

Nové možnosti rozvoje vzdělávání na Technické univerzitě v Liberci

Specifický cíl A3: Tvorba nových profesně zaměřených studijních programů

NPO_TUL_MSMT-16598/2022



Netřískové technologie



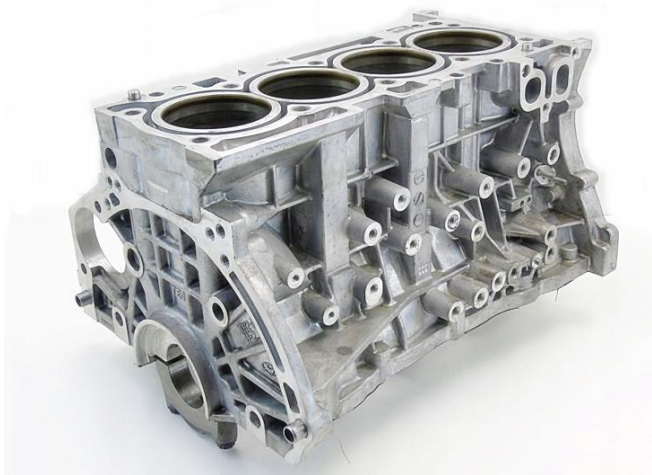
Ing. Pavel Brabec, Ph.D. - Ing. Robert Voženílek, Ph.D.

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. V úvodu zmíněné rozdělení strojírenských technologií na **netřískové** a **třískové** se v posledních letech rozšiřuje o zcela nový obor, ve kterém se pracuje v rozměrech 10^{-9} m a pro takové postupy byl zaveden název **nanotechnologie**.

Slévárství

Strojní slévárství představuje výrobu často velmi členitých a tvarově složitých odlitků s rádiusy a úkosal pro automobilový průmysl (výroba bloků a hlav motorů, brzdových kotoučů a bubnů, částí výfukového a sacího potrubí atd.), výrobu litých radiátorových těles ústředního topení, stojanů obráběcích a textilních strojů i výrobků pro domácnosti a také některé druhy šperků, zvony a další umělecké předměty.



Slévárenství

Slévárenské vlastnosti (slévatelnost): **tavitelnost, zabíhavost, smršťování**

Slévárenské materiály:

- Slitiny železa – nejpoužívanější materiály pro výrobu odlitků v pískových formách. Nejčastěji jde o litiny s různou formou grafitu (lupínkový, červíkový, kuličkový) a rovněž o oceli na odlitky (v poslední době je ocelolitina nahrazována litinou s kuličkovým grafitem)
- Slitiny hliníku – především slitiny Al – Si (siluminy)
- Slitiny mědi (mosazi, bronzy)
- Slitiny hořčíku a zinku

Pece pro tavení kovů: kuplovna, elektrická oblouková pec, elektrická indukční pec, plynová kelímková pec, elektrická odporová kelímková pec

Slévárenská forma: přípravek vyrobený ze žáruvzdorného materiálu, jehož dutina odpovídá svým tvarem negativu budoucího odlitku. Formy mohou být **trvalé** (kovové kokily pro tlakovému lití s mnohonásobným počtem odlití), **polotrvalé** (keramické, slouží pro více odlití) nebo **netrvalé** (pískové nebo keramické na jedno použití)

Způsoby odlévání: gravitační na licím poli nebo ve speciálních slévárenských strojích a zařízeních (tlakové, odstředivé, vakuové)

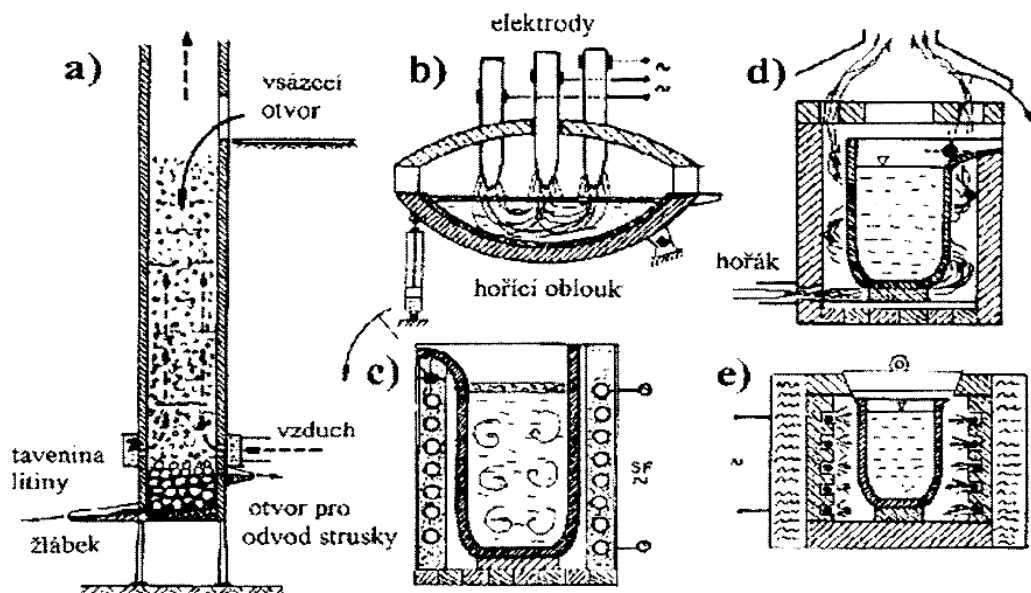
Kuplovna slouží pouze k tavení a přípravě litiny. Do kuplovny se vsází kovová vsázka, struskotvorné přísady (vápenec) a koks jako palivo. Dmýchání vzduchu zajišťuje procesy oxidačních reakcí, možnosti ovlivnění metalurgických reakcí jsou však omezené. Vyzdívka kuplovny má proti vysokým pecím nízkou životnost (pouze několik týdnů).

Elektrická oblouková pec je určena především pro tavení ocelí na odlitky. Teplota elektrického oblouku je cca 3200 °C, tekutý kov je krytý aktivní struskou, která umožňuje upravovat obsah nežádoucích nečistot.

Elektrická indukční středofrekvenční pec využívá elektrických vířivých proudů v kovové vsázce, vložené do nádoby z nevodivého materiálu. Tavení probíhá velmi rychle, s vysokou účinností s minimální ztrátou propalem. Používá se k tavení legovaných ocelí a speciálních litin.

Plynová kelímková pec je určena pro tavení neželezných kovů. Při spalování plynu vzniká riziko sycení taveniny vodíkem, který v atomárním stavu může do taveného materiálu proniknout přes stěny keramického kelímku.

Elektrická odporová kelímková pec se používá pro tavení slitin hliníku, kelímek se ohřívá sálavým teplem odporové topné spirály.



Před odléváním se musí kontrolovat teplota taveniny, musí se odstranit struska a u neželezných kovů se provádí čištění taveniny pomocí rafinačních solí. U litin se před odlévání provádí tzv. očkování, které zajišťuje průběh krystalizace s tvorbou vhodné formy grafitu v odlitku. U litiny se často provádí odlití zkušebních tyčí (vzorků), na kterých kontrolují mechanické vlastnosti (pevnost, tvrdost).

Model - je základní pracovní pomůckou, která slouží k výrobě dutiny formy. Vyrábí se ze dřeva (dnes již to jsou dřeva umělá), rozměr modelu je proti odlitku větší o tzv. **smrštění**, které závisí na použitém odlévaném materiálu. Model rovněž musí obsahovat potřebné úkosity pro spolehlivé vyjímání modelu z upěchované formy.

Výkres odlitku a schéma modelu (modelového zařízení), jaderníku s jádrem (další součást modelového zařízení) a složené pískové formy.

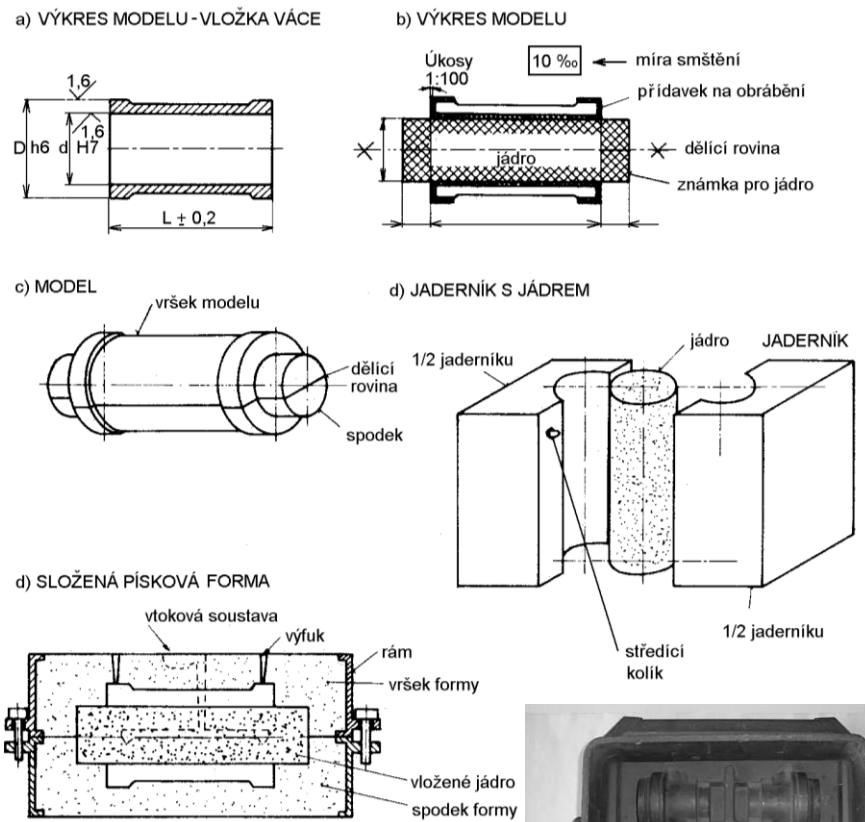
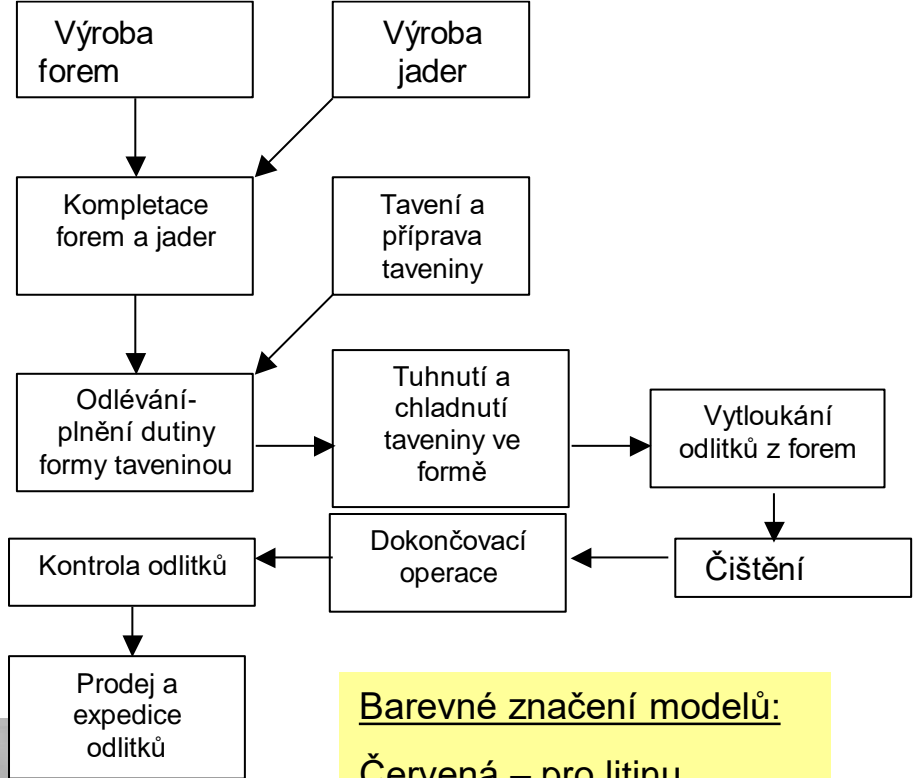


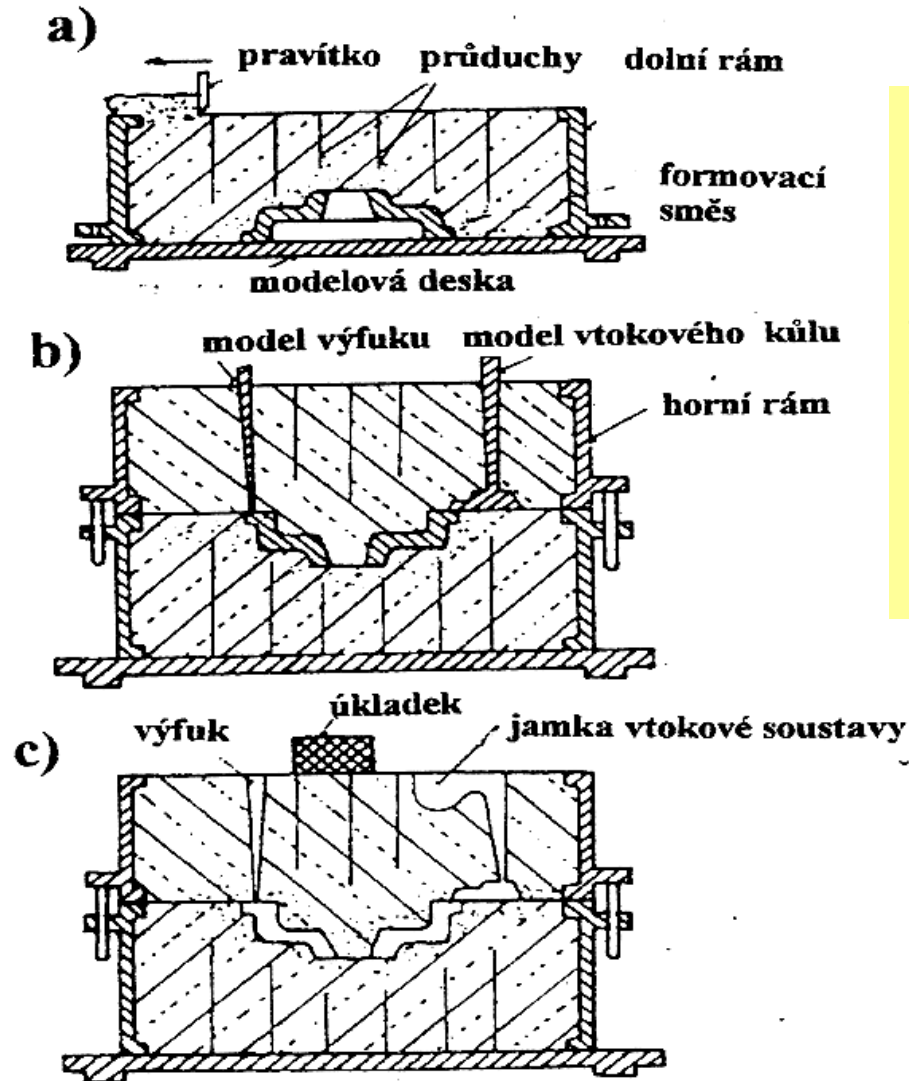
Schéma slévárenské výroby do pískových forem:



Barevné značení modelů:
 Červená – pro litinu
 Modrá – hliník.slitiny
 Šedá – hořčíkové slitiny



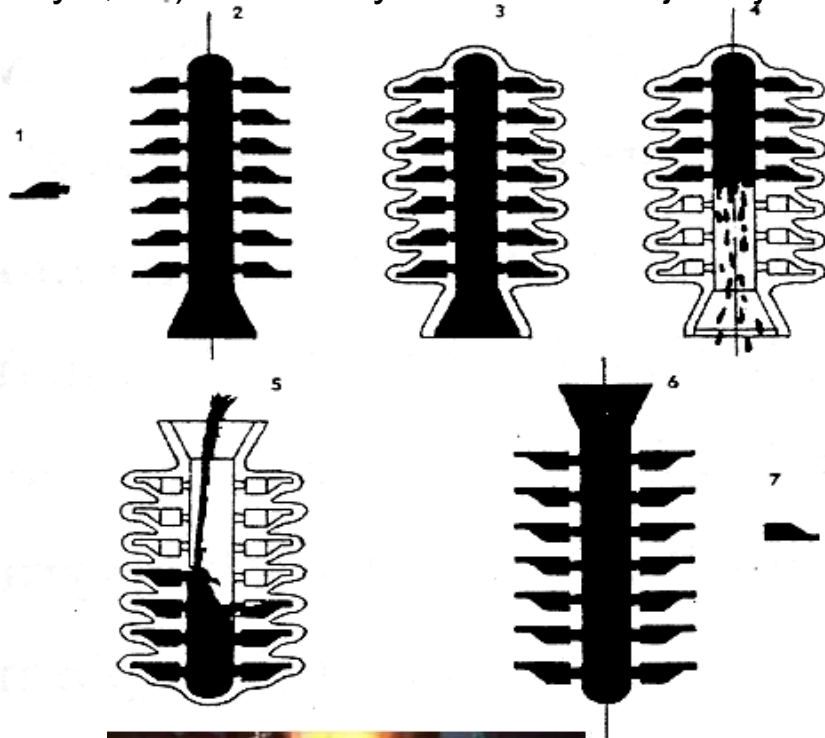
Schéma dílů formy a postup při ručním formování pískové formy



V moderní průmyslové výrobě odlitek se uplatňuje strojní výroba pískových forem s mechanizací při plnění rámu formovací směsí, které zrychlí celý proces výroby forem a odstraňují fyzicky namáhavou práci. Zručnost a zkušenost formíře a dalších slévárenských profesí jsou důležitou podmínkou pro bezproblémové lití do pískových forem a pro zhotovení kvalitního odlitku.



Schéma výroby odlitků pomocí vytavitelného (ztraceného) modelu: Tímto způsobem se zhotovují velmi hladké a rozměrově přesné odlitky (součástky šicích a textilních strojů, automobilový průmysl, ...). Odléváním materiálem je nejčastěji ocel na odlitky.



- 1 – voskový model součástky
- 2 – sestavený voskový stromeček
- 3 – obalený stromeček
- 4 – vytavení voskového modelu
- 5 – odlévání
- 6 – odlitý stromeček po odstranění keramické skořápky
- 7 – odlitek

Výroba keramické skořápky (formy):

Ponořením sestaveného stromečku do etylsilikátové břečky, po vytažení zasypání křemičitým pískem – proces se několikrát opakuje k získání dostatečně tlusté vrstvy. Takto připravená forma se vloží do pece, vytaví se vosk a při teplotě 900 °C se forma vypaluje. Pokud je skořepina dostatečně tuhá (je „samonosná“), lze do ní odlévat přímo: pokud by neměla dostatečnou pevnost, vloží se do rámu a zasype se křemičitým pískem. Před odléváním se forma předehřeje na teplotu 350 °C.



Tlakové lití:

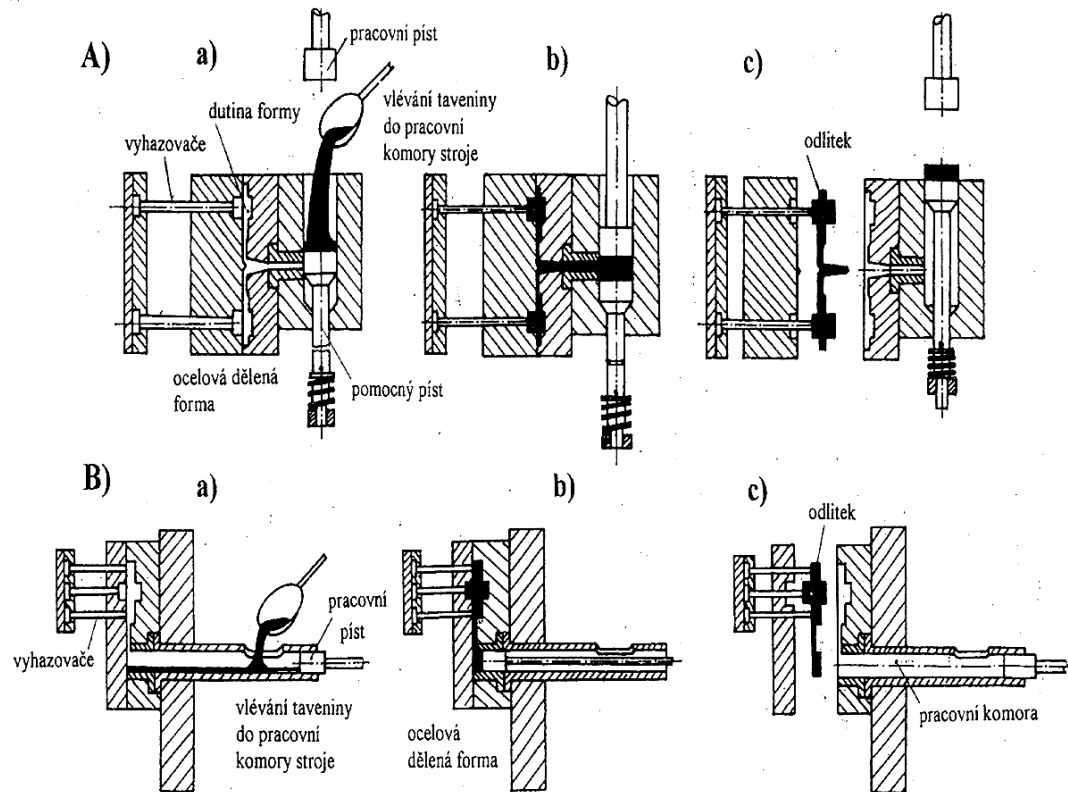
Vysokotlaké (tlak 2 až 500 MPa), tlak vzniká působením pístu na taveninu v licím stroji (bloky motorů, ...).

Nízkotlaké (tlak 0,03 až 0,5 MPa), tlak vzniká tlakem plynu (často vzduchu) na hladinu taveniny.

A – vertikální licí komora, B – horizontální licí komora

Postup výroby tlakového odlitku: (a) – odlévání do pracovní komory, (b) – doprava taveniny tlakem pístu do formy, (c) – otevření formy a odstranění odlitku tzv. vyhazovači z formy

Schéma vysokotlakého lití

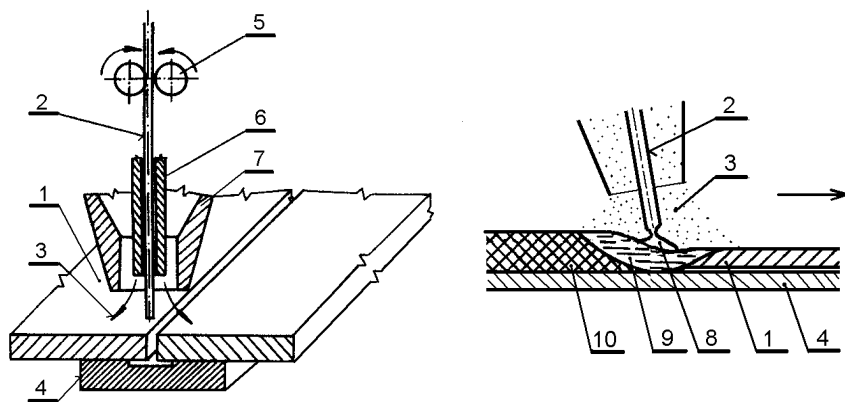


SVAŘOVÁNÍ

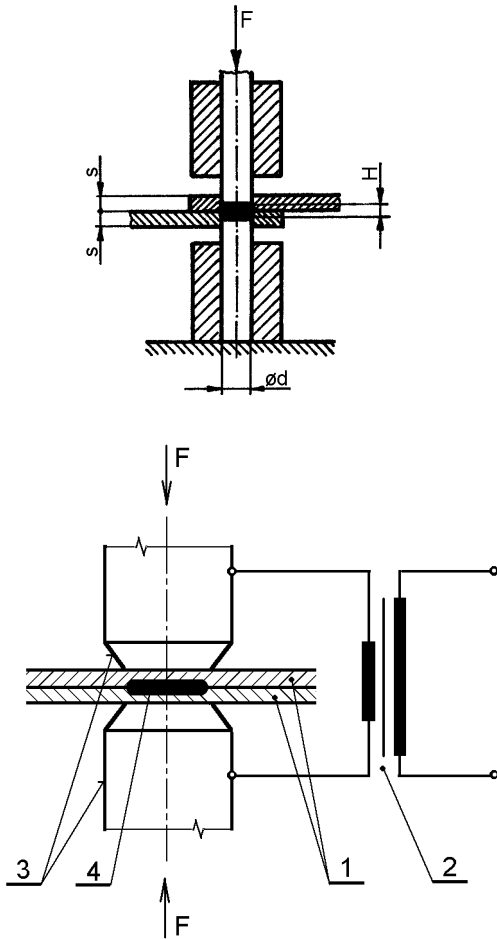
Jde o nejdůležitější a nejčastěji používané technologie spojování kovových i některých nekovových materiálů. **Svařování** je definováno jako proces vytváření nerozebíratelných spojů (svarové spoje) **prostřednictvím meziatomových vazeb** mezi spojovanými díly při jejich ohřevu nebo plastické deformaci, nebo při společném působení obou faktorů (vzniká kohezní – soudržný spoj).

Metody svařování nejčastěji rozdělujeme podle podmínek vzniku svaru na dvě skupiny. Při **tavném svařování** (plamenné – autogenem, elektrickým obloukem) vytváříme svar lokálním ztavením spojovaných částí bez působení tlaku. Svařování, při kterém je tlak nezbytný, se označuje jako **svařování s použitím tlaku** (tlakové svařování - svařování elektrickým odporem, tj. bodové, švové, ...).

Schéma metody obloukového svařování v ochranné atmosféře:

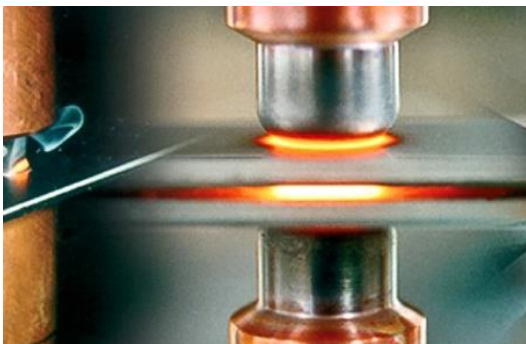


Bodové svařování tlakem za studena:



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. Základními svařovacími parametry jsou tedy síla, svařovací proud a čas. Plastické deformace vyvolané vnější 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).

Napětí a proud při odporovém svařování: $U = 2$ až 10 V, proud $I = 10.000$ až 150.000 A

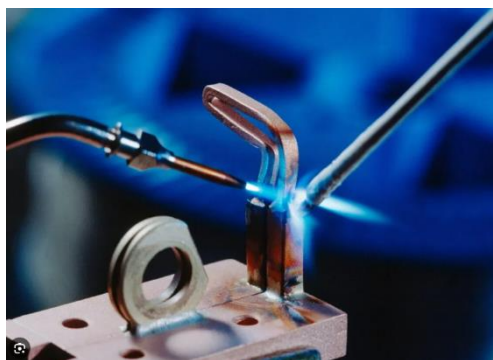


Pájení – spoj vzniká adhezí roztaveného přídavného materiálu (pájky) k povrchu spojovaných dílů. Pájení lze použít pouze pro určité materiály. Pájením vzniká adhezivní (přilnavý) spoj

Pájky: měkké (cínové) – pro elektrotechniku (teplota pájených ploch je 50 - 200 °C),
klempířské (45% Sn, 55% Pb, teplota tavení pod 450 °C).
tvrdé (měděné, mosazné, stříbrné) – vyznačují se pevností až 300 MPa (pro zhotovování spojů, v opravárenství).

Tavidla: chemická látka (chloridy a fluoridy alkalických prvků), které rozpouští oxidy na spojovaných plochách a významně zlepšují přilnavost pájky.

Pájedla: pomůcky k ohřevu spojovaných dílů a tavení pájky.



Řezání kyslíkem – nízkouhlíková ocel při teplotě cca 1200 °C (zápalná teplota, která je nižší než tavící teplota) se v proudu kyslíku spaluje a ze vznikající mezery se proudícím kyslíkem odstraňují tekuté oxidy železa. Okraj řezaného materiálu se předehřívacím plamenem ($C_2H_2 + O_2$) ohřeje na zápalnou teplotu a poté se přivede zvláštní tryskou řezací kyslík. Pro řezání materiálu tl. 4 až 10 mm je tlak řezacího kyslíku cca 0,3 MPa.

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.

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.

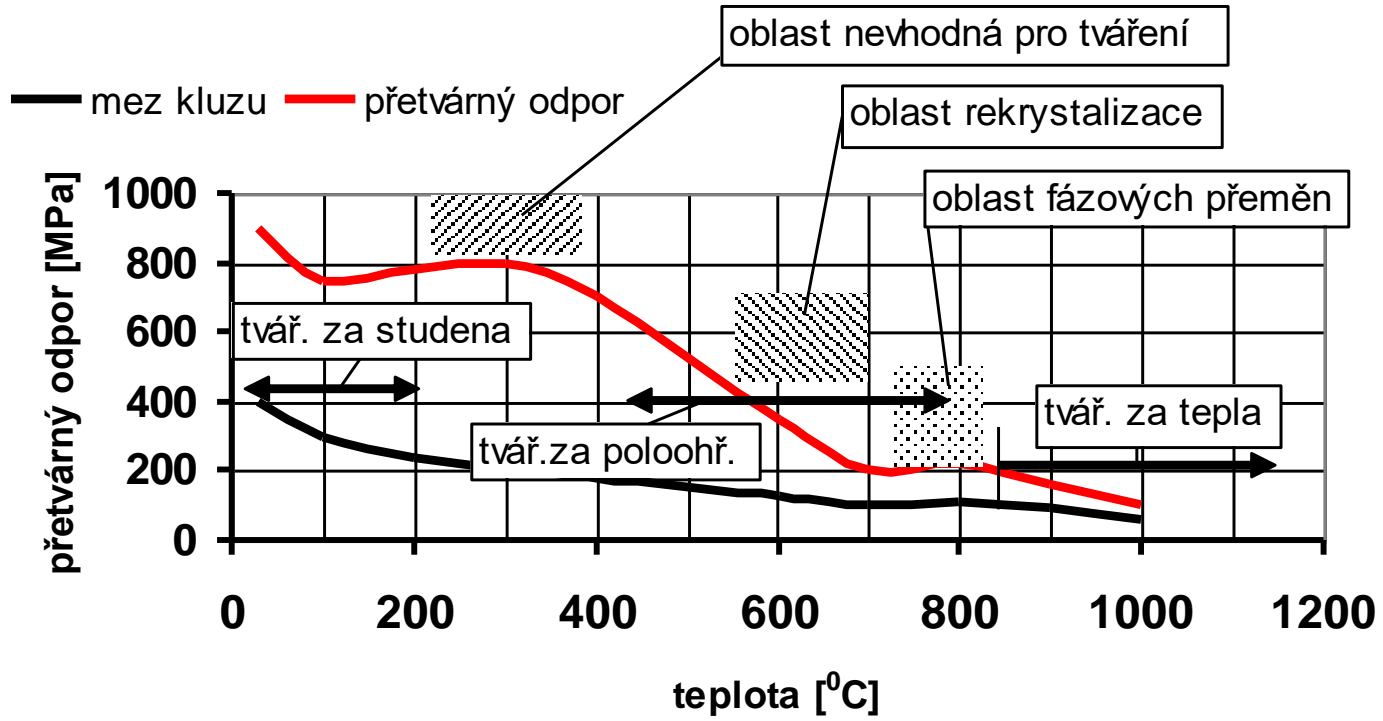
Nejdůležitější rozdělení technologií pro zpracování kovů je podle fyzikální podstaty dějů, tzn. podle vztahu teploty tvářeného materiálu k **teplotě rekrytalizace** (přibližně 0,4 teploty tání kovu).

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**. Zpevněním se zvyšují mechanické hodnoty (mez pevnosti a mez kluzu) a klesá tažnost. Výhodou je vysoká přesnost rozměrů, kvalitní povrch (nenastává okujení) a zlepšování vlastností zpevněním. 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 od teplot těsně pod rekrytalizační oblastí.

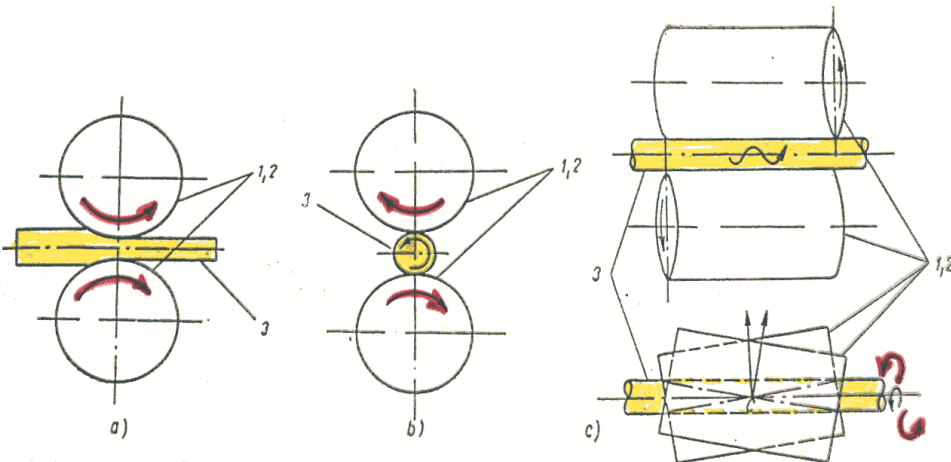
Obecná závislost mechanických vlastností ocelí na teplotě (zjednodušeně): skutečné průběhy závislosti meze kluzu a přetvárného odporu jsou ovlivněny druhem oceli. Vyznačené oblasti tváření a velikost přetvárného odporu se mění i podle rychlosti a velikosti tváření.



Tváření kovů se dělí na:

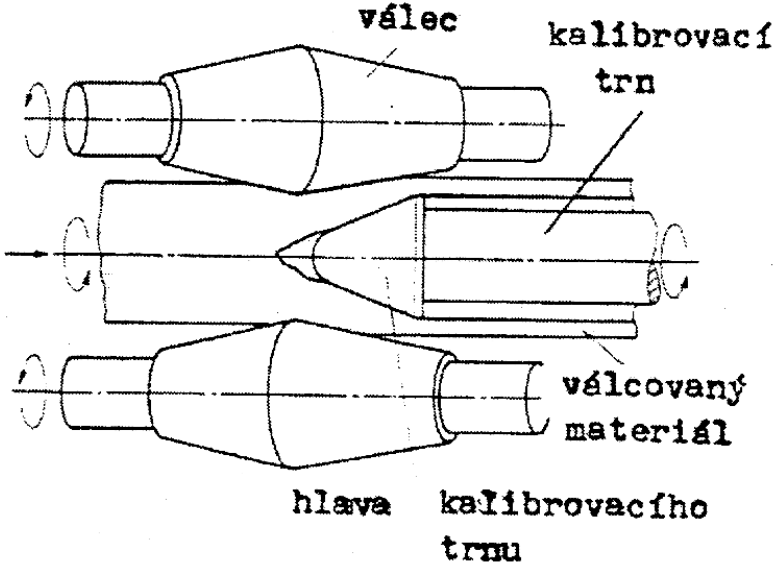
Tváření objemové, při kterém deformace nastává ve směru všech tří os souřadného systému a patří sem válcování, kování, protlačování, tažení drátů.

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

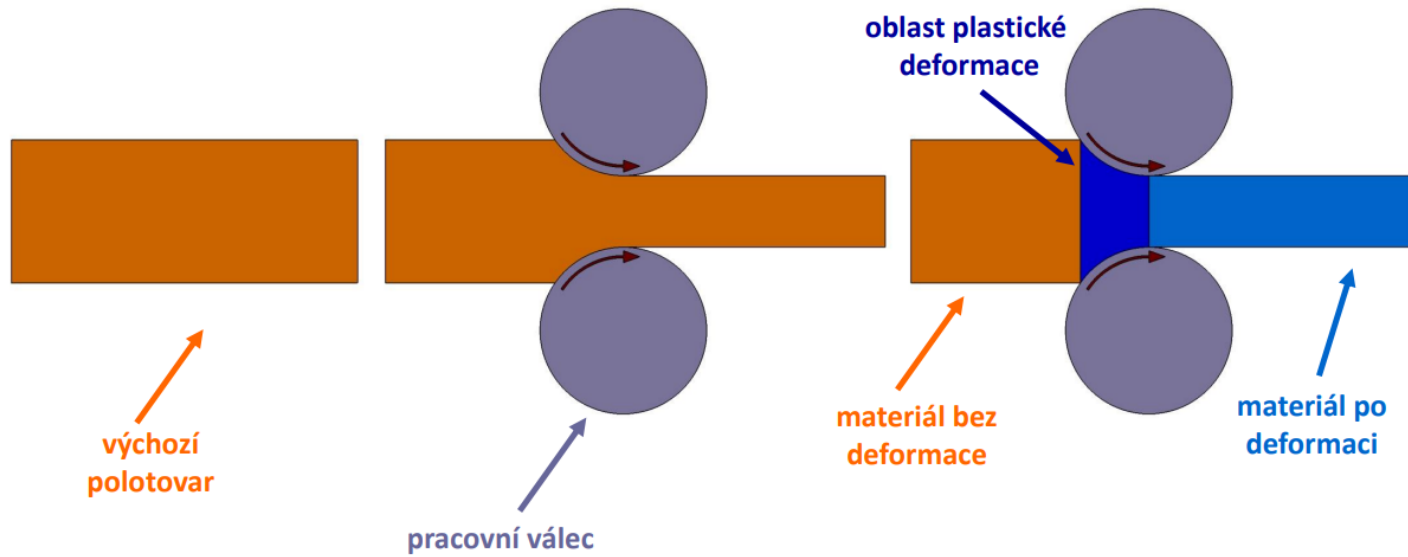


Princip podélného (vlevo), příčného (uprostřed) a kosého (vpravo) válcování (1, 2 – válce, 3 – materiál)

Kosé válcování bezešvých trubek: materiál se posouvá ze středu průřezu ven směrem k obvodu, který se zvětšuje a tím dochází k tvorbě vnitřních trhlin – k děrování: vzniklá díra má nepravidelný tvar a proto se kalibruje trnem.



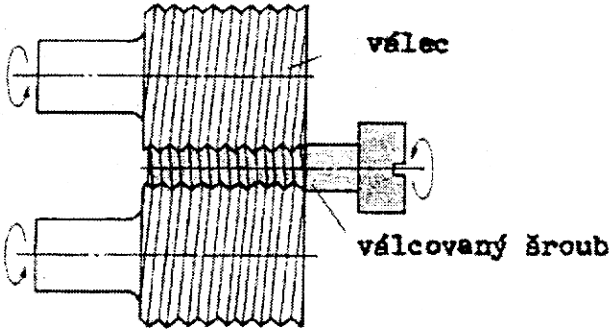
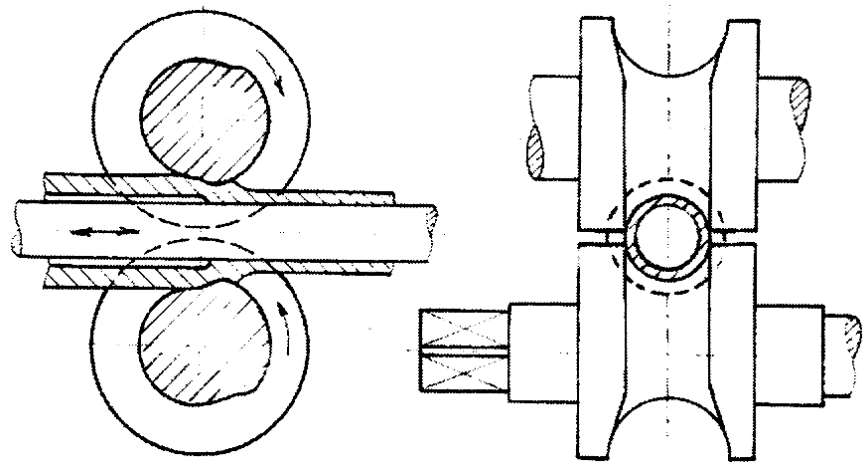
Podélné válcování



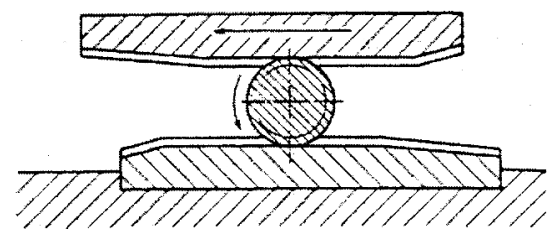
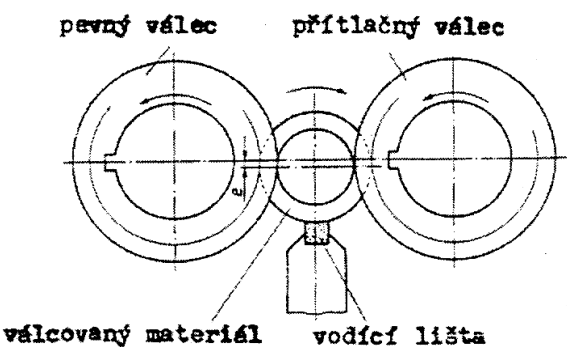
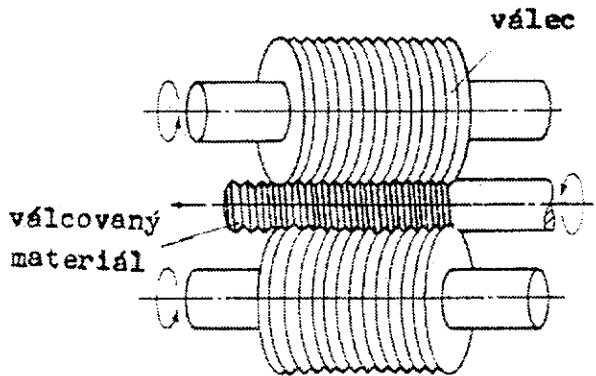
Příčné válcování závitů



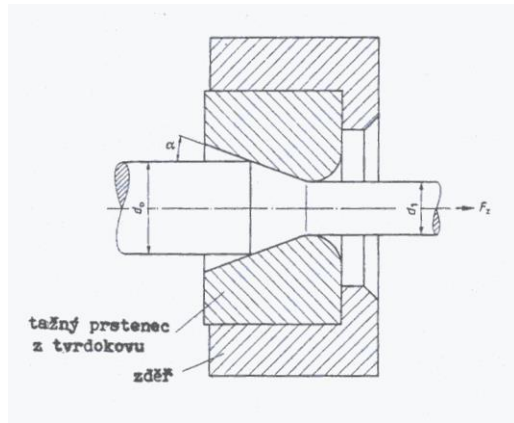
Polotovar z kosého válcování se upravuje na menší průměry válcováním na poutnické stolici: válcuje se na trnu, vývalek je osově po krocích posouván s částečným zpětným posuvem (odtud název *poutnická stolice*).



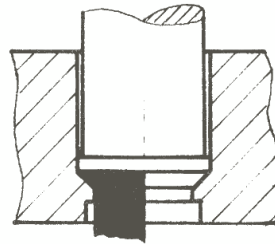
Válcování závitů: nástroj se při odvalování postupně zatlačuje negativem reliéfu požadovaného závitu do válcovaného polotovaru



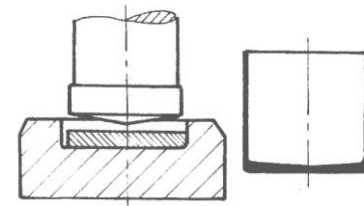
Tažení drátů a profilů



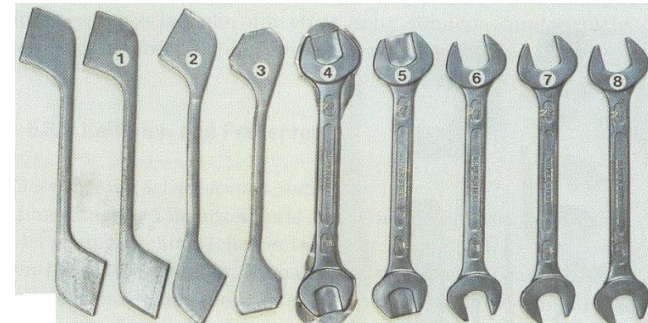
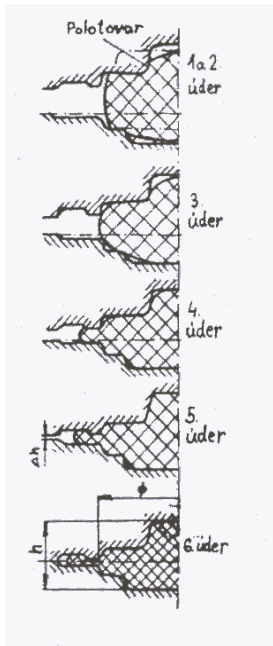
Protlačování dopředné



Protlačování zpětné

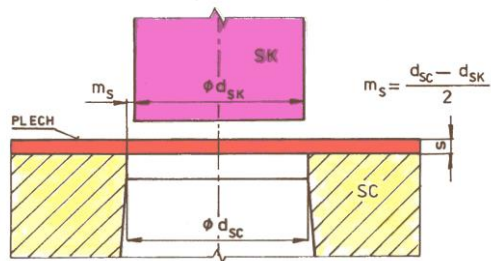


Kování zápustkové



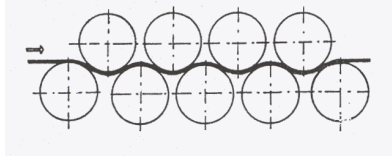
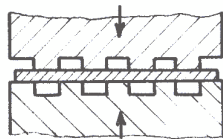
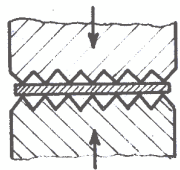
Technologie plošného tváření

Technologie plošného tváření se týká tváření při němž je třetí hlavní deformace zcela zanedbatelná a výchozím polotovarem je přístřih plechu, tj. materiálů charakteristických převažováním dvou rozměrů nad třetím (děrování, vystřihování, ostřihování, přistřihování, atd.)



Střihání

Ohýbání pomocí nástroje - **ohýbadla**, skládajícího se z ohybníku a ohybnice. Ohnutí tělesa (vzniklé tvary jsou napět 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**.

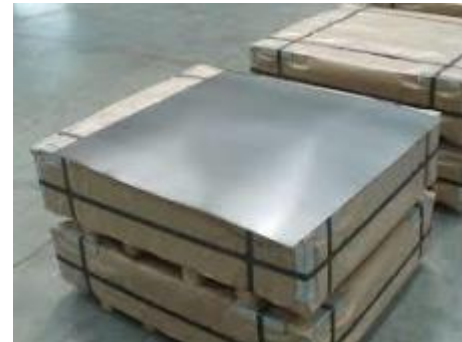
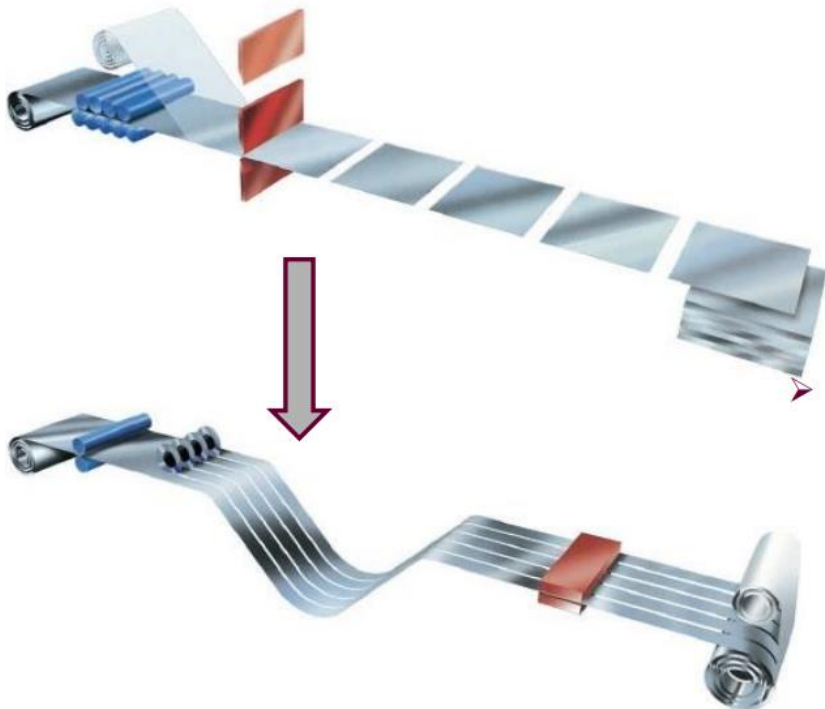


Rovnění plechů bodové (vlevo), bradavkové (uprostřed) a opakované prohýbání při rovnání plechů nebo drátů (vpravo)

Stříhání plechů

Příčné dělení: vstupním materiálem jsou svitky za studena a za tepla válcované, ze kterých lze pomocí příčného dělení stříhat plechy v délkách standardních a v délkách na míru, při dělení svitků válcovaných za studena je každý plech proložený papírem nebo potažený ochrannou folií.

Podélné dělení: vstupním materiálem jsou svitky za studena a za tepla válcované, bez nebo s ochrannou folií, ze kterých lze pomocí kotoučových nožů podélně dělit svitky v šířkách na míru.



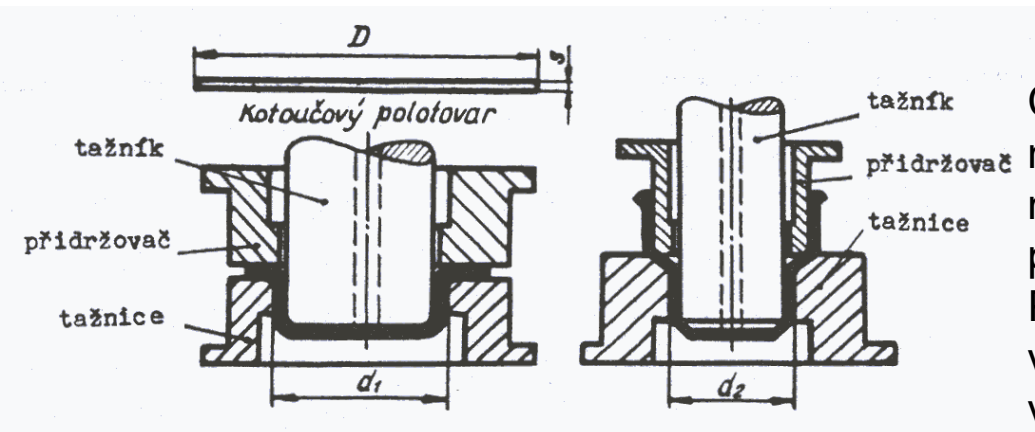
Střížné operace a ohýbání



Tažení plechů a pasů

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** (karosářské výlisky).

Hlavní funkční části **tažného nástroje** jsou tažník a tažnice. U tenkých plechů je ještě zapotřebí doplnit nástroj přidržovačem, který zabraňuje zvlnění plechu při tažení.



Celkové přetvoření plechu při tažení hlubších nádob je značné, celou nádobu zpravidla nelze 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. Při vyčerpání plastičnosti je nutné provést mezioperační žíhání.

Tažný nástroj s přidržovačem v první a druhé tažné operaci (vlevo) s detailem příruby (vpravo)

Tažení

- rotačních výtažků
- hranatých výtažků
- nepravidelných výtažků
- kuželovitých výtažků
- Stupňovitých nádob



3D tisk

