Na licím poli dochází k tuhnutí a k chladnutí taveniny ve formě. Ve správném časovém okamžiku po odlití je nutno formu rozbít a vyjmout odlitek. Na vytloukání z forem jsou citlivé odlitky z litiny s lupínkovým grafitem (LLG), neboť je možnost vzniku prasklin. O okamžiku vytloukání odlitku rozhoduje výše jeho teploty.

Vytloukání odlitků z forem se provádí na vytloukacích roštech, zde pracovníci kladivem uráží i vtokovou soustavu a nálitky u odlitků z LLG. Pod vytloukacím roštěm prochází pásový dopravník, který odvádí použitou formovací a jádrovou směs. Vyjmutý odlitek z formy se nazývá surový, obsahuje vtokovou soustavu, výfuky, otřepy, popř. nálitky.

**Čištění odlitků:** Čištění odlitků se provádí v čistírnách, zde se odstraňují nálitky, výfuky případné (někdy i vtoky), švy – tj. kov, který vnikl mezi obě poloviny formy do dělicí roviny. Tyto kovové podíly se vrací do tavírny k roztavení jako tzv. vratný materiál.

Je-li odlitek zbaven vtokové soustavy, výfuků a nálitků, popř. otřepů nazývá se hrubý.

K odstranění formovací směsi a jader z odlitků se často používají otryskávací boxy. Ve kterých se na odlitky tryskají malinké ocelové kulaté broky, které čistí povrch odlitků od zbytků formovací směsi a jader.

**Dokončovací operace:** Mezi dokončovací operace patří např. hrubování některých částí odlitku, nebo jiná třísková operace. To je v případě, kdy obrobna je součástí slévárny. Je-li opracována některá funkční část odlitku, pak tento odlitek se označuje čistý a po případném ošetření základním nátěrem (dle sjednaného přijímacího protokolu) a po následné výstupní kontrole je odlitek určen k expedici.

Očištěné odlitky se podrobují kontrole rozměrů a jakosti. Sledujeme především rozměrovou toleranci, výskyt povrchových vad a trhlin. U některých odlitků, na jejichž funkčnosti závisí lidský život jsou 100 % kontrolovány - prozařovány rentgenem nebo kontrolovány ultrazvukem. Charakter dokončovacích operací závisí na možnostech slévárny. Upravený očištěný a zkontrolovaný odlitek opatřený proti korozním nátěrem bývá konečným výrobkem slévárny. Je určen k prodeji, resp. k expedici.

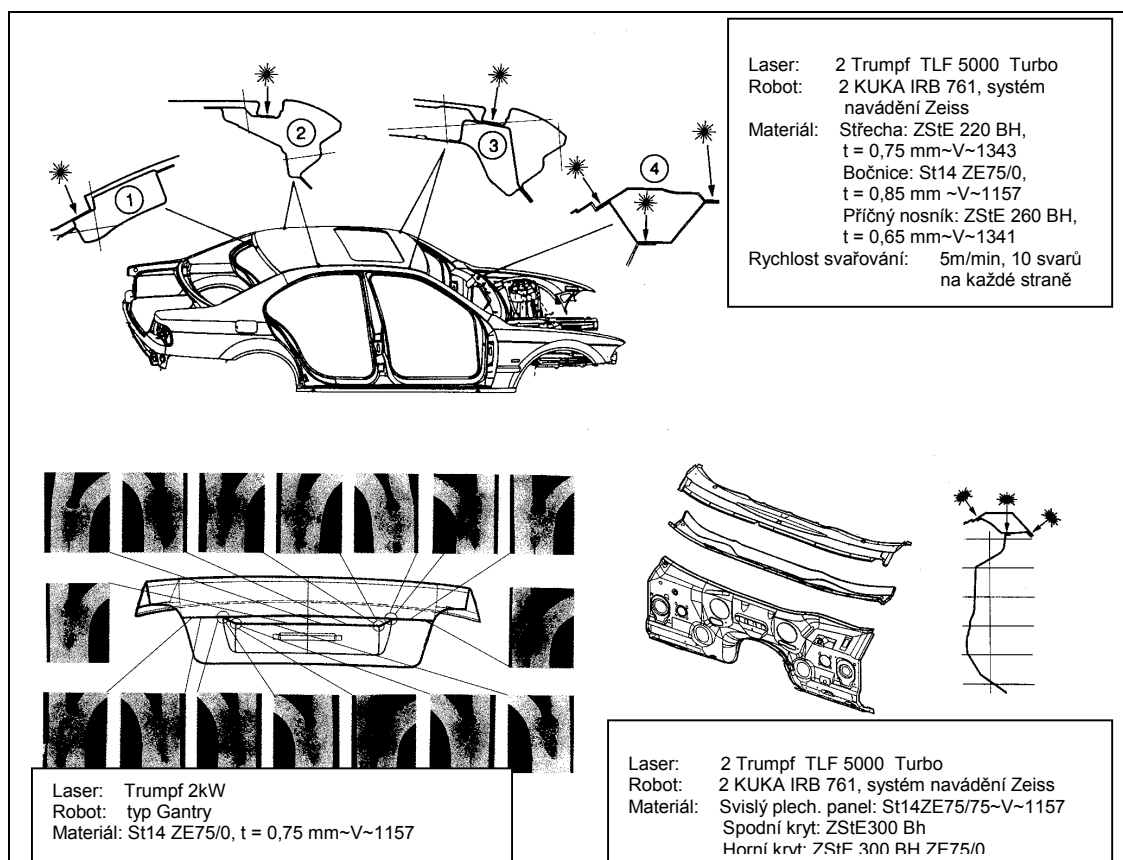
## 4.2 Svařování

### 4.2.1 Základní pojmy

Svařování patří mezi nejdůležitější a nejčastěji používané technologie spojování kovových i některých nekovových materiálů. **Svařování** je definováno jako proces vytváření nerozebíratelných spojů (svarové spoje) prostřednictvím meziatomových vazeb mezi spojovanými díly při jejich ohřevu nebo plastické deformaci, nebo při společném působení obou faktorů. V průběhu svařovacího procesu působíme na svařovaný materiál, tzv. základní materiál, teplotním nebo deformačním účinkem. Ve všech případech však v materiálu vnějším působením vznikají teplotní i deformační procesy, které mají rozhodující vliv na změny struktury a vlastností základního materiálu. Každý svařovací proces představuje teplotní a deformační působení na základní materiál (tzv. teplotní a deformační cyklus).

**Svar** je částí svarového spoje, který se vytváří v důsledku krystalizace lokálně roztaveného kovu nebo plastické deformace, nebo kombinací krystalizace a deformace. Svařováním navzájem připojené části tvoří **svarek** a z jednotlivých svarků se svařováním tvoří **svařované konstrukce**.

Svařované konstrukce se skládají z jednotlivých detailů vyrobených z různých hutních polotovarů (plechy, tyče, trubky, profily), ale mohou se používat i výkovky, odlitky, výlisky. Svařovaná konstrukce tak může být sestavena z dílů, které z hlediska tvaru, velikosti a požadovaných vlastností mohou být vyrobeny optimální technologií. Na obr. 4.3. je příklad svařované karosérie osobního automobilu s vyznačením jednotlivých svarů a některými dílčími svarky a makrostrukturami svarů.



Obr. 4.3.: Svařovaná karosérie osobního automobilu a údaje o použitém zařízení

## 4.2.2 Metody svařování

Metody svařování nejčastěji rozdělujeme podle podmínek vzniku svaru na dvě skupiny. Při **tavném svařování** vytváříme svar lokálním ztavením spojovaných částí bez působení tlaku. Svařování, při kterém je tlak nezbytný, se označuje jako **svařování s použitím tlaku**.

K metodám tavného svařování patří především:

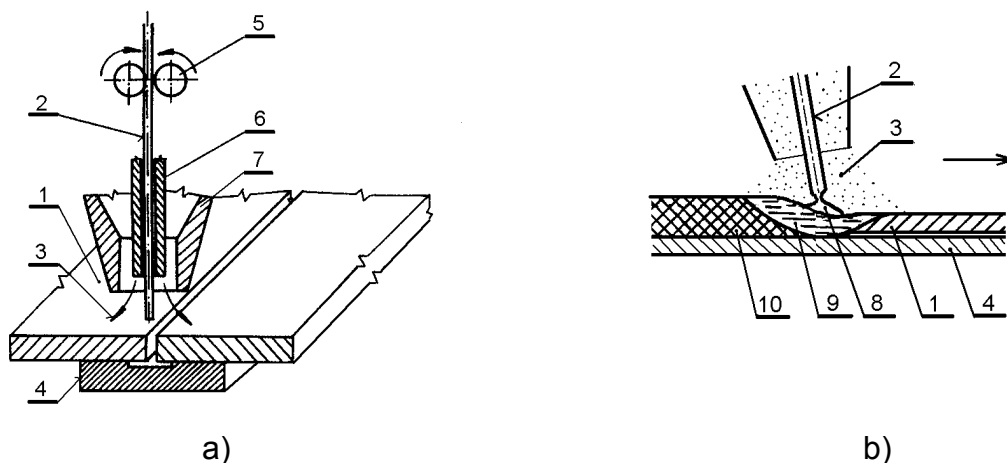
- metody svařování elektrickým obloukem (svařování v ochranných atmosférách, obalenou elektrodou, pod tavidlem atd.),
- svařování plamenové,
- svařování elektronové,
- svařování elektrostruskové,
- svařování laserové,
- svařování plazmové,
- svařování aluminotermické a další.

K metodám svařování s použitím tlaku patří především:

- svařování tlakem za studena,
- svařování elektrickým odporem (bodové, švové, výstupkové, stykové),
- tlakové svařování (při teplotách pod teplotou tavení),
- svařování třecí,
- svařování difúzní,
- svařování ultrazvukové,
- svařování výbuchové a další.

Rozsah publikace neumožňuje popis jednotlivých metod svařování a proto budou charakterizovány pouze některé tak, aby byly vysvětleny různé principy vytváření spojů.

Na obr. 4.4.a) je principiální schéma dnes nejpoužívanější metody obloukového svařování. Jde o metodu svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou.

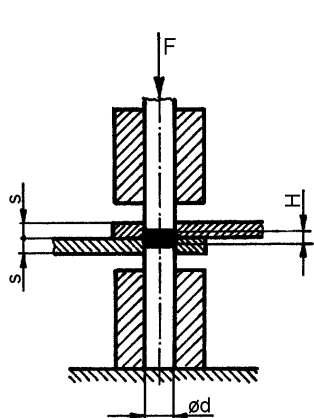


Obr. 4.4.: Schéma metody obloukového svařování v ochranné atmosféře:

- 1 – základní materiál, 2 – přídavný materiál, 3 – ochranná atmosféra, 4 – podložka formující kořen svaru, 5 – podávací zařízení přídavného materiálu, 6 – přívod elektrického proudu, 7 – hubice, 8 – kapka přecházející zkratovým procesem do svarové lázně, 9 – svarová lázeň, 10 – svarová housenka

Podle typu použité ochranné atmosféry se může jednat o metodu MIG (požívá se inertní plyn, např. Ar, He, Ar + He) nebo MAG (používá se aktivní ochranná atmosféra např. Ar+CO<sub>2</sub>, Ar+O<sub>2</sub>). Koncentrovaný zdroj tepla, tj. v tomto případě elektrický oblouk, natavuje svarové plochy a současně taví také elektrodu – přídatný materiál ve formě drátu nebo trubičkového drátu. Roztavený svarový kov z tavící se elektrody se smíchá s roztaveným základním materiálem ve svarové lázni (oblast nataveného materiálu). S postupem zdroje tepla ve směru svařování dochází ke krystalizaci a vytváří se svarová housenka – vzniká pevné spojení obou svařovaných částí. Detailní pohled do oblasti tvořícího se svaru je na obr. 4.4.b).

Na obr. 4.5. je schéma bodového svařování tlakem za studena při použití jednoduchých lisovníků. Svařované části jsou přeplátované a pro vytvoření pevného spoje je nutno lisovnický zatlačit do značné hloubky. Velikost deformace se určuje ze vztahu (4.1).



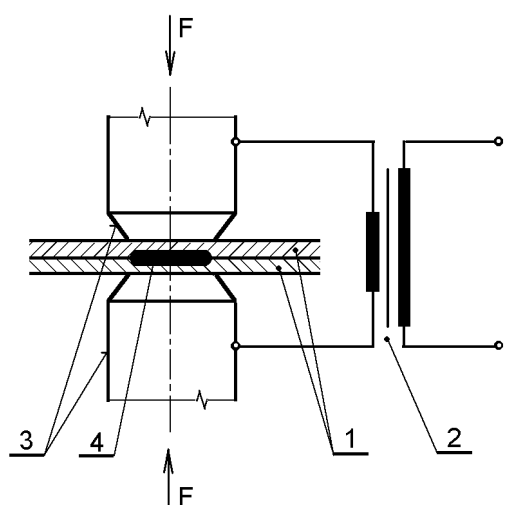
$$D = \frac{2s - H}{2s} \cdot 100 (\%) \quad (4.1)$$

Tab. 4.1.

Kov	Deformace D (%)
Hliník	60
Hliník technicky čistý	70
Kadmium	84
Olovo	84
Měď	86
Nikl	89
Zinek	92
Stříbro	94

Obr. 4.5.: Bodové svařování tlakem za studena

Plastické deformace vyvolané větší silou jsou pro vytváření spoje rozhodující. Dojde k rozrušení povrchových vrstev a atomy obou svařovaných dílů jsou v průběhu svařovacího procesu přiblíženy až na meziatomární vzdálenost. V tabulce 4.1. jsou uvedeny hodnoty nejmenších nutných deformací pro vytvoření svarů pro některé kovy.



Na obr. 4.6. je schéma bodového odporového svařování. Svařované díly (plechy) jsou sevřeny mezi elektrodami a po dosažení potřebné síly začne jimi procházet elektrický proud. Ve styku plechů v důsledku přechodových odporů dojde k vývinu tepla, které má za následek místní roztavení základního materiálu, vytvoří se tzv. svarová čočka. Svar vzniká krystalizací natavené oblasti odvodem tepla do okolního základního materiálu. Síla musí působit ještě po skončení průchodu proudu a probíhá kování svaru. Pro vytvoření svaru jsou rozhodující ohřev i vnější tlaková síla. Základní svařovací parametry jsou tedy síla, svařovací proud a čas.

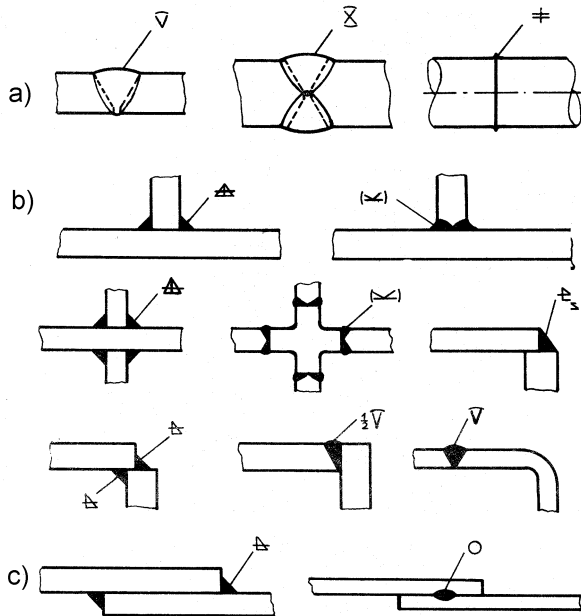
Obr. 4.6.: Bodové odporové svařování



### 4.2.3 Druhy svarových spojů

Jednotlivé detaily svařovaných konstrukcí se spojují různými typy svarových spojů. Podle konstrukčního řešení jsou v podstatě tři základní druhy svarových spojů:

- tupé (obr. 4.7.a)
- spoje tvaru T, křížové, rohové (obr. 4.7.b)
- přeplátované (obr. 4.7.c)



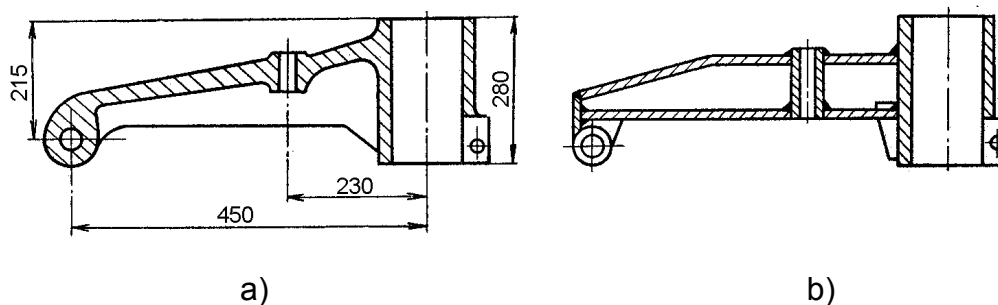
Tupé svarové spoje plechů jsou typické pro metody tavného svařování. Svary tyčových polotovarů jsou typické i pro metody svařování s použitím tlaku (odporové stykové svařování, třecí svařování i stykové svařování tlakem za studena). Spoje tvaru T, křížové a rohové jsou typické pro metody tavného svařování. Přeplátované spoje se využívají u tavných metod svařování, ale především u odporových metod svařování (bodové, švové, výstupkové).

Obr. 4.7.: Základní druhy svarových spojů

### 4.2.4 Technologičnost konstrukce

Konstruktor při návrhu svařované konstrukce musí určit jakou metodu svařování použít a rozhodnout o řešení jednotlivých spojů a jejich umístění. Při výběru nejvhodnější metody svařování pro konkrétní aplikaci musí konstruktor vzít v úvahu technologické, kvalitativní i ekonomické faktory. Pro jeho rozhodování je např. důležitá tloušťka materiálu, délka svarů, poloha při svařování, požadavky na jakost svarových spojů a provozní spolehlivost (zásadně je třeba rozlišovat konstrukce staticky a dynamicky namáhané) i celkový rozsah svářečských prací.

To, že se jedná o svařovanou konstrukci musí být respektováno již z počátku návrhu. To obecně platí i pro jiné výrobní technologie. Pro ilustraci je na obr. 4.8. příklad dílu navrženého jako odlitek nebo svarek.



Obr. 4.8.: Rozdíly v konstrukci při návrhu dílu a) odlitek, b) svarek

K dosažení efektivnosti při výrobě svařovaných konstrukcí se musí dodržet zásady technologičnosti konstrukce. Jde o řadu požadavků, které v souhrnu umožňují ekonomické zhotovení konstrukce s požadovanou funkční spolehlivostí a životností. Za základní lze v tomto směru pokládat vhodnou volbu základního materiálu (svařitelnost), výběr technologie svařování a hlediska pevnosti, tuhosti a rozměrové stability.

#### 4.2.5 Svařitelnost

Svařitelnost je komplexní charakteristika vyjadřující vhodnost kovu na zhotovení svaru s požadovaným účelem, při určitých technologických možnostech svařování a konstrukční spolehlivosti svarového spoje.

Svařitelnost není pouze otázka materiálu, ale také technologie a konstrukce. Vzájemnou provázanost jednotlivých faktorů je vidět na schématickém obr. 4.9.

Vhodnost kovu na svařování je určena chemickým složením, metalurgickým způsobem výroby, způsobem odlévání, tváření a tepelným zpracováním.

Základní charakteristikou vhodnosti na svařování u nelegovaných, nízkolegovaných a střednělegovaných ocelí obloukovými metodami svařování je tzv. uhlíkový ekvivalent podle vztahu (4.2). Se zvyšující se hodnotou obsahu uhlíku a  $C_e$  se svařitelnost oceli zhoršuje. Vhodnost oceli na svařování je také vázána na tepelný příkon při svařování a případný předehřev.



Obr. 4.9.: Svařitelnost konstrukčního dílu

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \quad (4.2)$$

Pro vysokolegované oceli není žádný obdobný vztah pro hodnocení vhodnosti ke svařování k dispozici.

Technologická možnost svařování je určována metodou svařování, přídavným materiálem, tepelným příkonem, postupem kladení vrstev svaru, tepelným režimem svařování, a tepelným zpracováním svarového spoje.

Konstrukční spolehlivost svarového spoje je určována tloušťkou materiálu, tvarem spoje, tvarem a přípravou svarových ploch, tuhostí spoje ve svaru a rozložení svarů a spojů v závislosti na způsobu vnějšího namáhání.

Pro hodnocení svařitelnosti se používají tzv. ukazatele svařitelnosti, které jsou v zásadě dvojího typu:

- ukazatele celistvosti,
- ukazatele vlastností.

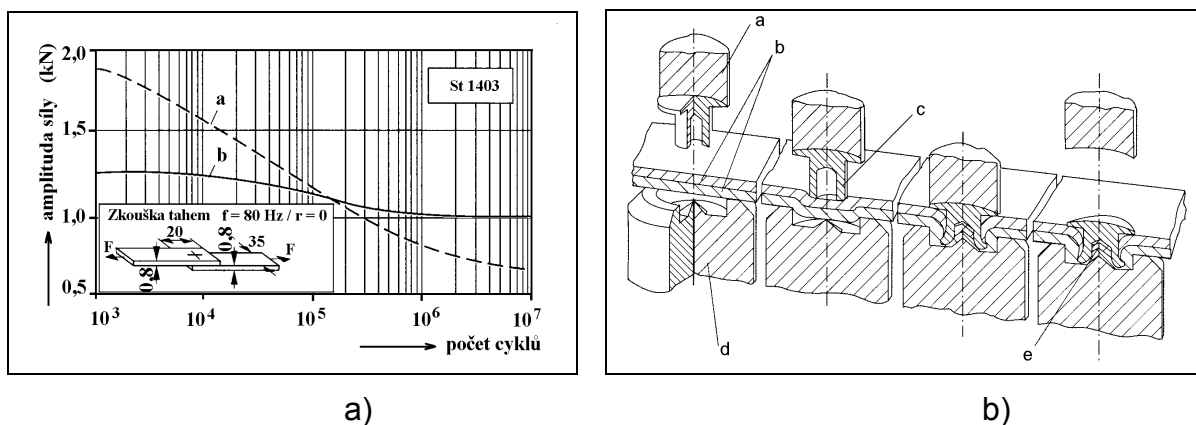
Ukazatele celistvosti charakterizují odolnost svarových spojů ke vzniku různých typů trhlin a jiných nepřijatelných vad. Ukazatele vlastností charakterizují změny jednotlivých vlastností v oblasti svarového spoje v důsledku svařování.

## 4.2.6 Specifické rysy svařovacího procesu a aplikace svarových spojů

Svařování je v systémech jakosti vedeno jako zvláštní proces. Jakost svarů se totiž nedá zjistit pouze kontrolou a zkouškami hotového výrobku, neboť se tak nedá jednoznačně potvrdit, že při svařování byly dodrženy všechny podmínky ovlivňující jakost. Do systému jakosti je proto nutné zahrnovat všechny činnosti, které mají na jakost při svařování vliv. Příslušné požadavky na jakost při svařování jsou předmětem norem. V souvislosti s využíváním metod svařování jako technologií vytváření spojů mezi jednotlivými konstrukčními prvky je nutné si uvědomit, že každý svařovací proces ovlivní do určité míry vlastnosti základního materiálu.

Současný trend při návrhu konstrukcí a spojování jednotlivých dílů jednoznačně vede k účelnému využívání široké škály dalších alternativních technologií jako např. lepení, pájení, speciálních způsobů nýtování, mechanických spojů a šroubových spojů. Pro předem definované podmínky provozu a funkčnosti spoje je úkolem konstruktéra vybrat nejvýhodnější řešení a provedení spoje včetně stanovení základních parametrů výroby. Takový přístup k návrhu spojů se v současnosti nejvíce aplikuje a prosazuje v automobilovém průmyslu při výrobě karosérií.

Každý typ a způsob provedení spoje totiž přináší určité specifické vlastnosti a výhody. Uvedme si na závěr této části alespoň jeden příklad. Ve srovnání se spoji vytvořenými bodovým odporovým svařováním jsou např. lisované spoje při statickém zatížení méně únosné (30 - 65%), při dynamickém únavovém zatížení jsou však výhodnější. Na obr. 4.10.a) je porovnání výsledků únavových zkoušek bodového svaru a lisovaného spoje s polovičním dutým nýtem v oceli St 1403. Schéma provedení zkušební vzorku je na obrázku. Zkouška byla provedena míjivým tahovým zatížením s frekvencí 80 Hz (součinitel nerovnoměrnosti cyklu  $r = 0$ ). Princip vytváření lisovaného spoje je na obr. 4.10.b).



Obr. 4.10.: a) Porovnání Wöhlerovy křivky pro vzorek s bodovým svarem křivka (a) a vzorek s lisovaným spojem křivka b)  
b) Technologie nýtování s polovičním dutým nýtem (a - lisovník, b - spojované díly, c - nýt, d - matrice, e - konečný tvar nýtu)

Nový nastupující trend při řešení konstrukcí a návrhu spojů u dílčích částí se prosazuje i v teoretické přípravě studentů.

## 4.3 Obrábění

**Definice:** Obrábění je technologická operace, při které se z polotovaru odebrává materiál ve formě třísek tak, abychom získali obrobek, jehož tvar, rozměry, přesnost a jakost povrchu odpovídají požadavkům výkresové dokumentace.

Rozdělení obrábění:

1. Nástroje s definovaným břitem (soustružení, frézování, vrtání, vyhrubování, vystružování, řezání závitů, hoblování, obrážení, protahování a protlačování).
2. Nástroje s nedefinovaným břitem (broušení, honování, lapování a superfinišování).
3. Nekonenční metody (elektroerozivní obrábění, obrábění laserem, vodním paprskem, paprskem elektronů a ultrazvukem).

Obrábění probíhá vždy za určitých řezných podmínek (pohyby nástroje a obrobku, prostředí, ve kterém obrábění probíhá apod.).

### 4.3.1 Soustružení

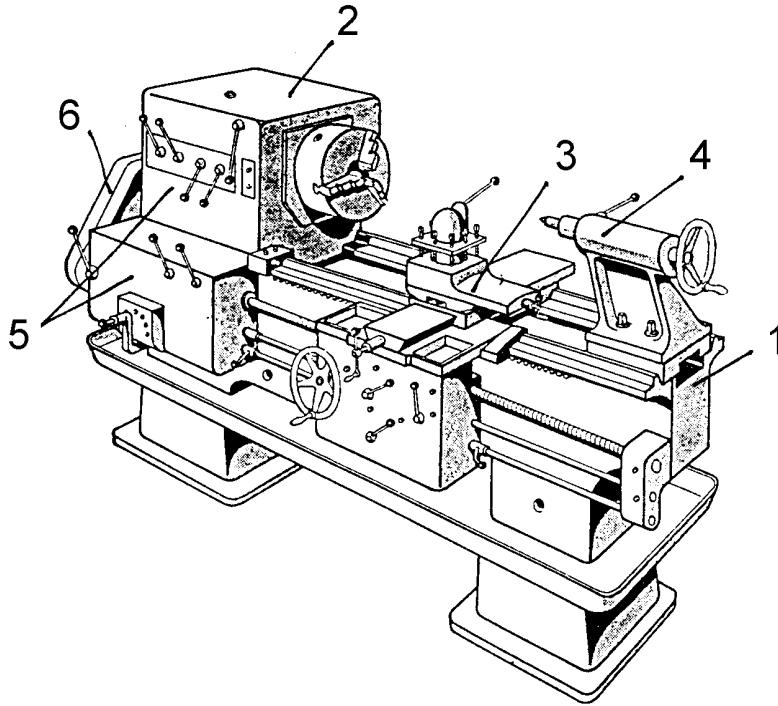
Soustružení je nejčastější obráběcí operací (asi 30% ze všech obráběcích operací). Obráběcí stroje pro soustružení – soustruhy - umožňují obrábět válcové, kuželové, kulové i obecné rotační plochy, rovinné plochy a závitů. Kromě soustružení lze na soustruzích provádět další, tzv. osově operace, jako vrtání, vyhrubování, vystružování, řezání závitů závitníky nebo závitovými čelistmi apod.

Hlavním pohybem při soustružení je rotační pohyb obrobku. Obvodová rychlost obrobku je řezná rychlost. Vedlejší pohyby koná nástroj. Jsou to: podélný posuv (rovnoběžný s osou otáčení obrobku) a příčný posuv (přísuv – kolmý k ose obrobku). Výsledkem podélného posuvu je válcová plocha, výsledkem příčného posuvu je čelní rovinná plocha. Koná-li nástroj oba pohyby současně vzniká obecná rotační plocha.

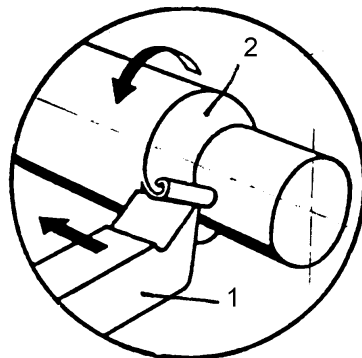
Nástrojem pro soustružení je soustružnický nůž. Nože se vyskytují v řadě různých tvarů, určených pro různé způsoby použití. Upínají se do nožové hlavy soustruhu. Obrobky se upínají do různých typů upínačů a pokud jsou delší, opírají se na druhé straně koníkem.

Soustruhy existují v různých provedeních podle požadovaného účelu, stupně automatizace apod. (hrotové, čelní, svislé, revolverové, poloautomatické, automatické, číslicově řízené).

Univerzální hrotový soustruh je na obr. 4.11. Základem stroje je stojan s ložem (1), na loži je uložen vřeteník (2) s vřetenem, na jehož konci je sklíčidlo pro upnutí obrobku. Po vedení lože se pohybují suporty (3) s nožovou hlavou pro upínání nástrojů a koník (4). Soustruh je poháněn elektromotorem (6) a otáčky vřetene a posuvy jsou řazeny pomocí převodovek (5). Na obr. 4.12. je znázorněn záběr soustružnického nože s obrobkem při podélném soustružení. U moderních numericky řízených soustruhů jsou všechny funkce stroje předem naprogramovány a řízeny počítačem.



Obr. 4.11.: Univerzální hrotový soustruh.



Obr. 4.12.: Záběr soustružnického nože (1) s obrobkem (2).

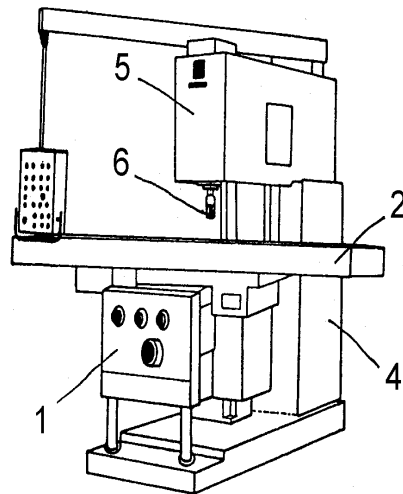
### 4.3.2 Frézování

Frézování je obrábění rovinných nebo tvarových ploch vícebřitým nástrojem – frézou. Řezný proces je přerušovaný, jednotlivé zuby nástroje vcházejí a vycházejí z materiálu a odebírají třísku proměnného průřezu. Fréza může obrábět buď obvodem – válcové frézy, nebo čelem – čelní frézy, nebo tvarovou plochou – tvarové frézy (obr. 4.14.).

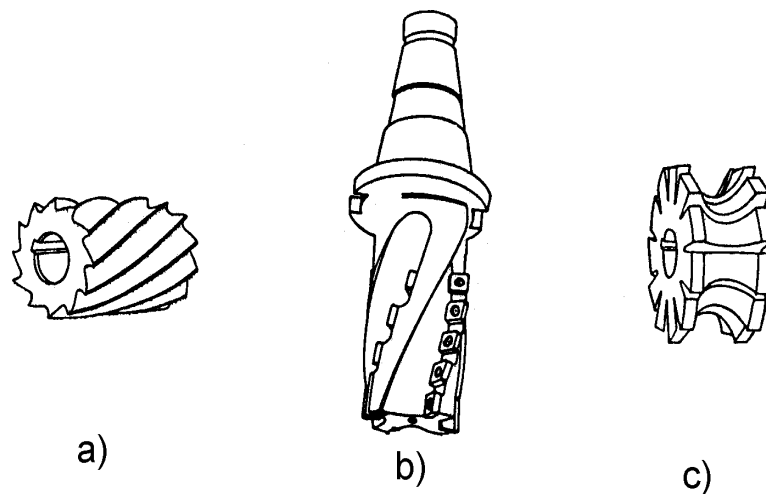
Hlavní řezný pohyb je rotační pohyb frézy a její obvodová rychlost je řezná rychlost. Posuvy ve třech směrech koná obrobek upnutý na stole frézovacího stroje – frézky.

Frézek je řada typů podle způsobu použití (např. frézky konzolové – vodorovné, svislé, univerzální; rovinné; speciální – na vačky, na ozubení, na závity apod.

Na obr. 4.13. je konzolová svislá frézka. Je tvořena stojanem (4), na kterém je vřeteník (5) s motorem a převodovkou otáček. Po vedení stojanu se pohybuje konzola (1) s motorem a převodovkou posuvu a na ni je příčný a podélný pracovní stůl (2). Ve vřetení frézky je upnut nástroj – fréza (6)



Obr. 4.13.: Konzolová svislá frézka



Obr. 4.14.: Příklady fréz: a - válcová, b - čelní válcová, c – tvarová

### 4.3.3 Vrtání

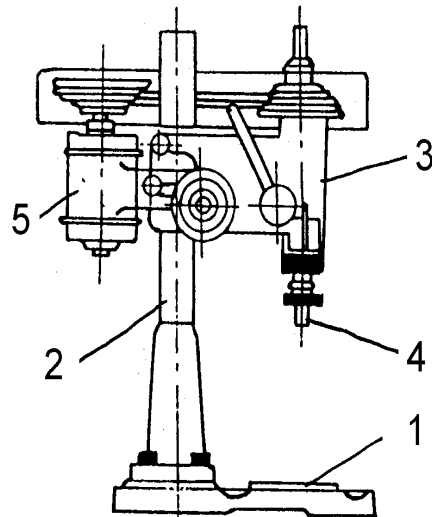
Vrtání je historicky nejstarší obráběcí operace. Je to obrábění vnitřních rotačních ploch, zpravidla dvoubřitým nástrojem – vrtákem.

Hlavní řezný pohyb je rotační pohyb nástroje, řezná rychlost je obvodová rychlost vrtáku. Posuv ve směru osy vykonává obvykle nástroj. Posuv je vázán na otáčky nástroje.

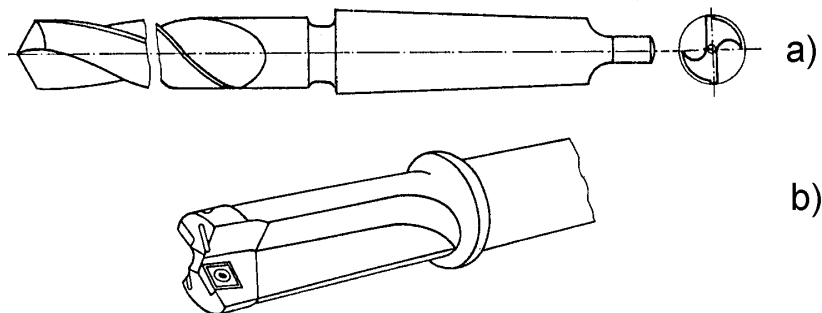
Vrtáků je řada typů. Nejčastějším typem vrtáků je šroubovitý vrták (obr. 4.16.a). Další typy vrtáků jsou vrtáky kopinaté (ploché), středící a na hluboké díry (dělové vrtací hlavy).

Stroje pro vrtání jsou vrtačky. Dělí se na stolní, sloupové, stojanové, radiální, souřadnicové, speciální. Na vrtačkách je možno provádět i další osové operace, jako vyhrubování a vystružování (těmito operacemi se zkvalitňuje vyvrtaná díra), řezání závitů, zahlubování apod.

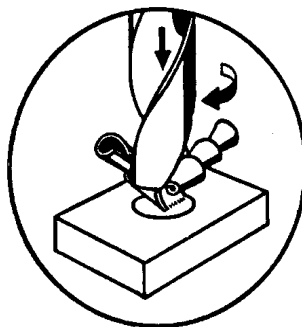
Na obr. 4.15. je stolní vrtačka. Na stole (1) je připevněn sloup (2), po kterém se pohybuje vřeteník (3). Ve vřeteníku je elektromotor (5), převodovka otáček vřetena a převodovka posuvů. Do vřetena se upíná vrták. Posuv vřetena je možné provádět ručně nebo strojně (v tom případě je posuv vázán na otáčky vřetena).



Obr. 4.15.: Stolní vrtačka



Obr. 4.16.: Vrtáky: a) šroubovitý vrták, b) vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami



Obr. 4.17.: Záběr šroubovitého vrtáku s obrobkem

### 4.3.4 Broušení

Broušení je dokončovací metoda obrábění rovinných, válcových nebo tvarových vnějších a vnitřních ploch nástrojem, jehož břity jsou tvořeny zrna tvrdých materiálů.

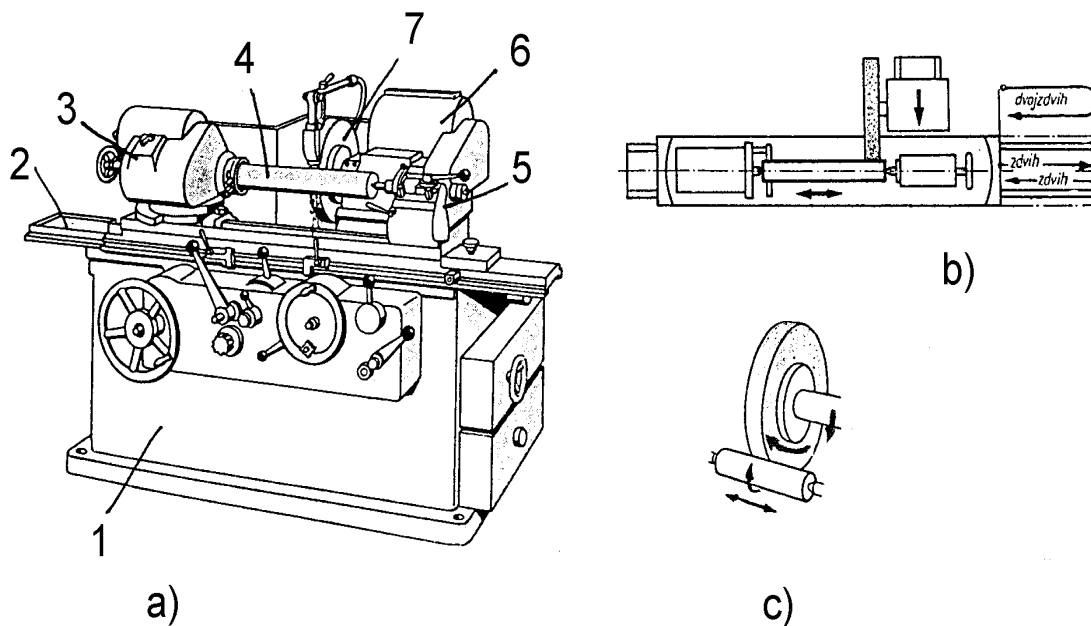
Nástrojem jsou nejčastěji brousicí kotouče v nichž jsou brusná zrna spojená navzájem vhodným pojivem. Zrna jsou v brousicím kotouči rozmístěna náhodně a mají různé tvary. Kromě brousicích nástrojů se používá také volné brusivo. Při broušení je současně v záběru velké množství zrn, která odebírají třísky velmi malých průřezů. Broušení se v současném strojírenství používá na dokončovací obrábění ploch s vysokou přesností a vysokou jakostí obrobeného povrchu a na opracování materiálu s vysokou pevností a tvrdostí, kde je obrábění jinými nástroji obtížné nebo nemožné (kalené oceli, keramické materiály apod.).

Hlavní pohyb při broušení vykonává nástroj, posuv koná obrobek, přísuv do řezu může vykonávat buď obrobek nebo brousicí kotouč.

Kromě brousicích kotoučů se pro broušení používají brousicí segmenty, kameny a pásy, obsahující zrna brusiva ve vhodném pojivu. Nejčastěji se však používají brousicí kotouče. Materiály brusiva jsou přírodní (smírek, granát, diamant) nebo umělá (umělý korund, karbid křemíku, umělý diamant, kubický nitrid bóru).

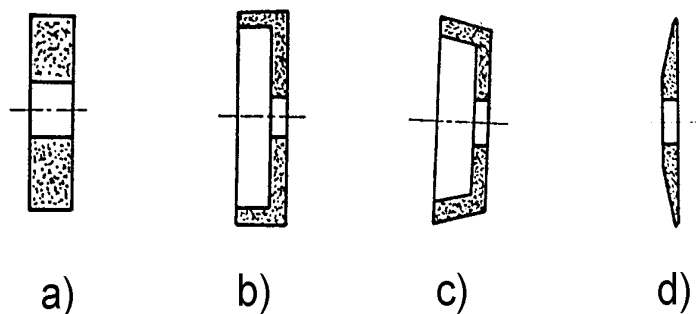
Stroje na broušení jsou brusky. Dělí se podle prováděných operací na hrotové, na díry, bezhroté, rovinné, nástrojařské, pásové a speciální.

Na obr. 4.18. je hrotová bruska. Na stojanu (1) je umístěno lože s pracovním stolem (2), na kterém je uložen pracovní vřeteník (3), ve kterém je upnut obrobek (4) opřený koníkem (5). Na loži je umístěn pracovní vřeteník (6) s brousicím kotoučem (7).

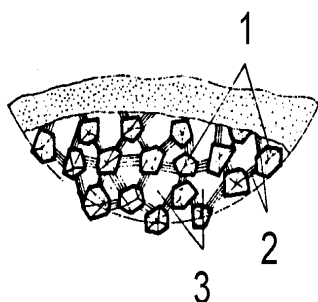


Obr. 4.18.: Hrotová bruska - a) stroj, b),c) pohyby





Obr. 4.19.: Brousicí kotouče - plochý, b) hrncový, c) miskový, d) talířový



Obr. 4.20.: Struktura brousicího kotouče: 1 – zrna kotouče, 2 – pojivo, 3 – póry

#### 4.3.5 Nástrojové materiály

Břity řezných nástrojů jsou při obrábění zatěžovány velkými silami, v případě přerušovaného řezu i rázy. Vlivem vnitřního i vnějšího tření vzniká při obrábění značné množství tepla a břit se značně ohřívá. Na břity nástrojů jsou proto kladeny následující požadavky:

- Vysoká tvrdost a houževnatost.
- Stálost těchto vlastností s rostoucí teplotou.
- Odolnost proti opotřebení (stálost tvaru břitu nástroje).

Druhy nástrojových materiálů:

- Nástrojové oceli: uhlíkové, nízkolegované, vysocelegované (rychlořezné).
- Slinuté karbidy: rozdělení podle ISO, P (pro obrábění ocelí), K (pro obrábění materiálů tvořících krátkou třísku např. litin), M (univerzální slinuté karbidy, zejména pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů).
- Keramické řezné materiály: používají se zejména pro obrábění litin a obrábění bez rázů.
- Diamant: používá se zejména pro obrábění neželezných kovů a jako brusivo.
- Kubický nitrid bóru: používá se pro obrábění velmi tvrdých materiálů – kalených ocelí apod.

Nástrojový materiál	Řezné rychlosti [m/min]	Max. teploty [°C]
Nástrojové oceli rychlořezné	35 – 60	600
Slinuté karbidy	40 – 300	1000
Řezná keramika	100 – 1000	1800
Kubický nitrid bóru	60 – 200	1400
Diamant	300 – 1000	700

Břity nástrojů se obvykle vyrábějí ve formě destiček různých tvarů, které se na držáky nástrojů buď pájí nebo dnes častěji upevňují mechanicky. Menší nástroje se mohou vyrábět jako celistvé (např. nástroje rychlořezné nebo vrtáky a frézy menších rozměrů ze slinutých karbidů).

Trvanlivost břitu řezného nástroje je doba, po kterou je nástroj schopen pracovat tak, že jsou zachovány všechny technologické požadavky na obrobenou plochu (přesnost, drsnost apod.).

Pro zvýšení trvanlivosti břitu lze některé nástrojové materiály opatřovat tvrdými ořezuvzdornými povlaky z nitridu titanu, karbidu titanu apod.

#### 4.3.6 Montáž

Montáž je závěrečnou etapou strojírenského výrobního procesu. Dochází při ní k postupnému sestavování součástí, podskupin a skupin do montážních celků nebo výrobků. Je tvořena souhrnem přípravných, manipulačních, spojovacích a kontrolních činností.

Montáž ve strojírenství představuje v průměru asi 30 až 40 % pracnosti při výrobě výrobku a je na ní zaměstnáno asi 30 až 50 % pracovníků. Tato vysoká čísla naznačují, že automatizace montáže je obtížnější než automatizace jiných strojírenských technologií.

Druhy montáže:

- Interní (prováděná ve výrobním podniku)
  - nepohyblivá (stacionární) prováděná na jednom pracovišti
  - pohyblivá
    - s plynulým pohybem (na pásu)
    - s přerušovaným pohybem.
- Externí (montáž mostních konstrukcí, továrních hal apod.)

Montážní činnosti:

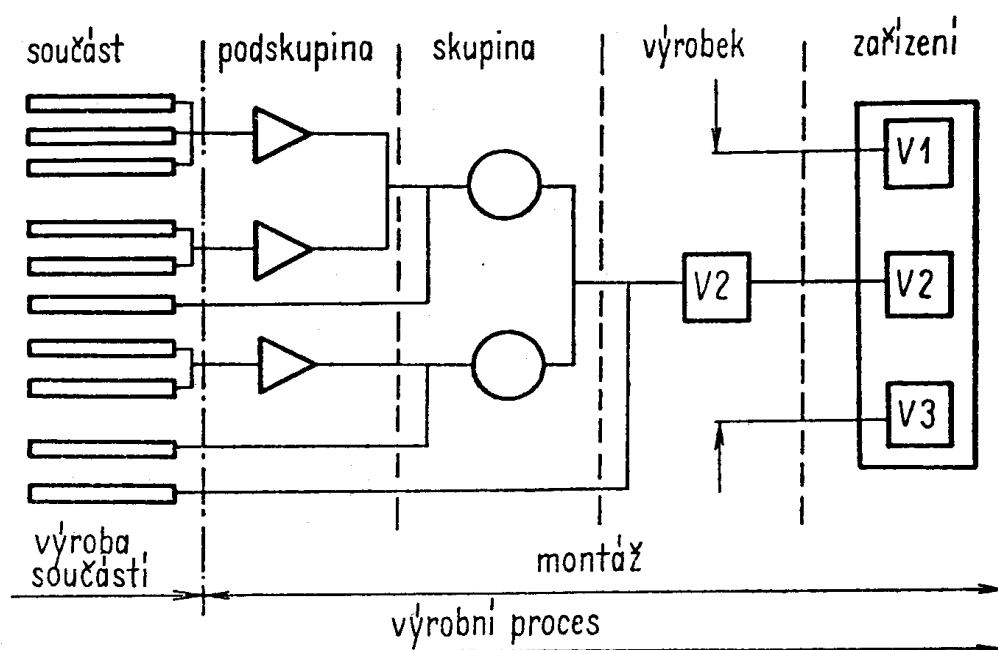
- přípravné (čištění, úprava tvaru, vyvažování, paletizace)
- manipulační (vkládání, vyjímání, nasouvání, ustavení, přemísťování)
- spojovací (šroubování, lisování, nýtování, pájení, lepení, svařování)
- kontrolní (měření, zkoušení funkcí)

Se zřetelem na požadavky technické a materiální přípravy výroby a montáže se výrobek rozčleňuje na jednodušší konstrukčně nebo funkčně samostatné celky:

- Součást – základní prvek výrobku zhotovený obvykle z jednoho materiálu.
- Podskupina - vzniká spojením dvou nebo více součástí.
- Skupina - funkčně a konstrukčně uzavřená část výrobku vzniklá spojením součástí a podskupin.

- Výrobek - konečný produkt funkčně a konstrukčně uzavřený.
- Zařízení - soubor strojírenských výrobků, který má plnit určité úkoly.

Na obr. 4.21. je rozčlenění výroby z hlediska jednotlivých fází výrobního procesu.



Obr. 4.21.: Členění výrobního procesu

#### 4.3.7 Technická příprava výroby

Technická příprava výroby (TPV) se dělí na:

- konstrukční (vytvoření konstrukční dokumentace za spolupráce konstruktérů, technologů a ekonomů),
- technologickou (TgPV),
- projektovou (příprava výroby po stránce výběru strojů, rozmístění, materiálové toky apod.).

Technologická příprava výroby je souhrn technickoorganizačních opatření a činností, zahrnující technickou přípravu výroby – výrobní, konstrukční, technologická a projektová dokumentace a technologické vybavení.

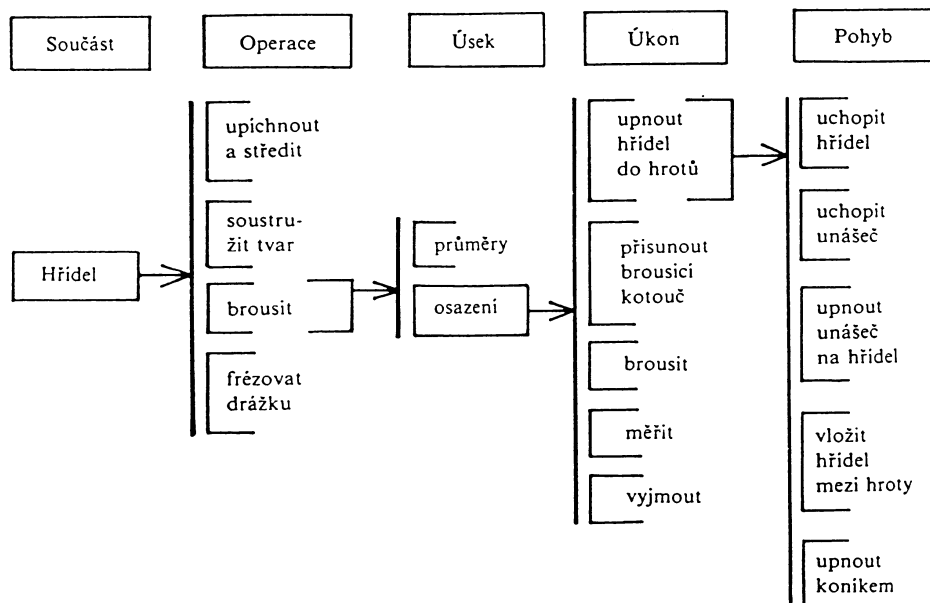
Důležitou součástí technologické přípravy výroby jsou výrobní postupy. Popisují změny, které musí být provedeny na výchozím materiálu v určité časové a funkční posloupnosti abychom dostali hotový výrobek.

Výrobní postup obsahuje:

- popis prací a výrobních metod ve vhodném pořadí,
- počet vyráběných kusů,
- nástroje přípravky a měřidla, která je nutno použít pro výrobu upínání a kontrolu obrobku,

- technologické podmínky – zejména řezné podmínky a řezné prostředí,
- čas k provedení jednotlivých operací.

Výrobní postup se člení na operace (ucelená část výrobního postupu prováděná na jednom pracovišti). Operace se dále člení na úseky (část operace prováděná na jednom stroji za stejných pracovních podmínek), úkony (jednoduchá pracovní činnost např. upnout obrobek, soustružit na průměr apod.) a pohyby (např. uchopit obrobek, upnout obrobek apod.).



Obr. 4.22.: Příklad dělení technologického postupu

#### 4.3.8 Technologičnost konstrukce

Konstrukce výrobků je předepsána konstrukční dokumentací, způsob a postup výroby a montáže technologickou dokumentací. Mezi těmito dvěma činnostmi je třeba vytvořit vztah, který umožní vyrobit výrobek požadovaných vlastností s minimálními výrobními náklady. Tento vztah se hodnotí tzv. technologičností konstrukce.

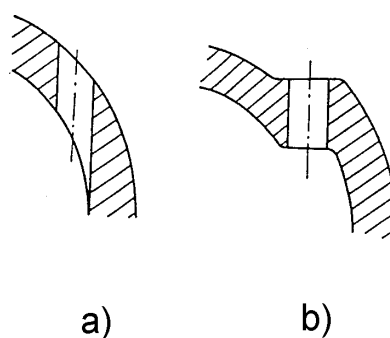
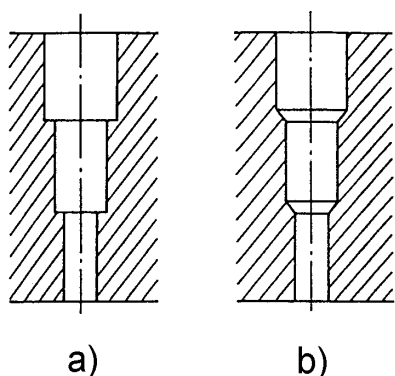
Definice: Technologičnost konstrukce je soubor vlastností materiálu a výrobku, které při daných výrobních možnostech a daném objemu výroby umožňují ekonomickou výrobu při současném zajištění předepsané konstrukce výrobku.

Na technologičnost konstrukce má vliv zejména:

- volba materiálu součásti,
- návrh výchozího polotovaru a jeho rozměru (přidavku na obrábění),
- požadovaná přesnost a tvaru obrobených ploch, drsnosti a kvality povrchové vrstvy,
- druh a poloha konstrukčně technologických prvků na součásti,
- celková koncepce výrobku,
- výrobní zařízení a organizace výroby.

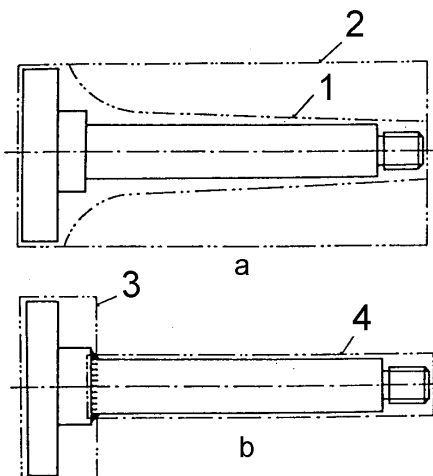
Z uvedeného je vidět, že pojem technologičnost konstrukce je značně složitý. Pro objasnění jen několik příkladů:

Na obr. 4.23. je odstupňovaná díra. Obrázek 4.23.a představuje výrobně náročnou součást protože rovné dno vrtané díry se musí obtížně soustružit. Na obr. 4.23.b je díra bez problému vyvrtaná šroubovitými vrtáky. Na obr. 4.24. je šikmá díra při jejímž vrtání může snadno dojít ke sklouznutí a zlomení vrtáku. Není-li možné použít speciální vodící pouzdro, musí být plocha upravena podle obr. 4.24.b. Na obr. 4.25. je osazený hřídel. V kusové výrobě je možné jej vyrobit z válcového polotovaru (2), v malosériové výrobě je vhodnější svařit polotovary ze dvou kusů (3) a (4). V hromadné výrobě se vyplatí vyrobit kovací zápustku a vyrábět polotovary ve formě výkovku (1).



Obr. 4.23.: Osazená díra

Obr. 4.24.: Vrtání díry do odlitku



Obr. 4.25.: Osazený hřídel

Dokončovací operace (např. broušení, vystružování apod. volíme pouze v tom případě, že to funkce součásti nezbytně vyžaduje). Přesnost rozměrů všech součástí volíme co nejmenší, každé zvýšení přesnosti znamená zvýšení ceny výrobku. To byly jen některé příklady zlepšení technologičnosti konstrukce, které vedou ke snížení pracnosti a tím ke snížení ceny výrobku.

## 4.4 Technologie tváření kovů

Tvářením kovů rozumíme technologický (výrobní) proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru výrobku nebo polotovaru, příp. vlastností, v důsledku působení vnějších sil. Podstatou tváření je vznik plastických deformací, ke kterým dojde v okamžiku dosažení napětí na mezi kluzu pro daný materiál.

Plastická deformace je ve své podstatě pohyb jednotlivých částíček kovů vůči sobě a mechanismus vzniku plastické deformace je možné vysvětlit na základě pohybu a vzniku mřížkových poruch. Známe dva základní mechanismy plastické deformace a to **skluzem** a **dvojčatěním**.

Výhodami tváření jsou vysoká produktivita práce, vysoké využití materiálu a velmi dobrá rozměrová přesnost tvářených výrobků. Nevýhodou je vysoká cena strojů a nástrojů a omezení rozměry konečného výrobku.

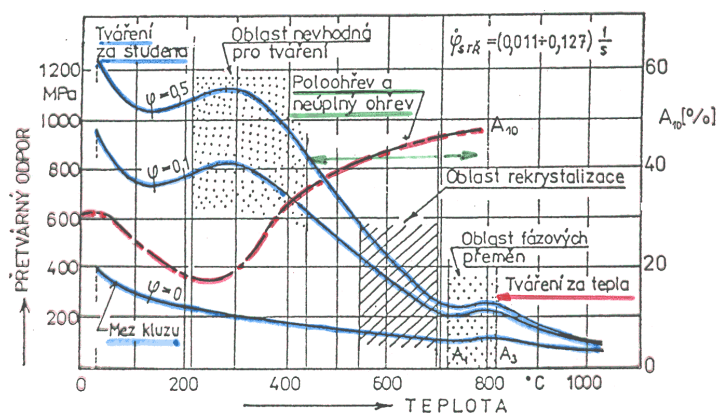
Nejdůležitější rozdělení technologií pro zpracování kovů je podle fyzikální podstaty dějů, tzn. podle vztahu teploty tvářeného materiálu k teplotě rekrytalizace (přibližně 0,4 teploty tání kovu).

Rekrytalizační teplota je teplota, při které dochází k regeneraci deformovaných zrn vzniklých tvářením za studena beze změny krystalové mřížky a tedy dělení tvářecích technologií podle teploty je potom na (viz. obr. 5.1.1):

- **tváření za studena** (tváření pod rekrytalizační teplotou, pod hodnotou 30 % teploty tání tvářeného materiálu), kdy dochází ke zpevňování materiálu a zrna se deformují ve směru tváření, vytváří se textura. Zpevňováním se zvyšují mechanické hodnoty (mez pevnosti a mez kluzu) a klesá tažnost. Výhodou je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch (nenastává okujení) a zlepšování vlastností zpevňováním. Nevýhodou je nutnost používat velké tvářecí síly, nerovnoměrné zpevňování a omezená tvárnost materiálu;

- **tváření za tepla** probíhá nad rekrytalizační teplotou (nad hodnotou 70 % teploty tání daného materiálu). Materiál se nezpevňuje a k tváření stačí síly až desetkrát menší, než u tváření za studena. Nevzniká textura, ale povrch je nekvalitní vlivem okujení;

- **tváření za poloohřevu** představuje kompromis mezi tvářením za studena a za tepla. Probíhá těsně pod rekrytalizační teplotou.



Obr. 4.26.: Rozdělení tvářecích pochodů podle teploty

Z praktického (výrobního) hlediska se tváření kovů dělí na:

- **tváření objemové**, při kterém deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému a patří sem válcování, kování, protlačování, tažení drátů.

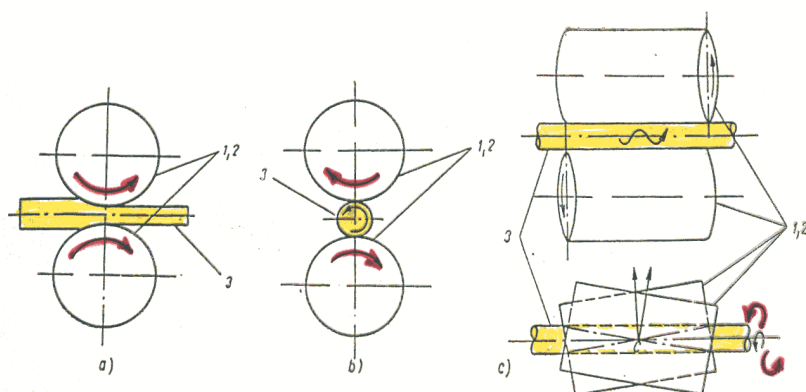
- **tváření plošné**, při kterém převládají deformace ve dvou směrech. Patří sem tažení, ohýbání, stříhání, apod.

#### 4.4.1 Technologie objemového tváření

Technologie objemového tváření se týká tváření při němž je trojosá (všestranná) napjatost. Jako polotovar se používá přístřih tyče, sochoru, apod. Dále uvedené technologie mohou teoreticky probíhat při libovolných teplotách, tedy za studena, za tepla a za poloohřevu.

##### ▪ Válcování

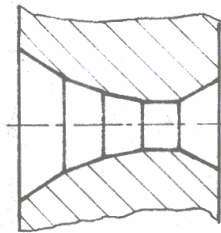
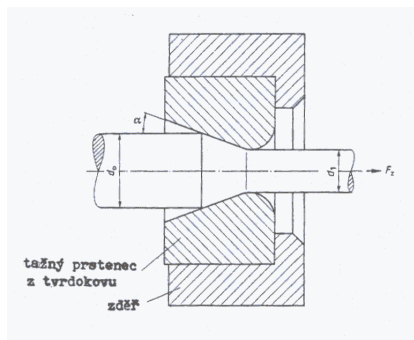
Válcováním rozumíme kontinuální proces, při kterém se tvářený materiál deformuje mezi otáčejícími se pracovními válci za podmínek převažujícího všestranného tlaku. Válcovaný materiál se mezi válci deformuje, výška se snižuje, materiál se prodlužuje a současně rozšiřuje a mění se i rychlost, kterou válcovaný materiál z válcovací stolice vystupuje. Mezera mezi pracovními válci je menší než vstupní rozměr materiálu. Válcování se provádí za tepla i za studena. Výsledkem procesu je **vývalek**. Podle směru, kterým válcovaný materiál prochází pracovními válci, válcování dělíme na **podélné**, **příčné** a **kosé** (viz. obr. 5.1.1.1). Proces válcování je umožněn jen v důsledku **tření** mezi pracovními válci a válcovaným materiálem.



Obr. 4.27.: Princip podélného (vlevo), příčného (uprostřed) a kosého (vpravo) válcování (1, 2 – válce, 3 – materiál)

##### ▪ Tažení drátů a profilů

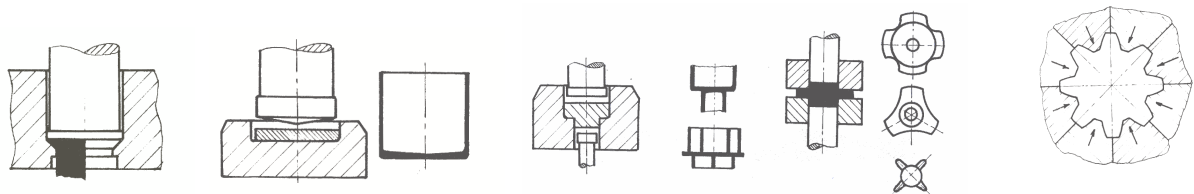
Tvářecí proces tažení drátů a profilů se provádí za studena a to ve více stupních. Možné přetvoření je omezeno pevností daného materiálu. Sám název výstižně upozorňuje na to, že při této operaci se materiál prodlouží ve směru tažení a tedy - má-li být zachován jeho objem - zmenší se průřez (viz. obr. 4.28.). Táhnout se dají plná i dutá tělesa. Nástroj je nepohyblivý. Pokud je vyčerpána plasticita, musí se provést mezioperační žihání. Nejdůležitější podmínkou pro tažení drátů, trubek a profilů je snížení vnitřního pnutí pomocí mazání. Na obr. 4.28. vpravo je schéma tažného kužele v technologickém uspořádání. Průvlak sestává z většího počtu kuželů o různých vrcholových úhlech. Jejich funkce - (zleva) - je následující: **vstupní kužel** (zaváděcí), **mazací**, **tažný**, **kalibrační** a **výstupní**. Funkce jednotlivých částí průvlatku je dána jejich názvem.



Obr. 4.28.: Schéma tažnice a uspořádání průvlaku

### ▪ Protlačování

Protlačování provádíme za tepla, při poloohřevu a za studena. Napjatost v přetvářeném elementu materiálu je trojosá, všestranně tlaková. Protlačování za studena je u lehkých a barevných kovů známo a používáno již přes 100 let. Tímto způsobem se vyráběly a vyrábějí např. tuby, nábojnice apod. Protlačování ocelí bylo naproti tomu umožněno teprve vynálezem operace **fosfátování**, která výrazně snižuje součinitel tření mezi materiálem a nástrojem. Materiály s nízkým přetvárným odporem (zjednodušeně odpor proti tváření) - hliník a jeho slitiny - se dají protlačovat na jednu operaci, oceli a ostatní kovy se protlačují na více operací. Někdy je potřeba provádět i mezioperační žihání. Protlačování dělíme na **dopředné**, **zpětné**, **kombinované**, **stranové** a **radiální** (viz. obr. 4.29.).



Obr. 4.29.: Dopředné (vlevo), zpětné (druhé zleva), kombinované (uprostřed), stranové (druhé zprava) a radiální (vpravo) protlačování

Při dopředném protlačování se materiál pohybuje stejným směrem jako průtlačník, při zpětném se pohybuje v protisměru, při kombinovaném v obou jmenovaných směrech. Při stranovém protlačování se tvářený materiál pohybuje kolmo na směr pohybu průtlačníku. Radiálním protlačováním rozumíme tváření, při kterém se materiál i části nástroje pohybují v radiálním směru vzhledem k ose materiálu. Proces protlačování ocelí za studena je omezen pevností materiálu průtlačnice. K protlačování za studena se používá většinou mechanických, klikových vertikálních lisů a lisů hydraulických. Při protlačování za tepla se zpracovávají materiály, jejichž tvářitelnost je za studena omezená a např. válcování by bylo příliš nákladné.

### ▪ Kování

Kováním rozumíme objemové tváření za tepla prováděné úderem nebo klidně působící silou. Kování dělíme na **volné**, tj. na kovadlině nebo pomocí univerzálních kovacích podložek, a **zápustkové**, tj. ve tvarových dutinách (zápustkách).



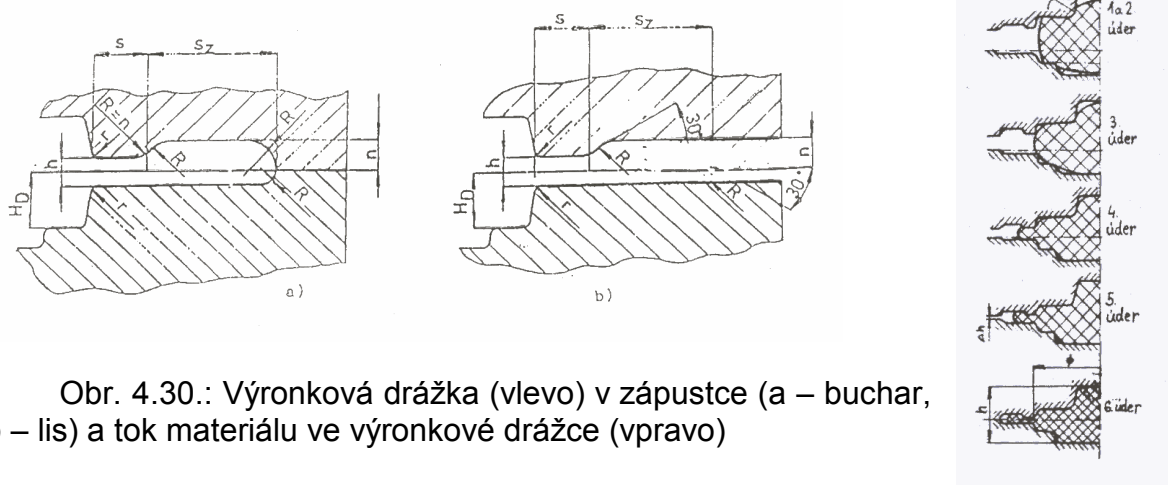
Při **volném kování** docílujeme žádaný tvar výkovku pomocí univerzálních kovadel a speciálním polohováním výkovku. Kovadla jsou jednoduchých geometrických tvarů, jako např. kovadla rovinná, válcová, klínová apod. Docílení výsledného tvaru vyžaduje uvědomělý sled operací, při kterém všechny prostorové změny tvaru převádíme na pěchování. Tak např. kovářské prodlužování se provádí redukcí příčného průřezu pěchováním a zkrácení se provede rovněž zpěchováním příslušného rozměru.

Volně kované výkovky se navrhují vždy v jednodušším tvaru, než jaký má mít výkovek. Tvarovanému zjednodušení se říká **technologický přídavek**. Vedle technologických přídaveků má výkovek ještě přídávky na obrábění, a to v náležitých tolerancích.

Volné kování má velký význam nejen pro tvarování výrobků, ale i pro zlepšení jejich mechanických vlastností (stupeň prokování). Účelem **prokování** je odstranění nestejnorodé hrubé lící struktury a metalurgických vad u ingotů, které snižují tvárnost a fyzikální a mechanické hodnoty a vlastnosti kovu.

Volné kování je výhodné při výrobě malého počtu výkovků, např. při kování velkorozměrových kusů anebo v opravárenství. Při volném kování není zapotřebí žádných předběžných nákladů na zhotovení nástroje, avšak časové náklady na 1 kus jsou větší.

**Zápustkové kování** slouží k výrobě velkého počtu tvarově stejných součástí z ocelí nebo jiných tvárných slitin. **Zápustka** je většinou dvoudílný nástroj. K zápustkovému kování používáme bucharů (kování úderem) a lisů (kování klidným tlakem). Při zápustkovém kování záleží počet kovacích dutin na tvaru výkovku, ale též na tvaru výchozího materiálu. Jen zřídka se stane, že k vykování výkovku stačí jedna dutina. V případě složitějších tvarů je nutno kovat ve více dutinách. Operace zápustkového kování pak dělíme např. na **rozdělování**, **předkování**, **kování** a **odstřížení** výronku. Kovací (dokončovací, finální) dutina je opatřena okolo obrysu tvaru výkovku ještě **výronkovou drážkou** (viz. obr. 4.30.). Zúžená část se nazývá můstkem, rozšířená část je zásobníkem. Funkce výronku je dvojitá: jednak pojmoutí přebytečného materiálu, jednak ovlivnění toku materiálu uvnitř zápustky.



Obr. 4.30.: Výronková drážka (vlevo) v zápustce (a – buchar, b – lis) a tok materiálu ve výronkové drážce (vpravo)

Zápustkový **výkovek** se navrhuje takto: Nejprve se pro žádaný tvar určí **dělicí rovina**. Ve slévárenství jsme s výhodou volili jako dělicí rovinu jednu z hlavních rovin odlitku. V kovárenství naopak volíme dělicí rovinu středem nejmotnější části

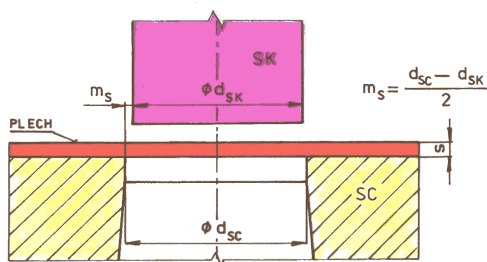
výkovku. Ke zvolené dělicí rovině aplikujeme úkosy tvarů. Hodnoty úkosů pro zápusťkové výkovky kované na bucharech se osvědčily ve velikosti 5 až 8° a při kování na lisech asi 3°.

#### 4.4.2 Technologie plošného tváření

Technologie plošného tváření se týká tváření, při němž je třetí hlavní deformace zcela zanedbatelná a výchozím polotovarem je přístřih plechu, tj. polotovaru charakteristických převahou dvou rozměrů nad třetím.

##### ▪ Stříhání

Stříhání je jedinou tvářecí operací, která směřuje k žádoucímu **porušení** materiálu. Při výpočtu tvářecích sil se to projeví tím, že zde použijeme meze pevnosti místo meze kluzu. **Střížný nástroj** se skládá ze střížníku a střížnice (viz. obr. 4.31.) mezi kterými je **střížná vůle**, resp. **střížná mezera** (1/2 střížné vůle). Nelze totiž bez zvláštních úprav postavit nástroj bez mezery kvůli nebezpečí havárie. Na docílení kvalitního výstřížku je důležitá optimální vůle mezi střížníkem a střížnicí. Jednostranná vůle bývá od 3 do 10 % tloušťky plechu v závislosti na tloušťce a pevnosti materiálu (s rostoucí pevností se vůle zvětšuje).



Obr. 4.31.: Schéma stříhání pomocí střížného nástroje (SK – střížník, SC – střížnice)

Stříhání probíhá ve **třech fázích**. V první fázi je oblast pružných deformací, kdy se materiál stlačuje a ohýbá a vtlačuje se do otvoru střížnice. Druhou fází je oblast plastických deformací. Střížník se vtlačuje do plechu a ten do otvoru střížnice až napětí překračuje mez kluzu a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti. Ve třetí fázi začínají na hranách vznikat trhlinky, ty se rozšiřují až dojde k utržení (usmýknutí) materiálu. S ohledem na to nejsou okraje stříhových ploch zcela rovinné a střížná plocha má určitou drsnost, která není v ploše rovnoměrně rozdělená. Místo, kde došlo k prvnímu výskytu trhlín, jsou drsnější než ostatní střížné plochy. U šikmého stříhu se používají pákové nůžky, jejichž nože se pohybují úhlovým sklápěním. Pro podélné stříhání dlouhých pásů se staví nůžky kotoučové. Je to střížný nástroj s odvalujícími se noži.

Při stříhání na lisech se používá některých složitějších nástrojů, sdružujících více střížných operací. **Postupový nástroj** provede více operací postupně, tj. na více zdvihů při posunu materiálového pásu. **Nástroj sloučený** nebo **sdužený** provádí více operací v jednom zdvihu na jednom pracovním místě. Jednotlivé operace jsou zajištěny konstrukcí střížníku.

Kromě klasického stříhání existují i další operace, které se nazývají podle způsobu odstraňování materiálu. Patří sem **děrování**, **vystříhování**, **ostříhování**, **přistříhování**, atd.

## ▪ Ohýbání

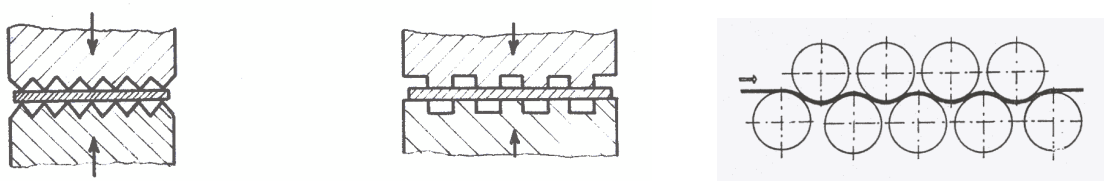
K ohýbání používáme nástroje - **ohýbadla**, skládající se z ohybníku a ohybnice. Ohnutí tělesa (vzniklé tvary jsou nazpět rozvinutelné) do žádoucího tvaru využívá stejných zákonů plasticity jako ostatní způsoby tváření - překročením meze kluzu dosáhneme oblasti plastické deformace. Plastická deformace je doprovázena deformací elastickou. Pominou-li vnější síly na deformované těleso, rozměry tělesa se částečně vrátí do původních, tj. těleso **odpruží**. Zatímco u dříve probraných technologií bylo odpružení zanedbatelné, má při ohýbání značný význam. Odpružení při ohybu se projevuje jako úhlová odchylka, jejíž význam roste s délkou ramen.

Při ohnutí materiálu vypočtenou silou dojde k odpružení o úhel  $\beta$ , který se určí buď podle empirických vzorků nebo z tabulek. Nástroj se proto musí navrhnout s korekcí o úhel odpružení a nebo se musí zvětšit lisovací síla na konci lisovacího cyklu - dochází k tzv. **kalibraci**.

Všechny ohýbací operace není vhodné (a ani možné) dělat na lisu. Pro některé se staví speciální ohýbací stroje. Podobné výsledky, ale jiným pracovním postupem, dává tzv. **ohraňovací lis**. Ohraňovací lis je mechanický, obvykle vícebodový lis, umožňující použití dlouhých lištových nástrojů.

## ▪ Rovnání a kalibrace

Rovnění tlakem, pod lisem, si lze představit jako „obrácený“ ohyb, při kterém uvádíme křivé části do roviny. I zde platí pravidlo současného působení elastických deformací s plastickými (po pominutí vnějších sil rovnané těleso odpruží), což se projeví zbytkovým zakřivením. U velmi tenkých materiálů a nebo u tvrdých materiálů roste lisovací síla do neúnosných hodnot a proto se rovnané těleso neuvede do plastického stavu v celém objemu, nýbrž jen v určitých, pravidelně rozložených místech. Jedná se o tzv. **bodové, bradavkové rovnání** nebo **opakované prohýbání** (viz. obr. 4.32.).

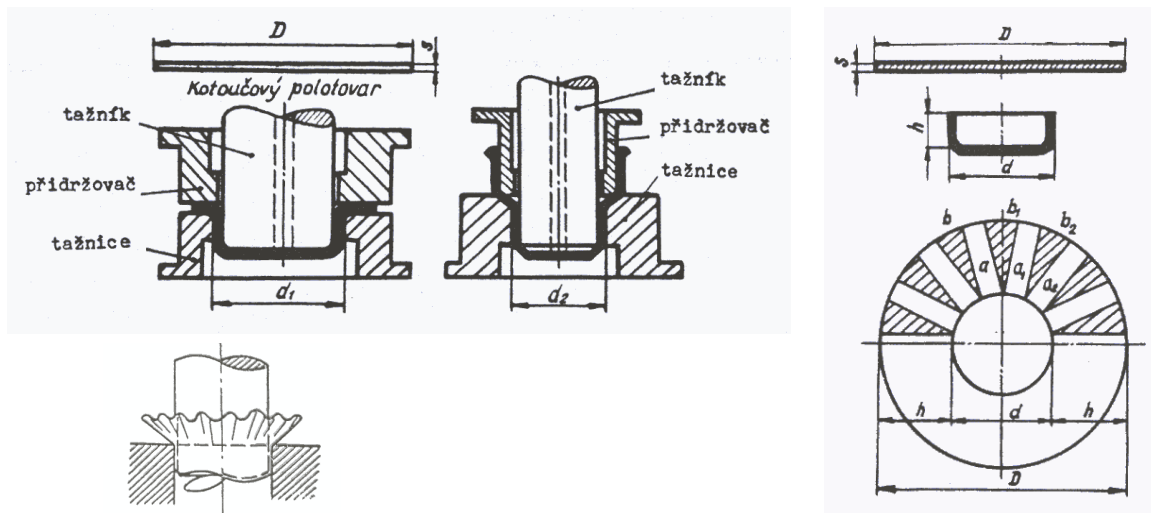


Obr. 4.32.: Rovnění bodové (vlevo), bradavkové (uprostřed) a opakované prohýbání (vpravo)

## ▪ Tažení plechů a pásů

Tažením plechů a pásů vzniká prostorový výlisek nerozvinutelného tvaru. Podle tvaru výlisku můžeme proces tažení dělit na tažení **mělké** a **hluboké**, tažení bez a **se ztenčením** stěny, tažení **rotačních** a **nerotačních** tvarů a dále tažení nepravidelných tvarů (tzv. karosářské výlisky).

Princip hlubokého tažení jednoduchého válcového tvaru s dnem je zřejmý z obr. 4.33. Hlavní funkční části **tažného nástroje** jsou tažník a tažnice. U tenkých plechů je ještě zapotřebí doplnit nástroj přídržovačem, který zabraňuje zvlnění plechu při tažení.



Obr. 4.33.: Tažný nástroj s přidržovačem v první a druhé tažné operaci (vlevo nahoře) včetně detailu příruby (vpravo) a detailu zvlnění po tažení bez přidržovače (vlevo dole)

Zatlačujeme-li tažník do tažnice, posunuje se plech přes tažnou hranu, která se z celého nástroje nejrychleji opotřebuje. Síla potřebná k tažení se kontroluje z podmínky pevnosti válcové části nádoby, která se nesmí při tažení přetřhnout. Je nutné uvažovat vliv tření a zpevnění materiálu.

Celkové přetvoření plechu při tažení je značné, celou nádobku nelze zpravidla vytáhnout v jedné operaci. Proto se první tah provádí mělký a o velkém průměru. Potom tažení pokračuje dalším tahem a to vždy na menší průměr. Současně roste výška výtažku. Počet tahů určuje poměr průměru přístřihu k průměru výtažku. Při vyčerpání plastičnosti je nutné provést mezioperační žíhání.

#### ▪ Speciální technologie zpracování plechů a pásů tvářením

Patří sem např. výroby nádob tzv. **kroužlením**, **tlačéním**. Rotační model nádoby se upevní na stroj spolu s nástřihem. Model s nástřihem se uvede do rotace a nástřih se přitlačuje zvláštními nástroji k modelu. Nástroje jsou na funkčním konci opatřeny buď třecím nebo valivým zakončením. Plech nástřihu se postupně přitlačuje a přetváří se v tvar modelu. Při tom dochází ke ztenčení tloušťky plechu. Kroužlení se používá v těch případech, kde tažení vyžaduje příliš velký počet operací a nebo není možné.

Pro tvářením s požadavkem většího zdvihu (např. hlubší tah) je jako pružné prostředí výhodnější tlaková kapalina. Proces bývá často uváděn pod názvem **hydromechanické tažení**.

V poslední době se často využívá možnosti tvářením velkými energiemi získanými **explozí** trhavin buď ve vzduchovém prostředí nebo ve vodě.

## 4.5 Technologie zpracování plastů

Ke zpracování plastů se používá řada technologií. Použitelnost způsobu zpracování plastů je závislá jednak na technologických vlastnostech zpracovávaného plastu, jednak na tvaru a funkci výrobku, kterou má během své životnosti plnit. Podle vztahu mezi plastem vstupujícím do procesu a výsledkem tohoto procesu lze technologie pro zpracování plastů rozdělit do následujících skupin:

- **tvářecí technologie** – zahrnují technologie, při kterých se tvar výchozího materiálu mění zásadním způsobem, tzn. že dochází ke značnému přemístování částic materiálu. Tváření probíhá za působení teploty a tlaku nebo obou vlivů současně. Patří sem vstřikování, vytlačování, lisování, válcování, ale i odlévání, laminování, vypěňování, apod. Výsledkem je buď výroba konečného dílu a nebo výroba polotovaru.

- **tvarovací technologie** – zahrnují technologie, u kterých se vychází z polotovaru a hmota mění tvar bez velkého přemístování částic. Může se uplatňovat vliv zvýšené teploty i tlaku, ale také nemusí. Patří sem tvarování desek, výroba dutých těles, ohýbání trubek, obrábění plastů, spojování a spékání plastů.

- **doplňkové technologie** – slouží k úpravě vlastností hmoty před zpracováním (míchání a hnětení, sušení, granulace, předehřev, atd.) a nebo naopak k úpravě finálních výrobků (potiskování, natírání, atd.) a také recyklace.

Je zřejmé, že se u jednoho druhu plastu při výrobě finálního výrobku můžeme setkat s technologiemi, patřícími do všech skupin. U každé technologie lze zpravidla vyčlenit tři fáze, které tvoří: příprava hmoty nebo polotovaru; vlastní zpracovatelský proces; dokončovací operace.

Plasty se zpracovávají při takových termodynamických podmínkách, které umožňují dodat jim požadovaný tvar, aniž by byly nepříznivě ovlivněny jejich fyzikální nebo mechanické vlastnosti. Pro tváření, které je provázeno menšími či většími přesuny hmoty, je nutné převedení materiálu do viskózně tekutého stavu (u amorfních plastů nad **teplotu viskózního toku**  $T_f$ , u krystalických plastů nad **teplotu tání**  $T_m$  a u reaktoplastů nad teplotu  $T_f$ , ale pouze do doby, dokud neproběhlo zesíťování). Čím větší přesuny hmot se požadují, tím musí být teplota vyšší, ale pouze tak, aby se nepřekročila teplota rozkladu. Na druhé straně existuje jak pro amorfní, tak i pro krystalické plasty **teplota zesíťování**  $T_g$ , pod kterou přechází plast do stavu sklovitého. Přejížděnou oblastí je stav kaučukovitě elastický.

### 4.5.1 Přípravné technologie

Před zpracováním plastů musí být nejdříve upravena **fyzikální a chemická struktura**, musí být do plastů přidány určité přísady (změkčovadla, tepelné nebo světelné stabilizátory, nadouvadla, barviva, plniva, apod.), musí se odstranit těkavé podíly (voda, monomer, atd.) a musí být plastům dána určitá forma (tvar) pro další zpracování (prášek, granule, apod.), k čemuž slouží přípravné operace. Patří sem **míchání, hnětení, granulace, tabletování a sušení**.

### 4.5.2 Vstřikování plastů

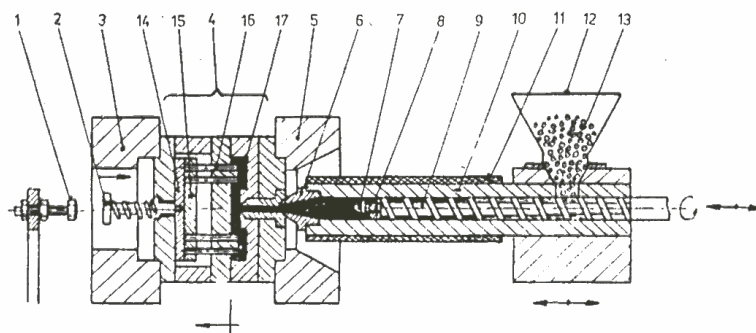
Vstřikování je způsob tváření plastů, při kterém je dávka zpracovávaného materiálu z pomocné tlakové komory vstříknuta do dutiny formy. Tlaková komora je součástí vstřikovacího stroje a zásoba vstřikovaného materiálu se v ní stále doplňuje

během cyklu. Vstřikování patří k nejrozšířenějším a nejdůležitějším technologiím zpracování termoplastů. Výrobky zhotovené vstřikováním se vyznačují velmi dobrou rozměrovou i tvarovou přesností a vysokou reprodukovatelností mechanických a fyzikálních vlastností. Jejich tvar může být velice jednoduchý, ale stejně tak i značně složitý a jejich hmotnost může činit třeba jen zlomky gramu, zatímco nejtěžší výrobky váží až několik desítek kilogramů. Vstřikovací proces probíhá na moderních strojích většinou plně automaticky, takže se dosahuje vysoké produktivity práce. K přednostem vstřikování rovněž patří vysoké využití zpracovávaného materiálu, které se často blíží 100 %. Tím se splňují požadavky kladené na bezodpadovou technologii. Pořizovací cena strojního zařízení i vstřikovací formy je však značně vysoká. Technologie je proto vhodná pro velkosériovou a hromadnou výrobu.

#### ▪ Vstřikování termoplastů

Vstřikováním lze zpracovávat téměř všechny druhy termoplastů. K nejčastěji vstřikovaným termoplastům patří polyolefiny (PE, PP), styrenové plasty (PS, SB, SAN, ABS) a dále PA, PC, POM, PPO, PET a další. PVC vyžaduje pro vstřikování speciálně upravené složení.

Vstřikování je dějem cyklickým. Vstřikovací cyklus tvoří sled přesně specifikovaných úkonů. **Princip vstřikování** je následující: Plast ve formě granulí se nasype do zásobníku vstřikovacího stroje (viz. obr. 4.34.). Odtud přichází do tavící komory, vyhřívané odporovými pásy, kde působením tepla taje (**plastikace**) a v roztaveném stavu je vstřikován a dotlačován (**dotlak**) pohybem šneku nebo pístu do dutiny vstřikovací formy. **Forma** je kovová a temperována na požadovanou teplotu dle druhu plastu většinou pomocí vody. Hmota zcela zaplní dutinu formy, čímž zaujme její tvar a ochlazením přejde do tuhého stavu. Potom se forma v dělicí rovině otevře a výrobek je vyhozen pomocí vyhazovacího systému ze vstřikovací formy. Nato se forma opět zavře a celý cyklus se opakuje. Při popisu vstřikovacího cyklu je nutno jednoznačně definovat jeho počátek. S výhodou lze za počátek cyklu považovat okamžik odpovídající impulsu k uzavření formy. Vstřikovací cyklus však můžeme posuzovat i z hlediska zpracovávaného plastu a s výhodou jej vyjádřit jako závislost tlaku v dutině formy na době. Tento tlak se nazývá **vnitřní tlak** a značí se  $p_i$ . Kromě vnitřního tlaku existuje i **vnější tlak**, označovaný  $p$ , kterým se myslí tlak vztažený na jednotku plochy průřezu šneku.



Obr. 4.34.: Schéma vstřikovacího stroje - šneková plastikace (1 – doraz, 2 – tyč vyhazovače, 3, 5 – upínací desky, 4 – forma, 6 – vstřikovací tryska, 7 – špička šneku, 8 – zpětný uzávěr, 9 – šnek, 10 – tavící komora, 11 – topná tělesa, 12 – násypka, 13 – granule plastu, 14 – deska vyhazovačů, 15 – kotevní deska, 16 – vyhazovače, 17 – výstřík)



Výrobek získaný vstříkáním se nazývá **výstřík**. Velikost stroje je určena maximální hmotností výstříku (včetně hmoty ve vtokových kanálech), který je možno na stroji vyrobit při jednom pracovním zdvihu šneku – **vstříkovací kapacita  $Q_v$** . Důležitými údaji jsou i **plastikační kapacita  $Q_p$**  (množství hmoty v kg, které lze na daném stroji převést do plastického stavu za jednu hodinu), **přisouvací síla  $F_p$**  (síla při zavírání formy) a **uzavírací síla  $F_u$**  (síla, která drží formu v zavřeném stavu během vstříkávání).

#### ▪ **Vstříkování reaktoplastů**

Kromě vstříkování termoplastů se mohou vstříkovat i reaktoplasty. V současné době se zpracovává asi 30 % reaktoplastů vstříkáním. Vstříkáním lze prakticky zpracovávat veškeré druhy reaktoplastů. Oproti lisování reaktoplastů má vstříkování pryskyřic tyto výhody: předeřev hmoty, dávkování, plastikace a vstříkávání se uskutečňuje v jedné jednotce, použití mnohem kratších vytvrzovacích časů, není zde technologický odpad, proces lze automatizovat.

Hlavní rozdíl mezi zpracováním termoplastů a reaktoplastů spočívá jednak v rozdílné závislosti viskozity na teplotě a jednak v tom, že místo doby chlazení je zde doba vytvrzování. Forma se nechladí, ale je vyhřívána na **vytvrzovací teplotu** (dle druhu reaktoplastu na 150 °C až 190 °C) a doba cyklu je v podstatě dána dobou vytvrzování, kdy hmoty s lepší tekutostí potřebují delší vytvrzovací časy. Kromě těchto rozdílů se liší hlavně šnek, který má potlačenu kompresní část, aby nedošlo k přílišnému smykovému namáhání a tím k předčasnému vytvrzení a také stroje musí vyvinout vyšší kroutící momenty a vyšší vstříkovací časy. Ostatní činnosti jsou obdobné, jako u vstříkování termoplastů.

#### ▪ **Vstříkování strukturních pěn**

Výrobky ze strukturních pěn mají kompaktní povrchovou vrstvu a napěněné jádro. Plasty pro výrobu strukturních pěn jsou nadouvány přidávkem 0,7 až 3 % chemického nadouvadla nebo fyzikálně přidávkem uhlovodíků a výrobky jsou ve fázi plnění dutiny formy asi o 10 % vypěněny. Objemem přidaného nadouvadla lze získat buď lehký nebo těžký výstřík. Strukturní pěny lze zpracovávat na běžných vstříkovacích strojích s dostatečnou vstříkovací rychlostí. Oproti vstříkování termoplastů jsou v tomto případě chladicí časy mnohem delší v důsledku špatného přenosu tepla pěnou.

#### ▪ **Vstříkování sendvičů**

Při vstříkování sendvičů se využívá laminárního proudění taveniny v dutině formy. Do formy je nejdříve vstříknuta hmota, která tvoří povrchovou vrstvu výstříku a vzápětí je vstříknuta hmota, tvořící jádro výrobku. Sendvičové vstříkávání je velmi úspornou technologií, protože pro jádro výrobku je možné použít levný plast a nebo recyklát a pouze na povrch výrobku kvalitní materiál a i přesto lze dosáhnout přijatelných konstrukčních vlastností.

#### ▪ **GIT - vstříkování s plynem**

Jedná se o ekvivalent vstříkování termoplastů, kdy se do určitých míst výstříku (expanzi vnitřního jádra nebo pro vytvoření dutiny) přivádí plyn, většinou dusík, čímž se vytvoří výlisek o zdánlivě velkém průřezu, přičemž odpadne nutnost chladit velké

množství roztavené plastické hmoty. Výhodou GIT (gas injection technology) je snížení uzavíracích sil, snížení smrštění, délky cyklu, hmotnosti výrobku, nízká deformace ploch výrobků a zachování požadovaných mechanických vlastností. Tlak plynu přebírá funkci dotlaku. Je však velmi důležité kontrolovat směr pohybu plynu, ale i jeho rozdělení. Při vstřikování je nejprve vstříknut plast a potom teprve plyn. Současné vstřikování plastu a plynu není možné, protože by se plyn dostal na povrch výrobku. U tlustostěnných výstřiků dochází při použití plynu k redukci hmotnosti až o 50 % a ke zkrácení doby cyklu (doby chlazení) také až o 50 %.

#### ▪ **Vícekomponentní vstřikování**

Technologie vícekomponentního vstřikování se liší od vstřikování tím, že k jedné uzavírací jednotce jsou přiřazeny dvě (dvoukomponentní) nebo tři (tříkomponentní, ale i více) vstřikovací jednotky. Po vstříknutí prvního (menšího) výstřiku se forma otevře, je vyhozen vtok a následuje pootočení formy spolu s výstřikem k další vstřikovací jednotce. Tam je výstřik znovu uzavřen do nepohyblivé části formy a je dostříknut do konečného tvaru. U tříkomponentního vstřikování se výstřik natáčí buď o 120° nebo o 180°.

#### ▪ **Hybridní technologie na bázi vstřikování**

Principem hybridních technologií je postup, kterým je tavenina plastu nastříknuta na jiný materiál (kov, textilie, aj.), čímž dojde ke spojení těchto dvou materiálů a ke vzniku jednoho výrobku s lepšími vlastnostmi. Zároveň dojde k úspoře hmotnosti materiálu, k zlepšení korozní odolnosti apod. Kromě plechu lze do formy vkládat i textilie a tkaniny z různých materiálů. Protože vlákna jsou do formy umístěna předem, tak se dá velice dobře řídit orientace vláken a jejich hustota ve výsledném dílu. Procentový obsah vláken musí být vysoký, aby se zabránilo odplavení polymeru, vyztužujícího vlákna mimo původní umístění (vstříknutím plastu změni svou polohu asi 30 % vláken).

### **4.5.3 Vytlačování termoplastů**

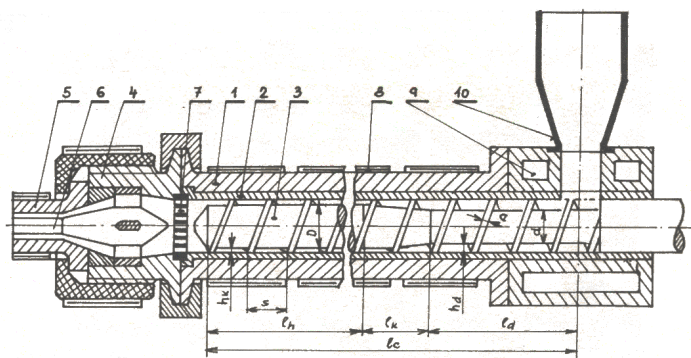
Vytlačování patří k jednomu z nejrozšířenějších způsobů tváření plastů. Od vstřikování se liší tím, že se jedná o proces kontinuální, při kterém je plast vytlačován přes profilovací otvor (hubici) do volného prostoru. Potřebný tlak je dán otáčkami šneku. Nejčastěji se používá pro zpracování polyvinylchloridu (PVC), polyolefinů (PE, PP) a pod. Stroje, používané pro zpracování plastů, se jednak dělí na **pomaloběžné** a **rychloběžné** (hranicí je obvodová rychlost šneku  $0,5 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ ) a jednak podle konstrukce na pístové, šnekové a diskové. U rychloběžných strojů se třením vyvíjí tak velké množství tepla, že stačí k roztavení hmoty a ohřev je potřebný pouze při rozběhu. K vytlačování se nejčastěji používají **šnekové** stroje (viz. obr. 4.35.) a v omezené míře i stroje **pístové** a **diskové**. Pístové stroje jsou vhodné k vytlačování materiálů citlivých na teplotu, ale na druhé straně u nich není splněna podmínka nepřetržitého procesu. Diskové stroje využívají tzv. Weissenbergova efektu, který souvisí s viskoelastickými vlastnostmi tavenin plastů. Mezi výhody patří rychlá plastikace a dobré odplynění, tlaky jsou však poměrně malé.

Nejdůležitější částí nejenom vytlačovacího stroje je **šnek** (viz. obr. 4.34. a 4.35.), který se dělí na **obyčejný** (stejně stoupání závitu i stejná hloubka drážky po



celé délce šneku) a **diferenciální** (rozdílnou buď hloubku nebo stoupání závitu). Pro diferenciální šneky je charakteristický **kompresní poměr**, což je poměr objemů závitů šneku pro jedno stoupání na výstupu k objemu závitu pod násypkou. Šnek má tři vyhraněná pásma, lišící se hloubkou drážky. Pod násypkou je hloubka největší a toto pásmo se nazývá **vstupní** nebo **dopravní** ( $l_d$ ). Následuje pásmo **kompresní** neboli **přechodové** ( $l_k$ ), kde se hloubka drážky zmenšuje a plast taje a je stlačován. Poslední část šneku je **výstupní** neboli **homogenizační** pásmo ( $l_h$ ), ve kterém je hloubka nejmenší a dokončuje se plastikace a zajišťuje teplotní homogenizace.

Vytlačovací stroje jsou součástí jednotlivých a přesně nakonstruovaných technologických postupů „na míru“, kterých existuje velké množství a používají se např. k výrobě trubek, desek, profilů, fólií, apod.

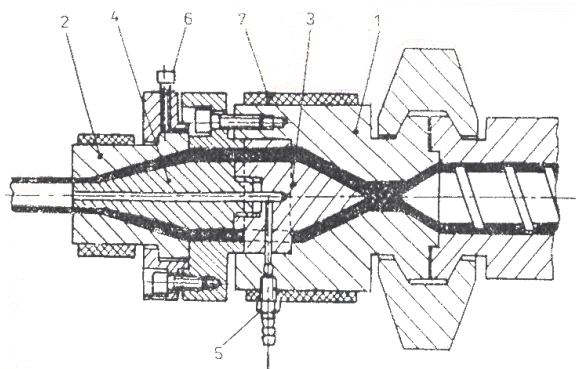


Obr. 4.35.: Jednošnekový vytlačovací stroj  
 (1 – pracovní válec,  
 2 – pouzdro, tavící komora,  
 3 – šnek, 4 – vytlačovací hlava,  
 5 – hubice, 6 – trn, 7 – lamač,  
 8 – topení, 9 – chlazení,  
 10 – násypka)

#### ▪ Výroba trubek a hadic

Při výrobě trubek a hadic se používá **přímých** vytlačovacích hlav (viz. obr. 4.36.), ve kterých je polohovatelný trn, který rozvádí plast ke stěnám hubice. Vytlačená trubka se ihned kalibruje (fixace rozměru a tvaru) a je odtahována přes ochlazovací zařízení k dalšímu zpracování (potisk, navíjení, řezání, atd.). Kalibrace se provádí buď **podtlakově**, **přetlakově** nebo **průvlakově**, aby nedocházelo ke zvětšování rozměrů vlivem elastického odpružování taveniny plastu, které jsou závislé na technologických podmínkách zpracování – teplotě a tlaku.

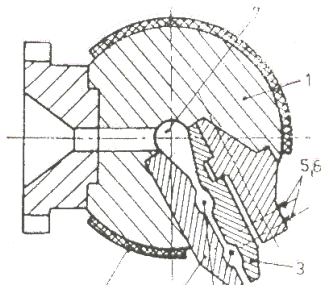
Stejným způsobem, jako se vyrábějí trubky, se vyrábějí i plné tyče a profily (např. okenní profily).



Obr. 4.36.: Přímá vytlačovací hlava na trubky  
 (1 – těleso hlavy, 2 – hubice,  
 3 – rozdělovač, 4 – trn, 5 – přívod  
 vzduchu, 6 – středící šroub, 7 – topné  
 těleso)

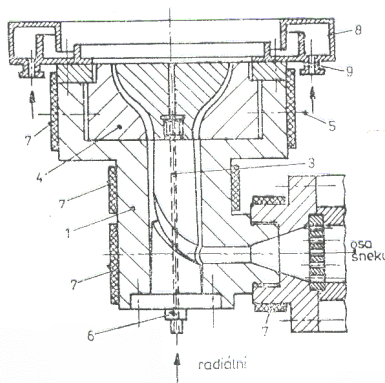
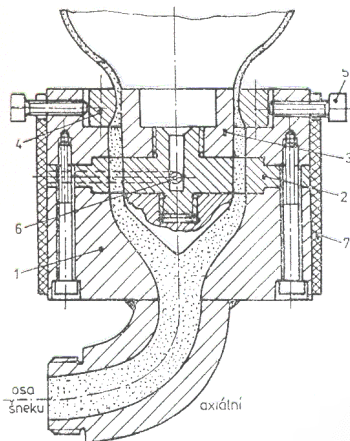
#### ▪ Výroba desek a fólií

Desky a fólie se vyrábějí vytlačováním hmoty plochou (viz. obr. 4.37.) nebo příčnou (viz. obr. 4.38.) hlavou.



Obr. 4.37.: Plochá hlava

(1 – těleso hlavy, 2 – spodní pevná čelist, 3 – horní stavitelná čelist, 4 – škrťací můstek, 5, 6 – stavěcí šrouby, 7 – příčný rozváděcí kanál, 8 – topení)



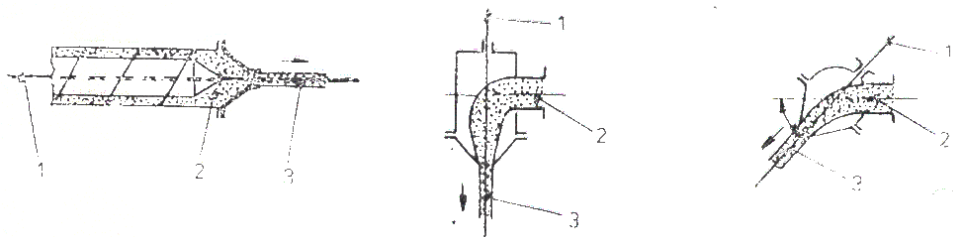
Obr. 4.38.: Příčné vytlačovací hlavy

(1 – těleso hlavy, 2 – rozdělovač, 3 – trn, 4 – hubice, 5 – stavěcí šrouby, 6 – přívod vzduchu, 7 – topení, 8 – chladič prsteneč, 9 – přívod chlad. vzduchu)

Hranicí mezi deskou a fólií je tloušťka 0,5 až 1 mm. Nad tloušťkou 1 mm jsou desky, pod 1 mm tloušťky jsou fólie. Čím je tloušťka menší, tím je obtížnější vytlačování provést (seřízení štěrby a tlaku v hubici). Kalibrace rozměrů je zajištěna průchodem desky nebo fólie válcovacím strojem. U příčných vytlačovacích hlav je do vytlačené trubky vháněn osou hlavy vzduch o přesném tlaku, který zajišťuje rozšíření průměru trubky a tím zmenšení tloušťky stěny. Následuje ochlazení okolním vzduchem.

#### ▪ Opláštění kabelů a vodičů

Opláštění je vytvoření souvislého povlaku na tuhém jádře a provádí se také na vytlačovacích strojích, opatřených přímou, příčnou nebo šikmou hlavou (viz. obr. 4.39.). Plášť může vznikat buď přetlakem ve vytlačovací hlavě nebo podtlakem vně vytlačovací hlavy. Rychlost opláštění závisí na tloušťce nanášené vrstvy, teplotě drátu a jeho materiálu.



Obr. 4.39.: Rozdělení opláštovacích hlav

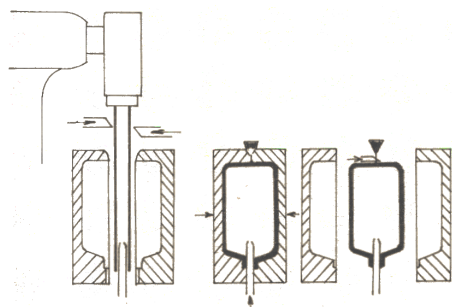
(vlevo - přímá hlava, uprostřed - příčná hlava, vpravo - šikmá hlava)

(1 – jádro, drát k opláštění, 2 – opláštovací materiál, 3 – opláštěný výrobek)

#### 4.5.4 Vyfukování plastů

Vyfukování je technologický postup výroby dutých předmětů rotačních, ale i nepravidelných tvarů. Mezi hlavní aplikace patří např. palivové nádrže, láhve a nádrže pro rozličné kapaliny, apod. Vyfukování plastů je technologie, při které se vhodný polotovár z termoplastu tvaruje ve vyfukovací formě (hliník a jeho slitiny) pomocí tlaku vzduchu do požadovaného tvaru. Vyfukování se podle druhu výroby dělí na **vytlačovací vyfukování** a **vstřikovací vyfukování**. Nejdelší částí vyfukování je chlazení výrobku po vyfouknutí a doba chlazení určuje výkonnost celého zařízení. Zkrácení doby chlazení vyžaduje především účinné chlazení formy a k tomu i rychlé a efektivní vnitřní chlazení. Nejčastěji používané chlazení vzduchem, popř. vodní mlhou, nepřináší očekávané zkrácení doby cyklu: přistupuje se proto k nastřikování kapalného dusíku nebo oxidu uhličitého, které zkracuje chladicí dobu skoro o 30 %. Důležitou činností je dokonalé odzdušnění vyfukovací formy, protože uzavřený vzduch by bránil přesnému zaplnění dutiny formy v důsledku malých vyfukovacích tlaků (1 až 2 MPa).

**Vytlačovací vyfukování** se v současné době používá pro více jak 90 % vyrobených dutých těles z plastů a nejčastěji se touto technologií zpracovávají polyolefiny (PE, PP), které zaujmají skoro 80 % spotřebovaného materiálu k výrobě dutých těles. Princip výroby spočívá ve vytlačení trubky (tzv. **parizonu**) z vytlačovacího stroje, která je stále ještě v plastickém stavu uzavřena do vyfukovací formy a tlakem vzduchu vyfouknuta do požadovaného tvaru (viz. obr. 4.40).



Obr. 4.40.: Postup výroby dutých těles z parizonu

Po ochlazení je výrobek vyjmut, začištěn a tlakově zkoušen. Vzduch je do vyfukovací formy přiváděn buď horem (kvalitnější dno) nebo spodem (kvalitnější hrdlo), příp. bokem. Přivádí se buď trnem nebo jehlou.

Nevýhodou vytlačovacího vyfukování je poměrně malá přesnost výrobků, poměrně velký odpad, svar v místech uzavření parizonu a poměrně velké množství dodatečných operací. Tak např. při výrobě palivové nádrže je odpad skoro 40 % hmotnosti parizonu a k vyfouknutému tělesu se ještě musí dodatečně po opracování přivařit hrdla a vypíchnout otvor pro palivoměr.

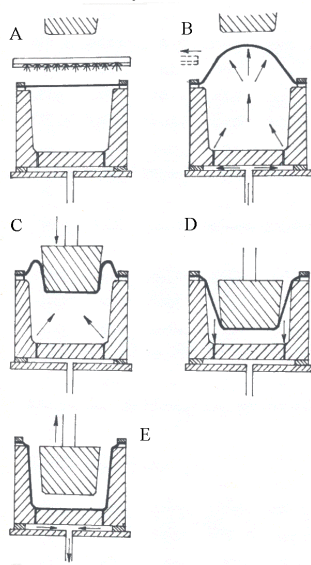
**Vstřikovací vyfukování** na rozdíl od vytlačovacího vyfukování je cenově náročnější, protože jsou potřeba dvě formy, vstřikovací a vyfukovací. Na druhé straně předlisek má mnohem vyšší přesnost tvarových částí a navíc lze vyrábět dutá tělesa s rovnoměrnou nebo proměnnou tloušťkou stěny. Výrobky mají lepší vzhled, tuhost, mnohem nižší propustnost plynů a par a nemají svar. Nevýhodou je poměrná složitost a omezená velikost výrobku.

Kromě těchto dvou základních technologií se používá i výroba dutých těles z fólií, kdy jsou dvě fólie sevřeny čelistmi kovové formy a mezi fólie se přivede horký vzduch, který fólie zplastikuje a vytvaruje podle dutiny formy. Výrobek má svar.

### 4.5.5 Tvarování plastů

Ve všech dříve uvedených operacích byl plast zpracováván v plastickém stavu. Při **tvárování za tepla** je postup zpracování odlišný. Plast ve formě polotovaru (fólie, desky) je předeřtý na teplotu odpovídající kaučukovitému stavu, pak je vhodným způsobem tvarován a po dosažení definitivního tvaru je ochlazen. V dnešní době se tvarováním zpracovávají desky do tloušťky 10 mm a fólie od tloušťky 0,1 mm. Typická je výroba velkoplošných výlisků.

Tvarování za tepla se provádí různými způsoby. Zásadně rozeznáváme **pozitivní** a **negativní** tvarování. Častěji používané negativní tvarování umožňuje širší variabilitu procesu tvarování uplatněním vakua, tlakového vzduchu, předtvarování tvárníkem či stlačeným vzduchem atd. Podle působícího tlaku se tvarování dělí na **mechanické** a **pneumatické**, které podle tlaku vzduchu lze potom rozdělit na tvarování **podtlakové**, **přetlakové** a **kombinované**. Při prostém tvarování se dosahuje stupně tvarování cca 40 % průměru formy, zatímco při použití předtvarování se dosahuje 100 až 250 %, v extrémních případech 400 až 500 % (viz. obr. 4.41.).



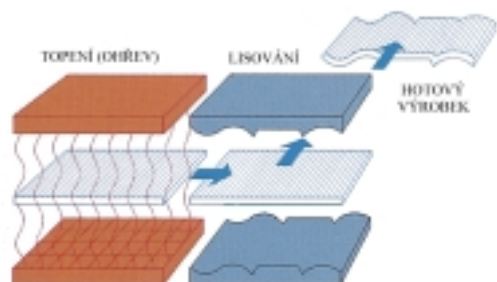
Obr. 4.41.: Negativní podtlakové tvarování s mechanickým a pneumatickým předtvarováním (A – ohřev, B – pneumatické předtvarování, C – mechanické předtvarování, D, E – dotvarování podtlakem)

Přetlakové tvarování se používá pro tvarování zvláště tlustých desek (10 mm a více) a nebo pro tvarování zvláště pevných materiálů. I zde může být použito předtvarování. Pro větší hloubky se používá předtvarování, které jednak zabraňuje předčasnému dotyku desky s formou a jednak zajišťuje rovnoměrné ztenčení stěny. Plocha tvárníku je max. 70 % celkové tvarované plochy a předtvarování je max. do 70 % hloubky konečného výrobku. Tvárník musí být z materiálu, který špatně vede teplo.

Při tvarování za tepla probíhají tyto operace: **ohřev**, **tvárování**, **ochlazení**, **vyjmutí** a **začištění** výlisku. Ohřev musí umožnit rovnoměrné ohřátí desek co největší rychlostí, ale bez poškození desek nadměrným tepelným namáháním. Desky do tloušťky 2,5 mm jsou ohřívány jednostranně, zatímco tlustší desky jsou ohřívány oboustranně. Většina plastů vyžaduje při oboustranném ohřevu dobu cca 10 s na 1 mm tloušťky. Rychlost tvarování musí být tak velká, jakou materiál dovolí a tvarovací síla musí působit po celou dobu chladnutí, aby nedocházelo k jeho deformaci. Nejdelší operací tvarovacího cyklu je chlazení. Dobrých výsledků lze dosáhnout při použití kovových forem s chladicími kanálky. Účinnost chlazení se dále zvětšuje

ofukováním povrchu vylisku stlačeným vzduchem (o 20 %), popř. vodní mlhou (o 70 %). Výrobky získané tvarováním za tepla je nutno vyjmout z formy a zbavit je okrajů, za které byly upnuty v upínacím rámu.

Kromě tvarování polotovarů pomocí tlaku vzduchu se k výrobě výtažků používá i mechanické síly (viz. obr. 4.42.). Hlavní oblastí použití této technologie tvarování (někdy bývá zařazena i mezi lisování) je výroba klasických dílů nebo dílů plněných vyztužujícími plnivými (vrstvenné hmoty), a to buď plošných vylisků, nebo objemových vylisků. Výhodou je vysoká produktivita práce, nevýhodou je vyšší cena oproti klasickému tvarování a také poměrně velký odpad.



Obr. 4.42.: Princip lisování z polotovarů

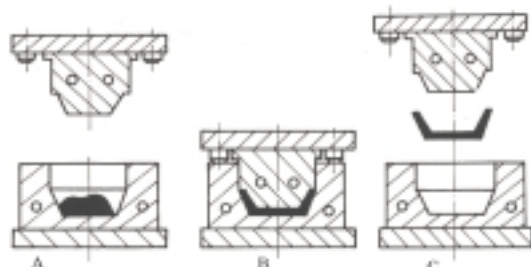
**Tvarovací formy** jsou vyráběny z materiálů, které jednak dobře odvádějí teplo, ale přitom nemusí být nijak pevné v důsledku malých tvarovacích tlaků a krátkodobého působení teploty. Obvykle jsou ze slitin hliníku. Konstruktivně jsou velmi jednoduché a tedy i levné, musí však být opatřeny odsávacími otvory.

Výhody technologie tvarování zahrnují nízké náklady na nástroje a ekonomickou malovýrobu, zatímco nevýhody zahrnují dlouhé doby cyklu a špatnou rozměrovou přesnost, resp. nerovnoměrné ztenčování stěny.

#### 4.5.6 Lisování a přetlačování reaktoplastů

Výhody lisování oproti vstřikování jsou následující: vnitřní prnutí ve vyliscích je minimální, nedochází k lámání vláken při zpracování, lze vyrábět tenkostěnné vylisky bez nebezpečí deformací, levnější formy a stroje.

**Lisováním** (viz. obr. 4.43.) se rozumí způsob tváření materiálu v kovové formě mezi tvárníkem a tvárnicí, při kterém hmota účinkem tlaku a teploty je tvářena do požadovaného tvaru.



Obr. 4.43.: Princip lisování termoplastů (A – vložení reaktoplastu do dutiny formy, B – lisování a vytvrzování, C – vyhození vylisku)

Cyklus lisování je obdobný jako u vstřikování pouze s tím rozdílem, že při lisování reaktoplastů musí dojít k **vytvrzení** a tedy doba chlazení je nahrazena **dobou vytvrzování** (ohřev formy), která výrazně ovlivňuje celkový cyklus výroby. Platí, že na každý milimetr tloušťky stěny vylisku je podle teploty zpracování a podle použité hmoty potřeba 15 až 60 s. Doba vytvrzování závisí kromě tloušťky výrobku

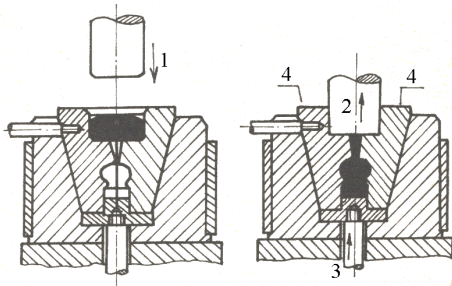


na druhu plastu a technologických podmínkách. Dalším rozdílem je dávkování hmoty do formy o větším objemu, než je objem dutiny formy: tato přebytečná hmota je na výrobku ve formě přetoku a po skončeném cyklu musí dojít k očištění nástroje. Důležitým parametrem je teplota formy (ovlivňuje jak plnění formy, tak i průběh vytvrzování), která musí být pro obě poloviny nástroje stejná. Lisovací formy jsou konstruovány jako jednonásobné nebo vícenásobné a jsou vytápěny elektrickými topnými patronami nebo pásovým topením.

Podle použitého **lisovacího tlaku** se rozlišuje lisování na **nízkotlaké** a **vysokotlaké** (hranicí je lisovací tlak 3,5 MPa).

Vlastní lisovací cyklus se skládá z několika po sobě jdoucích operací: **příprava** lisovací formy (očištění od přetoků, separace proti lepivosti, apod.), **plnění** formy buď práškem (vysoká prašnost) a nebo připravenými tabletami, uzavření formy a **lisování**, **odvzdušnění** formy (slouží k odstranění těkavých zplodin a probíhá za nižšího tlaku, než je tlak lisovací), **vytvrzování** (nejdelší část lisovacího cyklu), **otevření** formy a **vyhození** výrobku. Po vychladnutí vylisku následuje mechanické očištění přetoků (ručně nebo obráběním na strojích).

**Přetlačování** je takový způsob tváření reaktoplastů, při kterém se dávka plastu nevkládá přímo do tvarové dutiny formy, ale do materiálové komory, umístěné v ose formy. Odtud je zplastikovaná hmota přetlačena pístem přetlačovacími kanály do vlastní tvarové dutiny formy. Princip je na obr. 4.44.



Obr. 4.44.: Princip přetlačování reaktoplastů  
(1 – přetlačení vloženého plastu,  
2, 3, 4 – vyhození vylisku)

Přetlačovací cyklus je analogický s cyklem lisovacím pouze s tím rozdílem, že při vyhazování vylisku se musí současně z formy odstranit i hmota z přetlačovacích kanálků a materiálové komory.

Přetlačování oproti lisování umožňuje vyrábět vylisky tvarově mnohem složitější, s tenkými stěnami a bez přetoků. Na druhé straně je však ekonomicky náročnější v důsledku složitějších forem a rovněž množství nezpracovaného odpadu je vyšší.

#### 4.5.7 Odlévání plastů

Odléváním se zpracovávají některé druhy termoplastů (PMMA, PA, PVC) a reaktoplastové pryskyřice na výrobky spotřebního charakteru a výrobky s velkou tloušťkou stěny.

Přednost odlévání spočívá v tom, že probíhá bez tlaku a proto mohou být formy jednoduché konstrukce a z málo pevných materiálů (olovo, sklo, apod.) a výrobky mají minimální vnitřní pnutí. Z technologického hlediska se odlévání dělí na:

- přímé (statické), při němž se forma nepohybuje,
- odstředivé (rotační), při kterém forma rotuje podle jedné nebo více os.