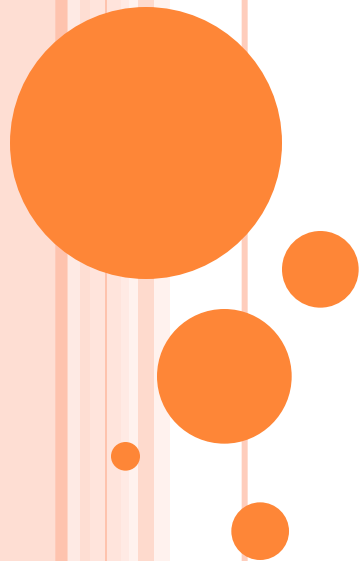


# STROJÍRENSKÁ TECHNOLOGIE

PŘEDNÁŠKA 8



- **Objemové tváření** (tváření za tepla, volné kování, zápusťkové kování);
- **Plošné tváření** (ohýbání, stříhání, prostřihování, tažení plechu);

[http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/video/video.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/video/video.htm)

- Fischer, U. a kol. *Základy strojnictví*. Praha: Europa-Sobotáles cz, 2004. 296 s. ISBN 80-86706-09-5.
- Doubravský, M. Macášek, I., Macháček, Z., Žák, J. *Technologie slévání, tváření a svařování*. Brno: VUT Brno, 1985. 246 s.



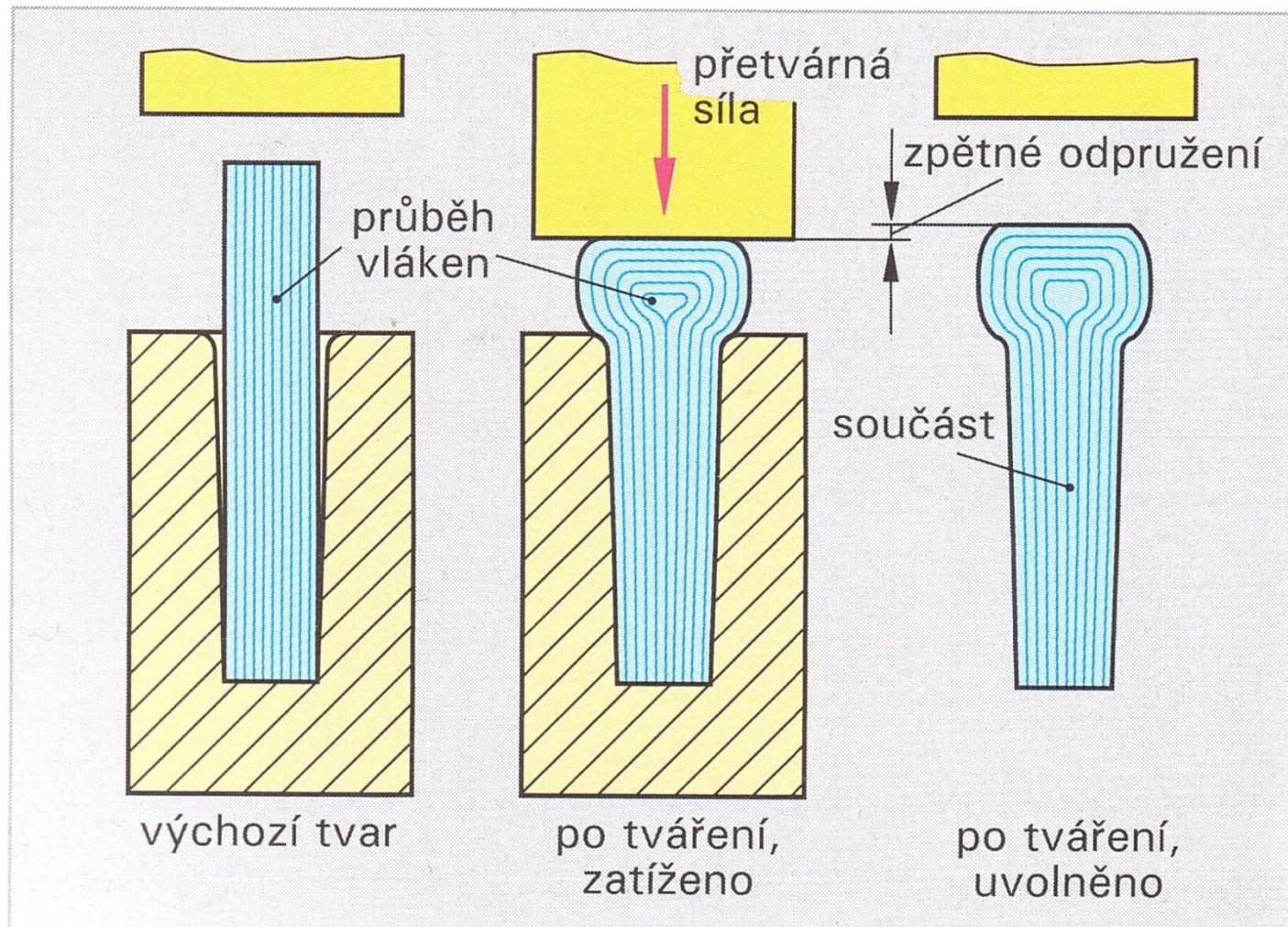
# ZÁKLADNÍ POJMY

- Technologie tváření představuje proces, při němž dostávají polotovary po zpracování určitý, předem stanovený tvar. Cílem je dosáhnout požadovaného tvaru a jakosti výrobku bez porušení soudržnosti materiálu. Tj. Účelem tváření je dát součástem působením vnějších sil jiný tvar a trvale je tak deformovat.
- Chování materiálu – působením vnějších sil vzniká uvnitř součásti pnutí, mění se její tvar. Primární krystaly krystalové mřížky se např. při namáhání tahem v podélném směru prodlužují a v příčném se stlačují. Je-li namáhání malé, vrátí se řady atomů vlivem přitažlivých sil sousedních atomů při odlehčení napětí zpět do své výchozí polohy. Změna struktury nenastala. Materiál byl deformován elasticky.

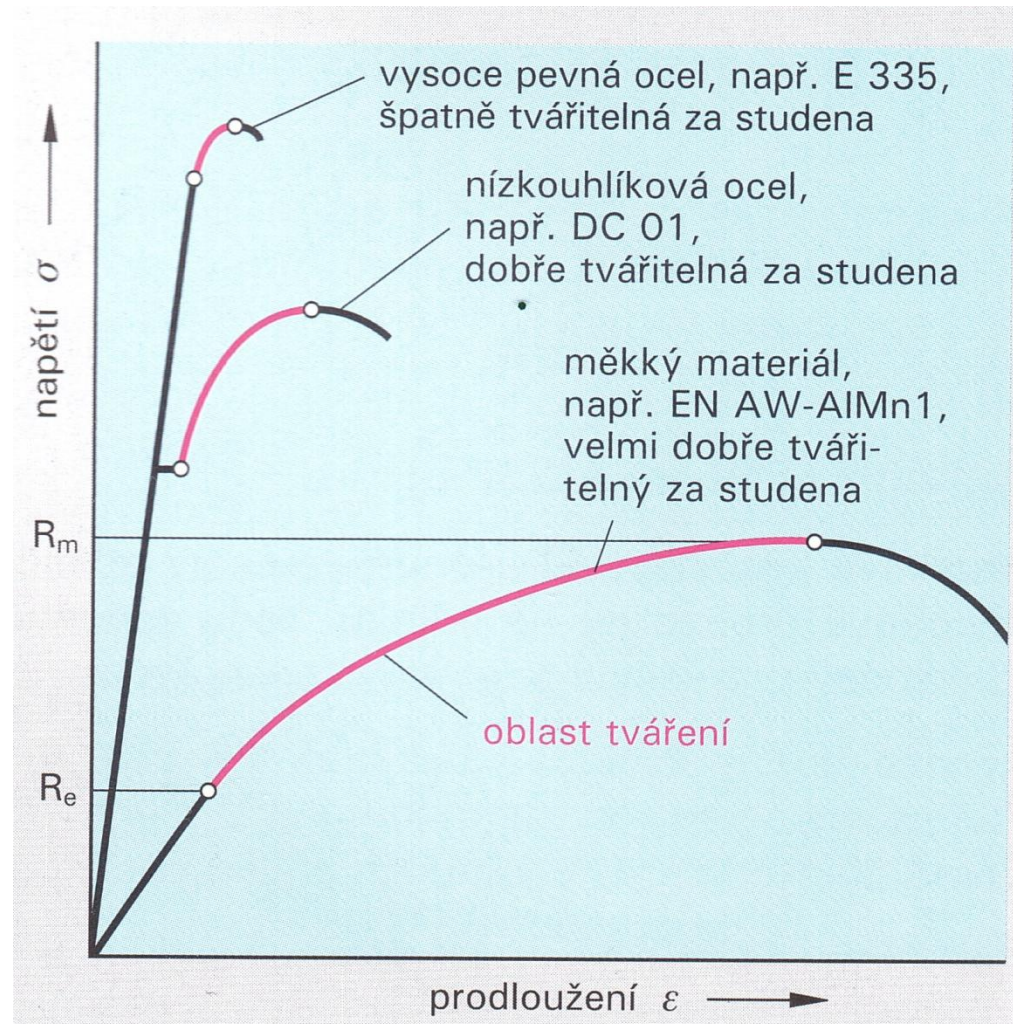
Při vyšším zatížení se vzájemné polohy atomů posunou natolik, že se dostanou do oblasti přitažlivých sil nových sousedních atomů. Těmito jsou pevně drženy na svém novém místě a mění tak strukturu mřížky. Materiál se deformoval plasticky. Soudržnost se přitom neztrácí, součást získala jiný tvar, byla přetvořena.



# PLASTICKÁ DEFORMACE PŘI TVÁŘENÍ



# OBLASTI TVÁŘENÍ V DIAGRAMU NAPĚTÍ PRODLOUŽENÍ



- **Tvářitelnost materiálů** vysvětluje diagram závislosti prodloužení na napětí. Tváření probíhá mezi mezí kluzu  $R_e$  a mezí pevnosti  $R_m$ . Materiály s nižší mezí kluzu a velkou tažností lze dobře tvářet a jen málo pruží. Hliník a měď se při zatížení tahem před prasknutím velmi prodlouží, jsou tedy dobře tvářitelné. Také měkkou (nizkouhlíkovou) ocel lze při vysokých napětích ještě dobře tvářet. Vysoce pevné oceli, nejsou ale pro tváření vhodné.
- **Mez kluzu** - napětí, při němž začínají vznikat v materiálu trvalé plastické deformace. Podle způsobu namáhání jde o mez kluzu v tahu, tlaku, ohybu, krutu.
- **Plastická deformace** - vnější projev nevratné změny (trvalé deformace) tvaru tělesa, k němuž dochází působením vnějších sil. Projevuje se zejména vlivem kluzů, probíhajících v zrnech polykrystalického materiálu. Průběh plastické deformace závisí na typu krystalové mřížky, poruchách v krystalech, teplotě a rychlosti deformace.
- **Mez pevnosti** - maximální napětí počítané na původní (nedeformovaný) průřez zkušebního tělesa, jehož lze dosáhnout prostým tahem, tlakem nebo smykem, než dojde k porušení tělesa.



- **Zotavení** - první fáze změn probíhajících při ohřevu kovu deformovaného za studena, při teplotě nižší, než je teplota rekrytalizační. Při zotavení se zmenšuje vnitřní pnutí kovu a mění se některé jeho vlastnosti, ne však jeho struktura.
- **Rekrytalizace** - pochod, jímž se obnovuje krystalická mřížka kovu deformovaného za studena. Rekrytalizace probíhá při ohřevu na rekrytalizační teplotu, tj. asi  $0,4 T_T$  termodynamické teploty tání ve dvou fázích na sebe navazujících. Při nižších teplotách (pod  $T_T$ ) proběhne zotavení, kdy se mění některé mechanické a fyzikální vlastnosti (při teplotě nad  $T_T$  nastane vlastní rekrytalizace, při níž je deformované zrno nahrazeno novým, nedeformovaným). Tuto fázi provází výrazná změna mechanických vlastností i velikostí zrna.



# TVÁŘENÍ ZA TEPLA A TVÁŘENÍ ZA STUDENA

- Tvářením se zdeformuje struktura. Jestliže tvářenou součást zahřejeme, dojde při určité teplotě (rekrytalizační teplotě), charakteristické pro každý materiál, k obnově původní struktury (rekrytalizaci).
- Jestliže se tváření uskutečňuje **nad** touto rekrytalizační teplotou, sníží se pnutí v součásti. V tomto teplotním rozsahu je tedy možno provádět větší deformace bez toho, aby se na součásti začaly tvořit trhliny nebo součást praskala.
- Tváření **pod** rekrytalizační teplotou vede k silným deformacím struktury bez toho, aby došlo k novému vytvoření zrn. Stupeň možného přetvoření je zde podstatně menší.





**TVÁŘENÍ ZA TEPLA** PROBÍHÁ V OBLASTI KOVACÍ TEPLoty. S ROSTOUCÍ TEPLotOU SE SNIŽUJE PŘETVÁRNÁ PEVNOST MATERIÁLU A ZVYŠUJE SE TAŽNOST. PŘETVÁRNÉ SÍLY JSOU TAK MENŠÍ A VZRŮSTÁ TVÁŘITELNOST.

**PŘI TVÁŘENÍ ZA STUDENA** DOCHÁZÍ ZMĚNOU STRUKTURY KE ZVÝŠENÍ PEVNOSTI A SNÍŽENÍ TAŽNOSTI (ZPEVNĚNÍ ZA STUDENA).

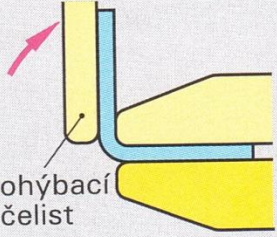
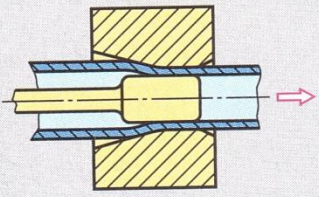
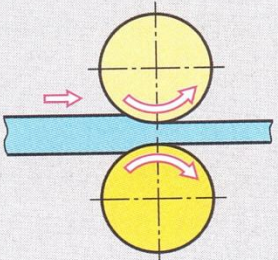
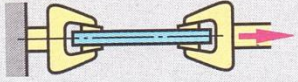
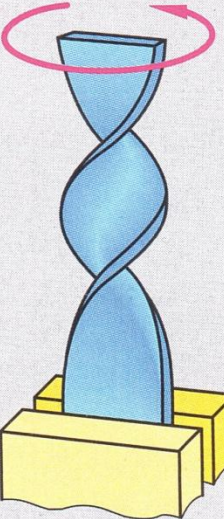
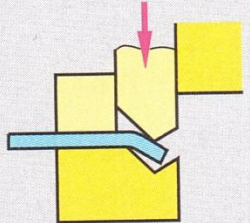
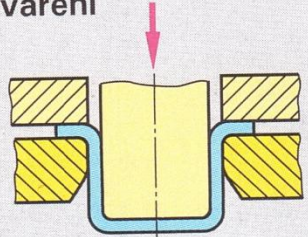
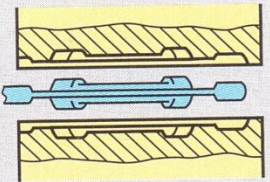
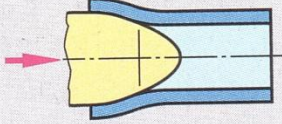
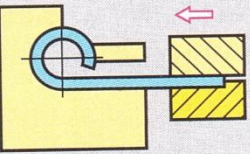
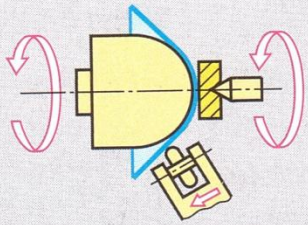
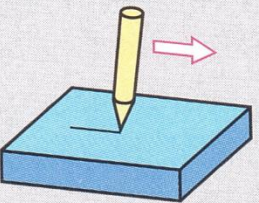
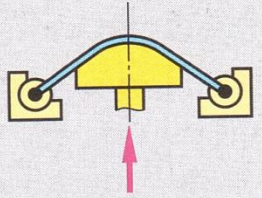
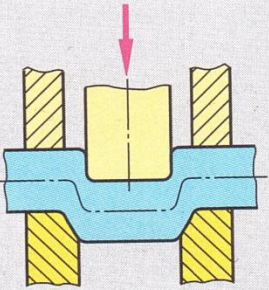
## Tváření za tepla

- Pracovní teplota nad rekrystalizační teplotou,
- Velká tvářitelnost materiálu,
- Malé přetvárné síly,
- Malá změna pevnosti a tažnosti přetvořeného materiálu.

## Tváření za studena

- Pracovní teplota pod rekrystalizační teplotou,
- Možné malé rozměrové tolerance,
- Nedochozí k zoxidování povrchu,
- Zvýšení pevnosti a snížení tažnosti (zpevnění za studena).



tváření ohybem	tváření tahem a tlakem	tváření tlakem	tváření tahem	tváření smykem
<p><b>volné ohýbání</b></p>  <p>ohýbací čelist</p> <p>volné ohýbání plechu</p>	<p><b>protahování</b></p>  <p>tažení průvlakem</p>	<p><b>válcování</b></p>  <p>válcování</p>	<p><b>prodlužování</b></p>  <p>natahování</p>	<p><b>kroucení</b></p>  <p>zkrucování</p>
<p><b>ohýbání v ohýbadle</b></p>  <p>ohýbání plechu v ohýbadle</p>	<p><b>tažení při plošném tváření</b></p>  <p>tažení dutých těles</p>	<p><b>zápustkové tváření</b></p>  <p>kování v zápustce</p>	<p><b>rozšiřování</b></p>  <p>rozšiřování trnem</p>	
<p><b>zakružování</b></p>  <p>ohýbání závěsů</p>	<p><b>rotační tváření (kroužení)</b></p>  <p>tváření dutých těles</p>	<p><b>vytlačování</b></p>  <p>orýsování</p>	<p><b>přetahování</b></p>  <p>přetahování</p>	<p><b>přesazování</b></p>  <p>vyrábění excentru</p>

# OBJEMOVÉ TVÁŘENÍ (TVÁŘENÍ ZA TEPLA, VOLNÉ KOVÁNÍ, ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ);

- Při objemovém tváření se součást plasticky deformuje působením tlakových sil. Patří k němu volné kování, zápusťkové kování, vtlačování a protlačování.
- Při kování se součásti tvarují úderem nebo tlakem většinou v rozžhaveném stavu. Zahřátím materiálu vzrůstá jeho tažnost a tvářitelnost a snižuje se energetická náročnost tváření.
- Kováním se materiál napěchuje a natáhne, a tím se změní jeho struktura. U kovaných kusů není oproti plně třískově obráběným součástem přerušen průběh vláken.
- Kovací teplota se řídí podle materiálu a lze ji nalézt v tabulkách. U slitin hliníku je např. kovací teplota cca 500 °C a u nelegovaných konstrukčních ocelí cca 800 až 1 200 °C. U kování je třeba respektovat údaje výrobce materiálu o kovací teplotě a době ohřevu.



# VOLNÉ KOVÁNÍ

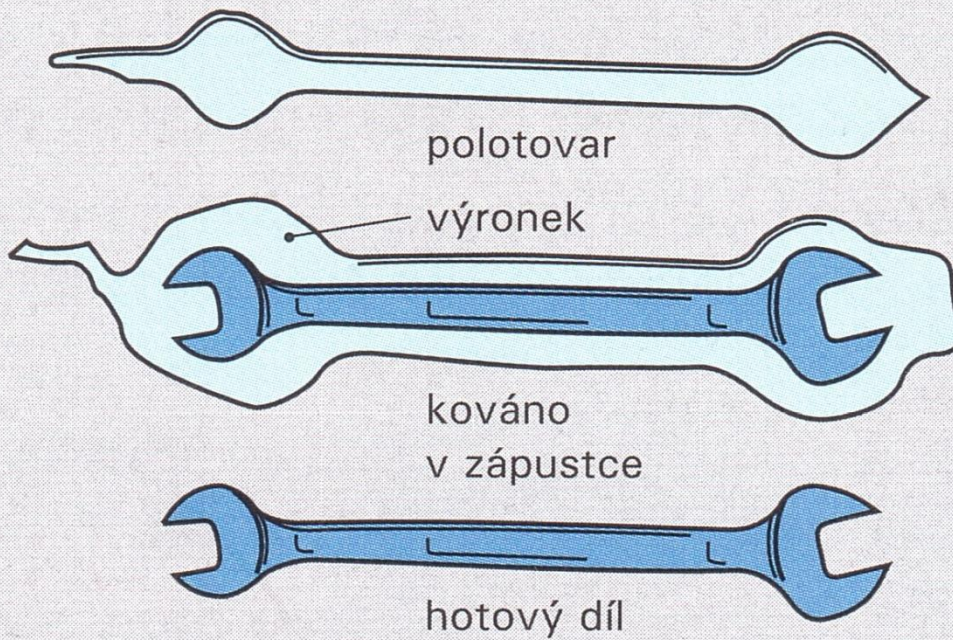
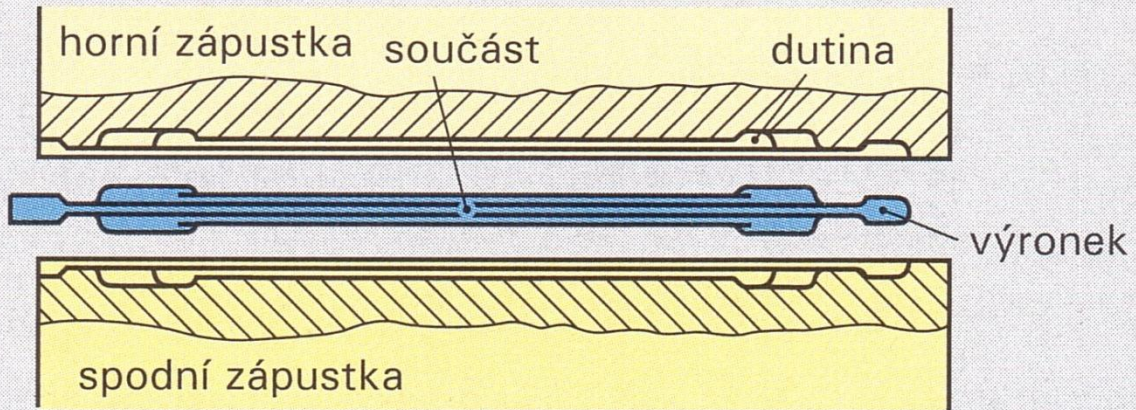
- Volné kování za tepla je pracovní postup výroby výkovků, při kterém se dosáhne kombinací základních kovářských operací přibližného tvaru hotové součásti. Volné kování lze rozdělit na **ruční** a **strojní**. V současné době se ruční kování používá v kusové výrobě malých a středně velkých výkovků v rámci oprav, údržby, v zámečnictví a uměleckého kovářství. Strojním kovářením se vyrábějí velké výkovky, těžko vyrobitelné jinou technologií, avšak tvarově jednoduché a musí mít velké materiálové přídatky.
- Mezi základní operace volného kování patří:
- **Prodlužování** – účelem je prodloužení polotovaru za současného zmenšování příčného průřezu.
- **Pěchování** – materiál je stlačován ve směru osy, rozšiřuje se průřez na úkor délky. Používá se pro kování rotačních výkovků.
- **Kování na trnu** – používá se k rozšiřování a prodlužování průměru kroužku na úkor jeho tloušťky.
- **Osazování a přesazování** – je v podstatě zmenšování resp. zvětšování průřezu u osazovaných hřídelů při zachování souososti všech jeho částí.
- **Děrování** – operace, při kterých vznikají průchozí nebo neprůchozí díry v tvářeném kusu.
- **Ohýbání** – umožňuje zakřivit podélnou osu výkovku, čímž se mění i jeho průřezný tvar.



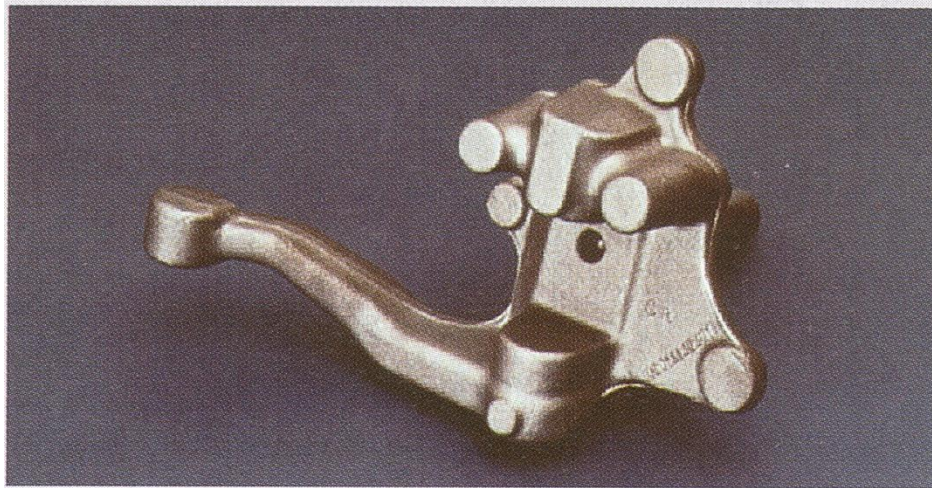
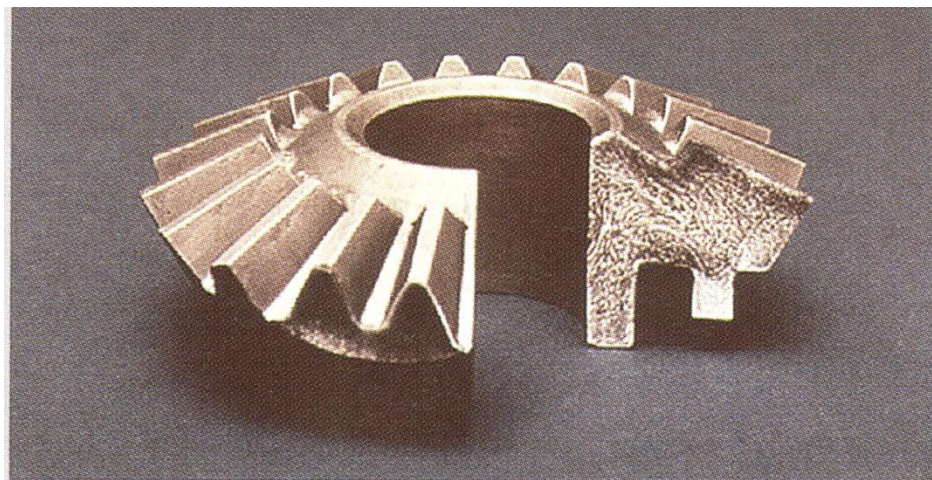
# ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

- U zápusťkového kování dochází k vyplnění dutiny zápusťky, čímž získá kovaný materiál požadovaný tvar. Horní část zápusťky je upnuta k pohybujícímu se beranu bucharu nebo lisu, dolní část zápusťky je upnuta na stole bucharu nebo lisu. Kování se realizuje v otevřené a uzavřené zápusťce.
  - Do **otevřené zápusťky** se vloží materiál, kterým se dutina vyplní a přebytečný materiál je vytlačován do tvarované mezery mezi horní a dolní zápusťkou. Tento přebytek se nazývá výronek, který se v následující operaci ostříhne. Rozměry zápusťkových výkovek se zvětšují o přídavky na opracování a technologické (úkosy bočních ploch do dělicí roviny, zvětšení tloušťek stěn žeber, apod.).
  - **Uzavřená zápusťka** na rozdíl od otevřené nemá výronkovou drážku, kov dokonale vyplňuje dutinu, výkovek je bez výronku. Výhodou této zápusťky je, že výkovek je kován na hotovo. Kování je technologicky náročnější, protože polotovar musí mít přesný objem jako dutina zápusťky, dále jsou zápusťky více namáhány, proto mají kratší životnost.





## ZÁPUSTKOVÉ VÝKOVKY: KUŽELOVÉ OZUBENÉ KOLO A ČEP NÁPRAVY

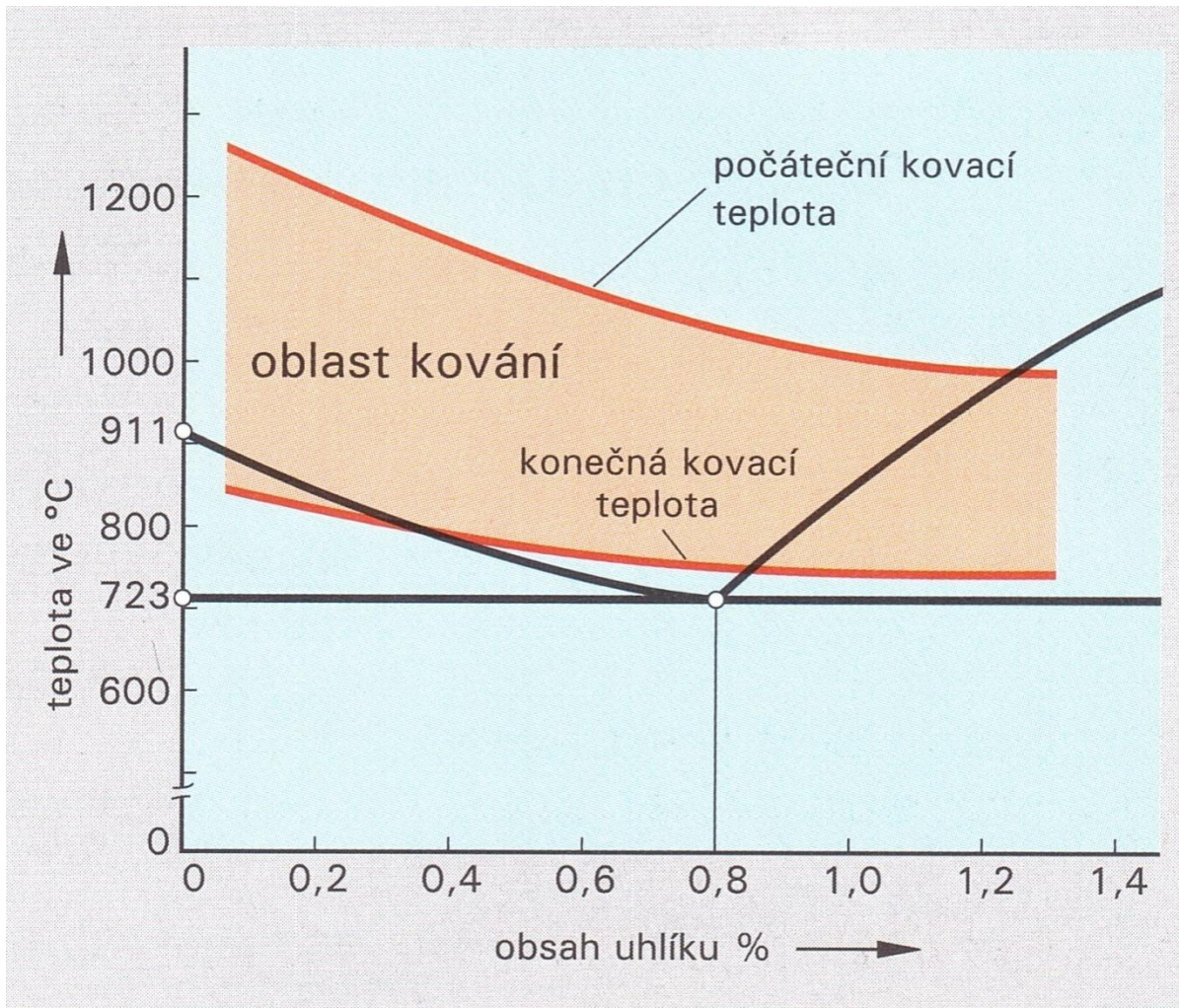


- Zatímco při volném kování se může materiál při tváření volně vytlačovat, je při zápusťkovém kování zcela nebo podstatnou částí uzavřen v zápusťce. Zápusťky jsou dělené ocelové kvádry z nástrojové oceli, které mají dutiny odpovídající tvaru hotové součásti.

Dutina zápusťky obsahuje obvykle i prostor pro přebytečný materiál, který obklopuje součást ve formě tenkého výronku. Následným pracovním krokem se výronek odstraní na lisu zvláštním nástrojem. Při zápusťkovém kování bez výronků tyto pracovní kroky odpadají. Stanovený objem polotovaru musí být přesně dodržen. Zápusťky se velmi opotřebovávají a je třeba je měnit po zhruba 10 tisících až 100 tisících kusech.







- Kujnost materiálů – nejdůležitější kujné materiály jsou ocel, hliník a tvářitelné slitiny mědi. Kujnost závisí na složení materiálů, u ocelí především na obsahu uhlíku. Se stoupajícím obsahem uhlíku a vyšším podílem legovacích prvků se snižuje tažnost a kujnost ocelí. Čím menší je obsah uhlíku u nelegovaných ocelí, tím vyšší je počáteční teplota kování, a tím větší je teplotní rozsah, ve kterém lze kovat. Pod konečnou teplotou kování se již kovat nesmí, protože zde je tvárnost materiálu tak nízká, že se při dalším kování na součásti tvoří trhliny.



# VÝHODY OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ VE SROVNÁNÍ S TRÍSKOVÝM OBRÁBĚNÍM:

- Nižší ztráta materiálu,
- Krátká doba výroby,
- Zvýšení zatížitelnosti součástí,
- Lze vyrábět složitější tvary,
- Je třeba méně obrábění reznými nástroji.
  - Téměř neomezený výběr materiálů a nejrůznější postupy tepelného zpracování umožňují cílené přizpůsobení kovaných součástí účelu použití.
  - Příklady použití zápusťkového kování: kleště, převodové hřídele, klikové hřídele, nápravové čepy pro motorová vozidla, planetové nosiče pro planetové převody, ojnice, náboje kol a vačkové hřídele.



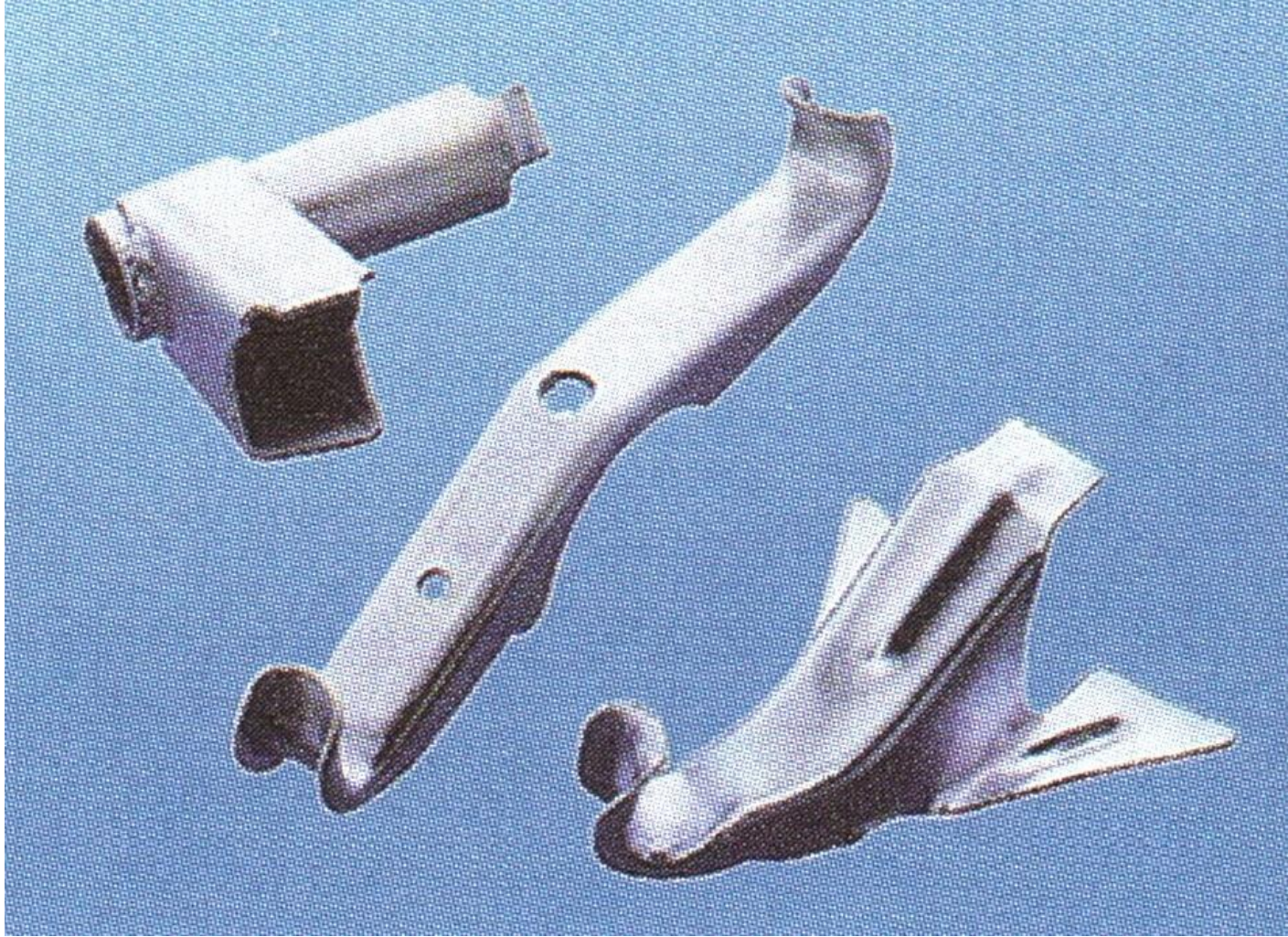


# PLOŠNÉ TVÁŘENÍ (OHÝBÁNÍ, STRÍHÁNÍ, PROSTŘIHOVÁNÍ, TAŽENÍ PLECHU)

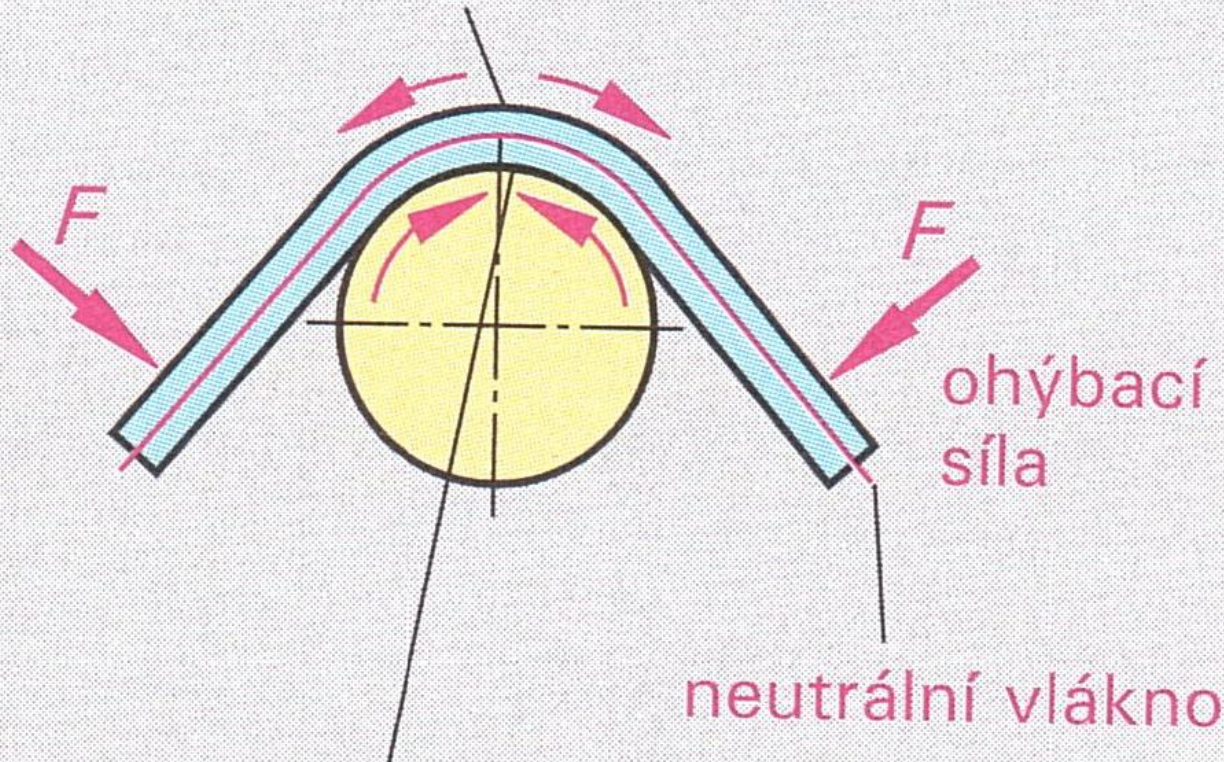
**Tváření ohybem** – součást se plasticky deformuje působením ohýbacích sil. Postup se používá k tváření plechů, trubek, profilů, drátů a tyčového materiálu.

- Chování materiálů při ohýbání – neutrální vlákno. Při ohýbání se vlákna na vnější straně ohybu prodlužují, vnitřní vlákna se stlačují. Mezi nimi se nachází vlákno, které zůstává bez napětí, jehož délka se tedy při ohýbání nezmění.
- Směr válcování – při ohýbání součásti z plechu je nutno dbát na směr válcování. Při válcování se struktura materiálu prodlužuje ve směru válcování. Tím vznikne struktura „podobná vláknům“. Při zatížení příčně k vláknům může plech prasknout. Zatížení ve směru válcování může materiál lépe zachytit. Tj. plechy by se měly ohýbat pokud možno příčně ke směru vláken.





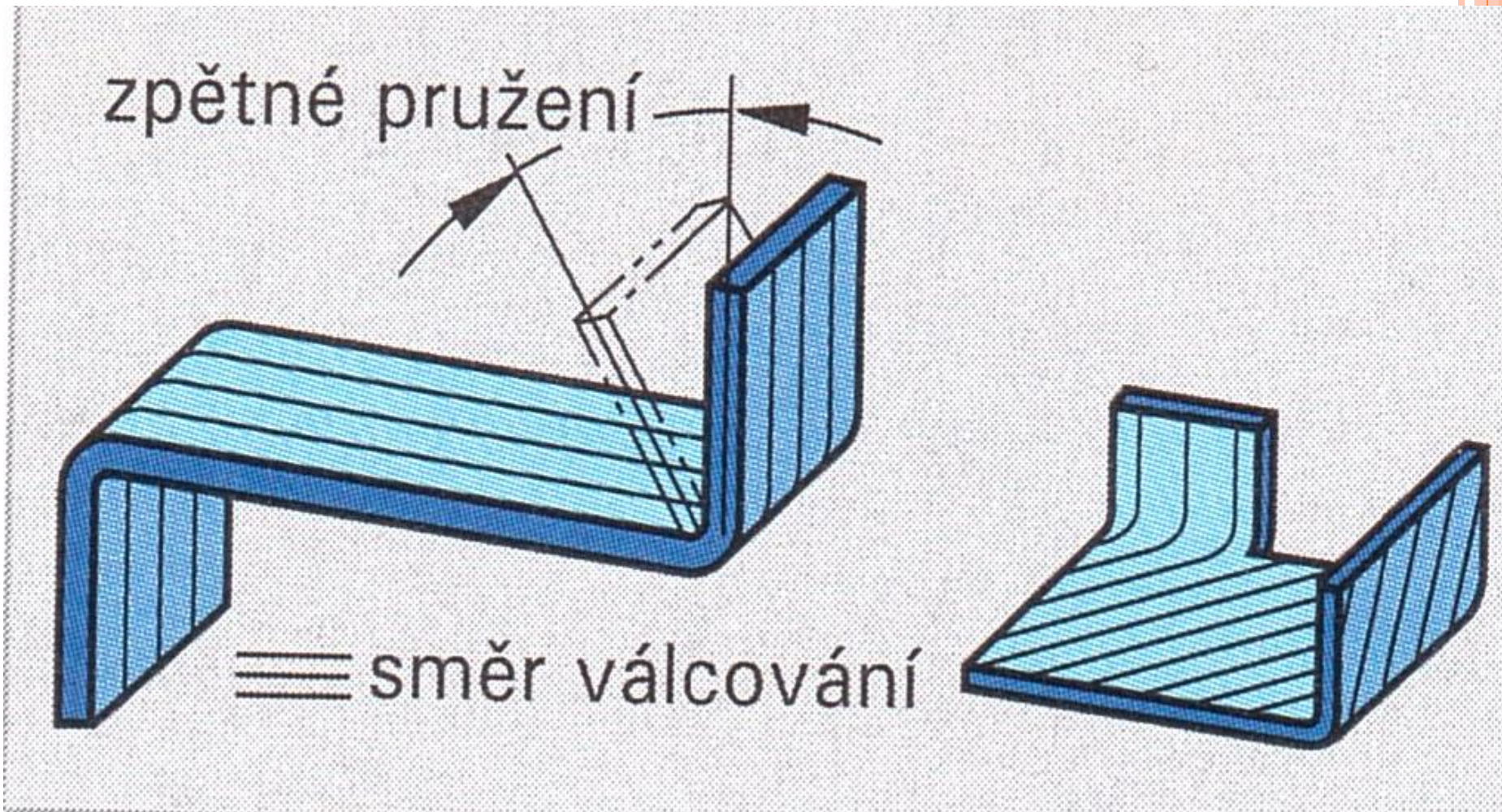
tahové síly (natažená vlákna)



tlakové síly (stlačená vlákna)

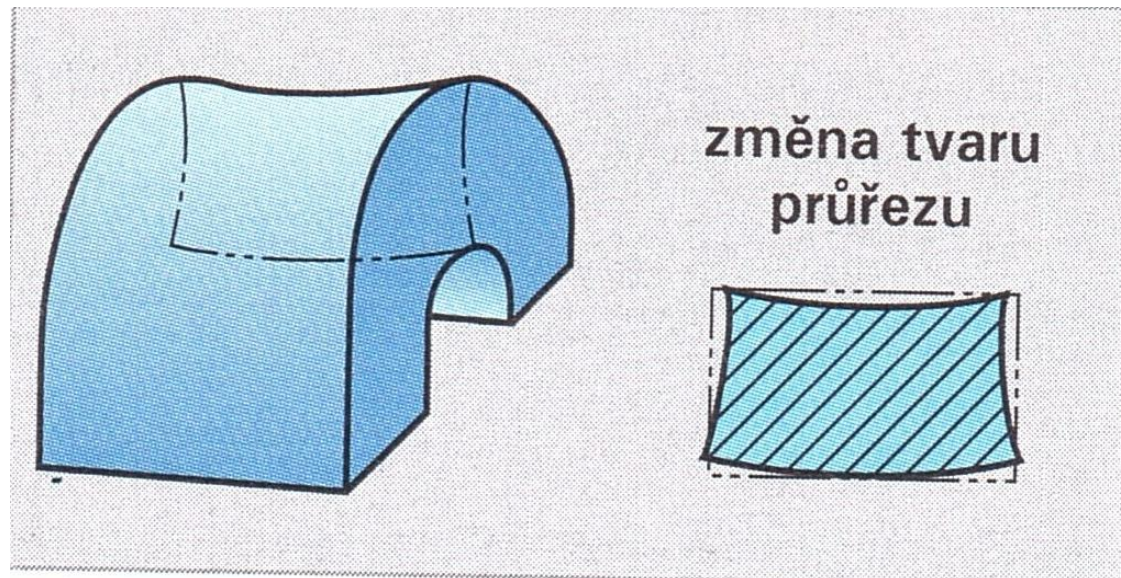


## Směr válcování a zpětné pružení při ohýbání



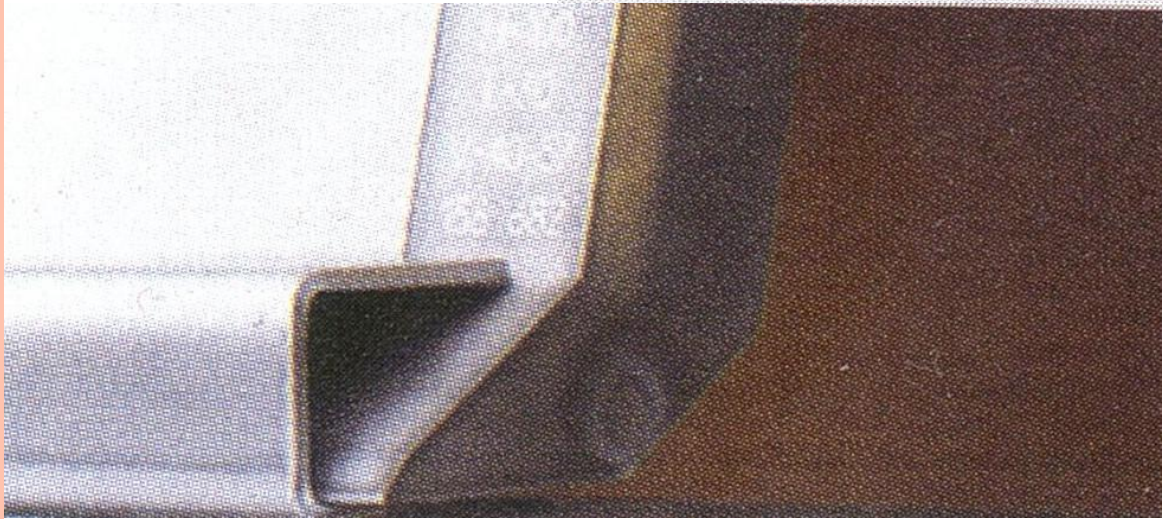
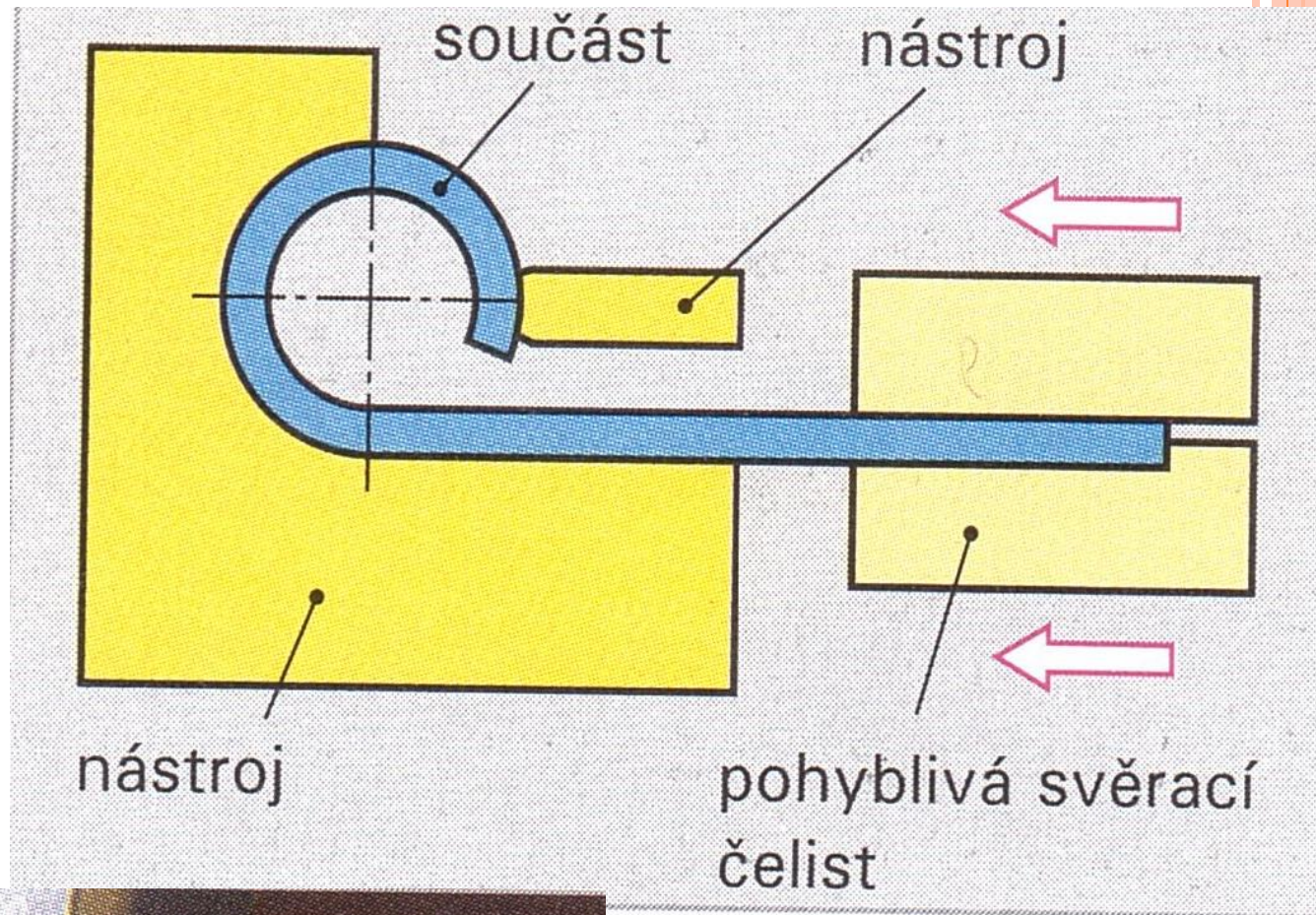


- Zpětné pružení – po ohýbání dojde, v závislosti na materiálu, poloměru ohybu a směru válcování, ke zpětnému pružení. Při ohýbání je materiál namáhán zatížením přesahujícím mez kluzu, tím dojde k trvalé deformaci. Po ohnutí pruží zpět o velikost elastické deformace. Toto zpětné pružení je největší u materiálů s vysokou mezí kluzu a při velkých poloměrech ohybu. Součást se proto musí ohnout více, tím se dosáhne požadovaného úhlu ohnutí.
- Změna průřezu – při ohýbání silných profilů nebo trubek dochází protažením vnějších a stlačením vnitřních vláken ke změně průřezu.

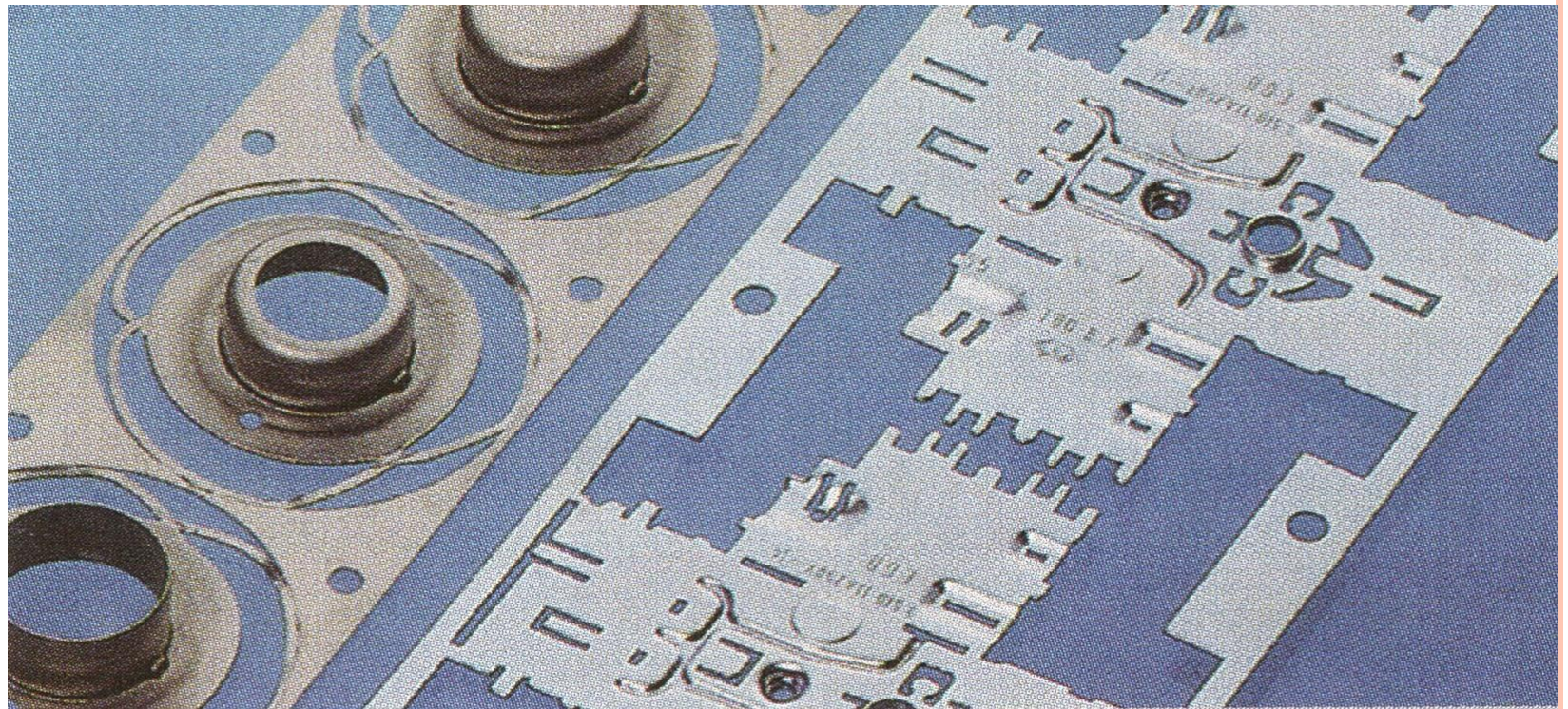


- Poloměr ohybu – poloměr na vnitřní straně ohýbaného dílu po ohnutí. Aby se zamezilo tvorbě trhlin a změně průřezu ohýbaného dílu v místě ohybu, musí se dodržovat jistý minimální poloměr ohybu (závisí na tažnosti materiálu, u plechů také na tloušťce a u trubek na průměru a tloušťce stěny).
- Při ohýbání se musí součást ohnout více o velikost elastické deformace.
- Postupy ohýbání:
  - Volné ohýbání – pevně upnuta neohýbaná část polotovaru, místo ohybu a navazující část polotovaru se může volně pohybovat.
  - Ohýbání v ohýbadle – součást se ohne ohýbací čelistí až k dosednutí na pevnou čelist.
  - Zakružování - přířez se např. pohyblivou čelistí zatlačí do ohýbadla. Ohýbadlo má takový tvar, aby vznikl požadovaný svinutý díl (závěs dveří).
  - Volné ohýbání na ohýbačce s lištou – součást upnutá svěrací čelistí se druhým ramenem ohne.

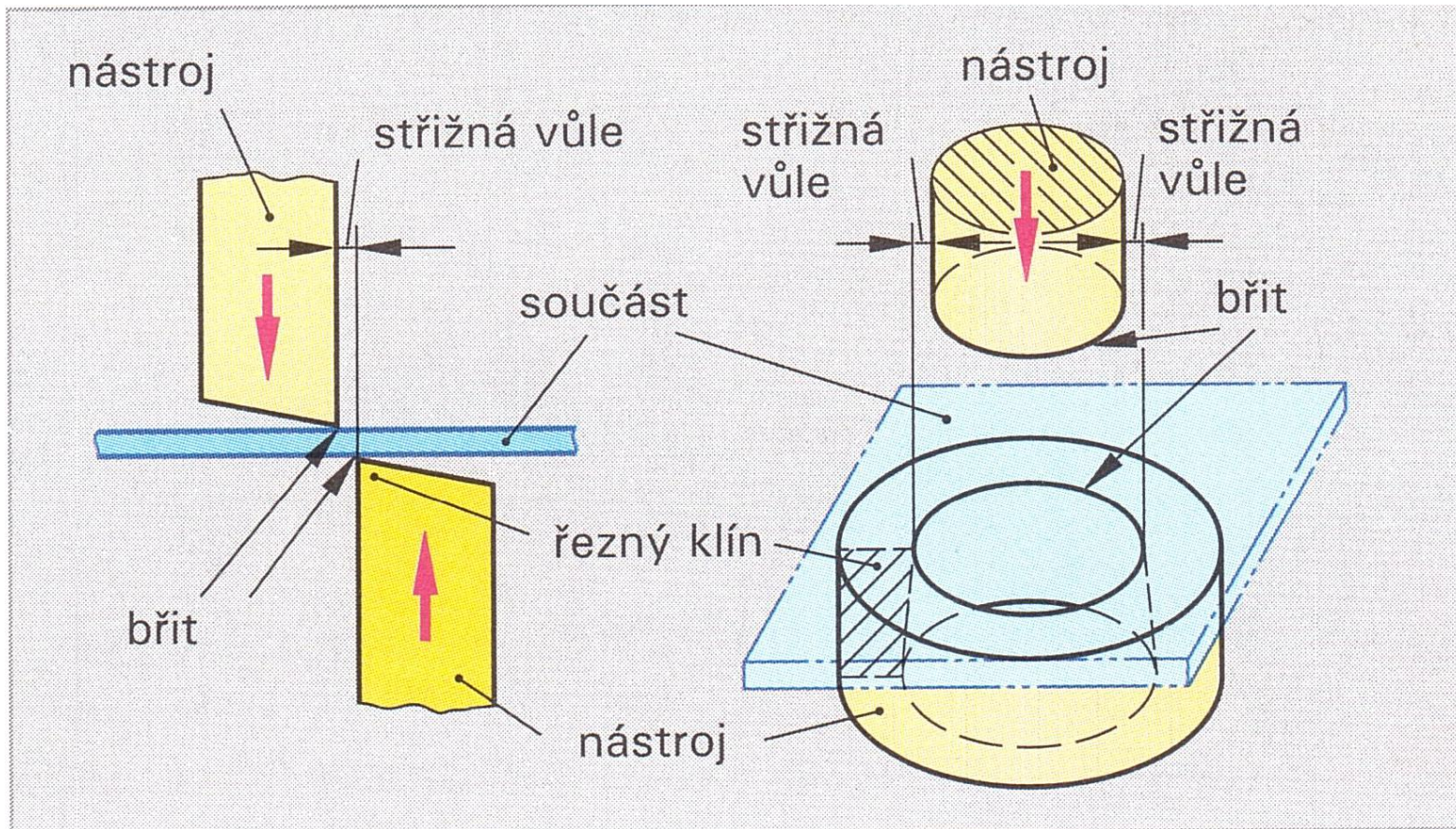




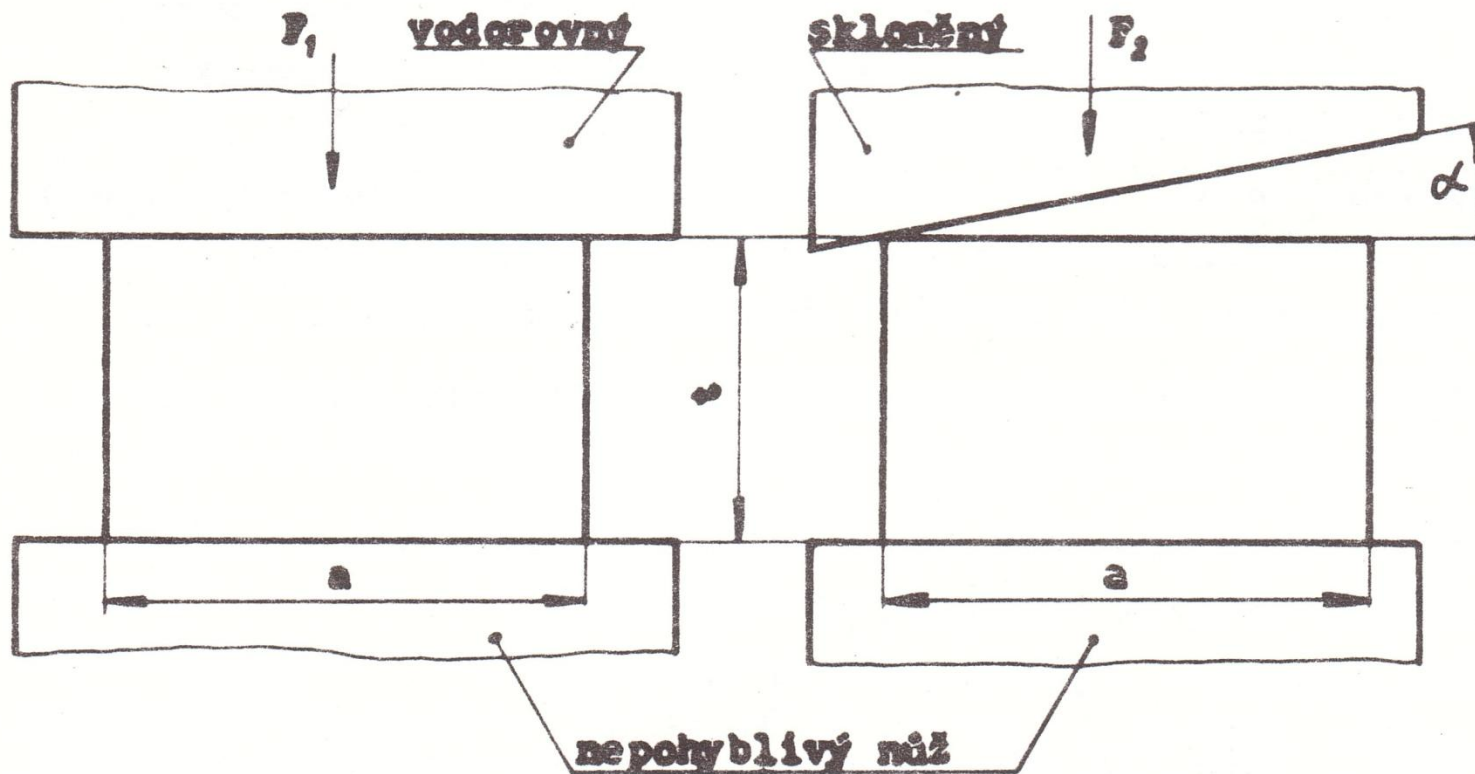
**Dělení (stříhání, prostřihování)** – stříhání je dělení součásti mezi dvěma vzájemně se pohybujícími břity.



PŘI VYSTŘIHOVÁNÍ MUSÍ BÝT MATERIÁL ODDĚLEN PO CELÉ DÉLCE. STŘIŽNÁ SÍLA  $F$  POTŘEBNÁ PRO ODDĚLENÍ JE ZÁVISLÁ NA STŘIŽNÉ PLOŠE  $S$  A MAXIMÁLNÍ PEVNOSTI MATERIÁLU VE SMYKU. STŘIŽNÁ PLOCHA JE SOUČINITELEM DÉLKY STŘIHU  $L$  A TLOUŠTKY SOUČÁSTI  $s$ .



**pracovní nůž**



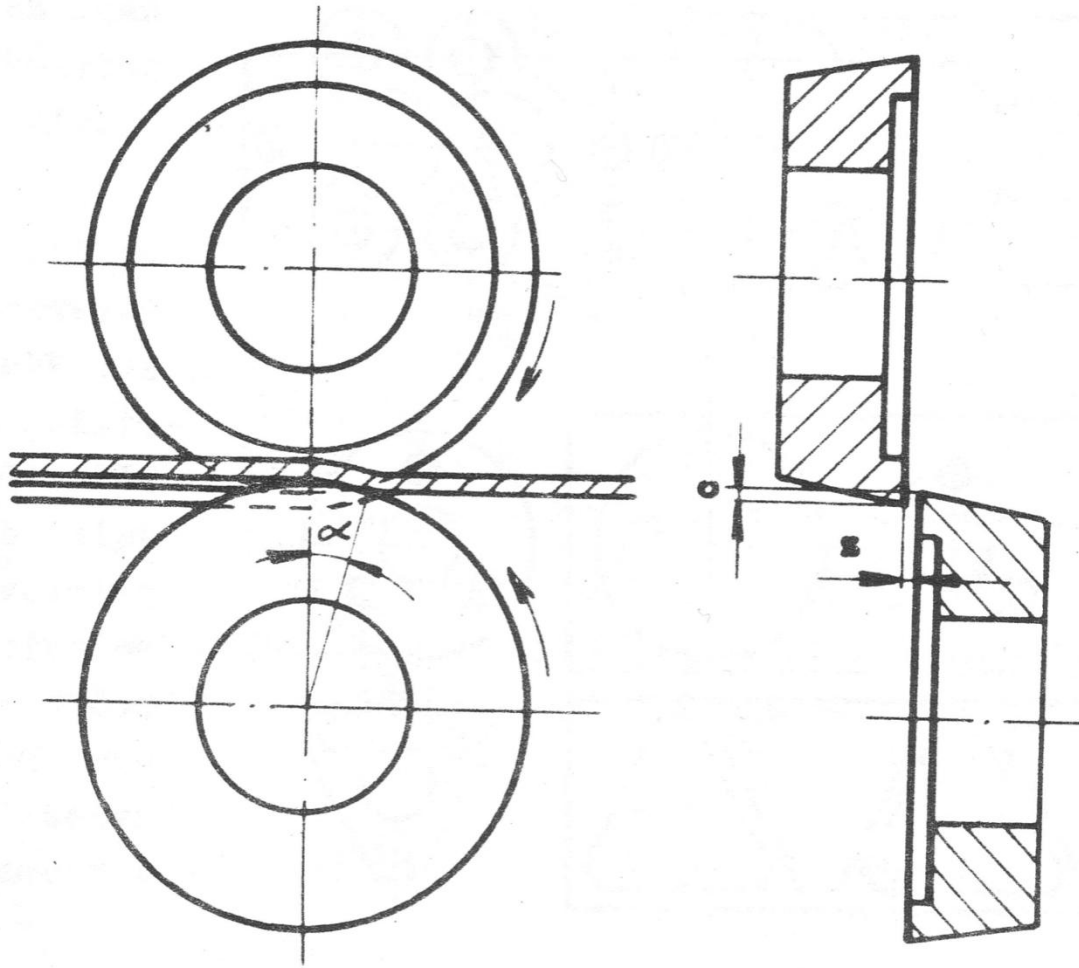
## ○ Dělení materiálu stříháním:

- **Rovnoběžnými noži** – ostří nožů jsou rovnoběžná,
- **Skloněnými noži** – ostří nožů jsou k sobě skloněna pod určitým úhlem,

u délku průřezu, ale postupně horním nožem skloněným o určitý úhel. Nevýhody stříhání rovnoběžnými noži - velká okamžitá střížná síla a působící rázem – toto lze omezit tak, že nestříháme celo úhel. Určitá nevýhoda stříhání se skloněnými noži je deformace ustřižené části, ke které dochází jejím postupným ohýbáním před postupujícím šikmým nožem.

- **Rotačními – kotoučovými noži** – s přihlédnutím na geometrii kotoučových nožů plynulé stříhání bez rázů při střížném procesu. Dva kotoučové nože o průměru  $D$  se otáčejí a stříhají plech, přičemž úhel  $\alpha$  je úhel záběru,  $z$  je střížná mezera,  $c$  je přesah nožů. V průběhu střížného procesu se sklon řezné hrany mění od nejvyšší hodnoty  $v$  místě záběru do nuly ve spojnici obou kotoučů. Uspořádání kotoučů může mít několik alternativ. Výhodou je, že se kotoučové nože stýkají se stříhaným plechem v krátké délce – dochází téměř k bodovému styku – což umožňuje manipulaci se stříhaným plechem v jeho rovině. Lze tak vystříhat různé křivky, proto také **křivkové nůžky**.

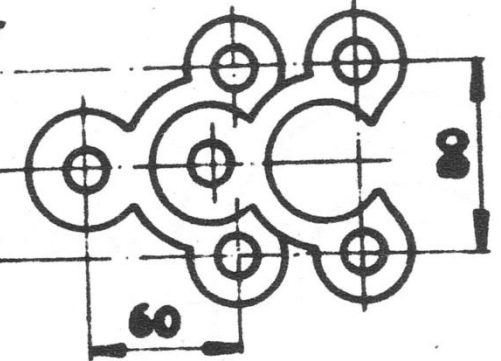
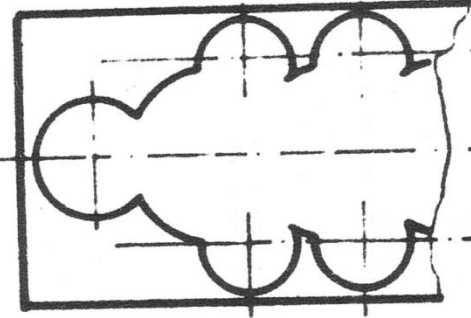
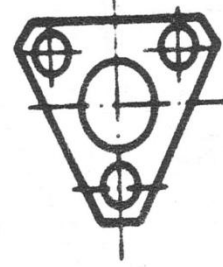
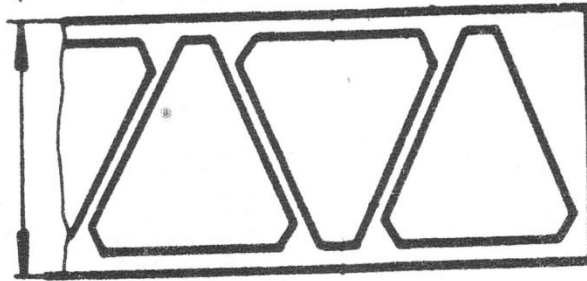
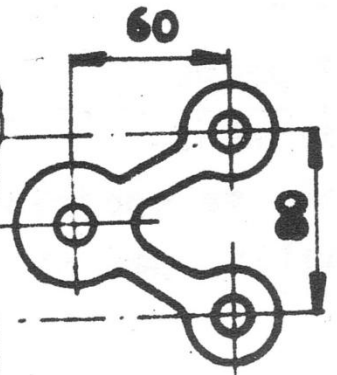
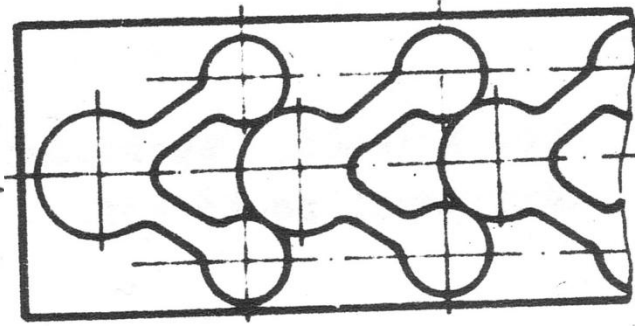
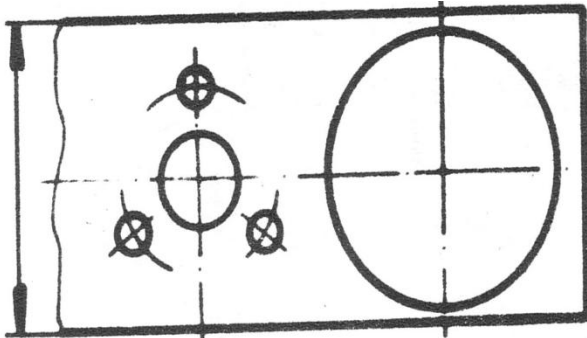
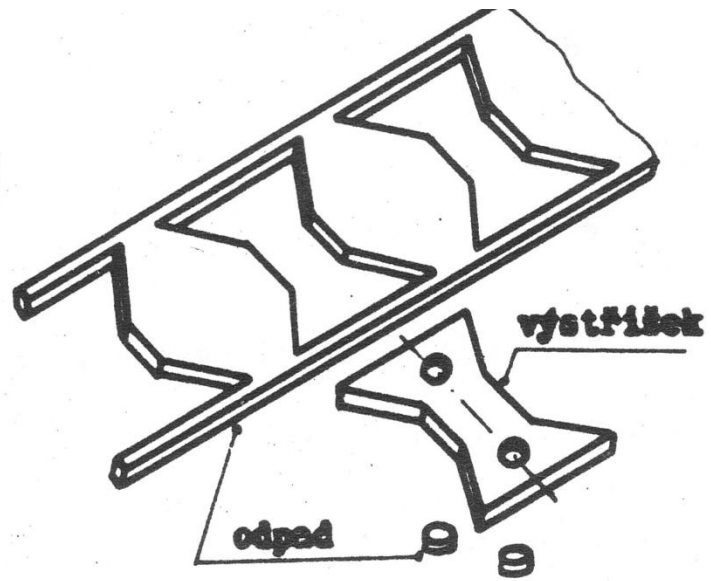
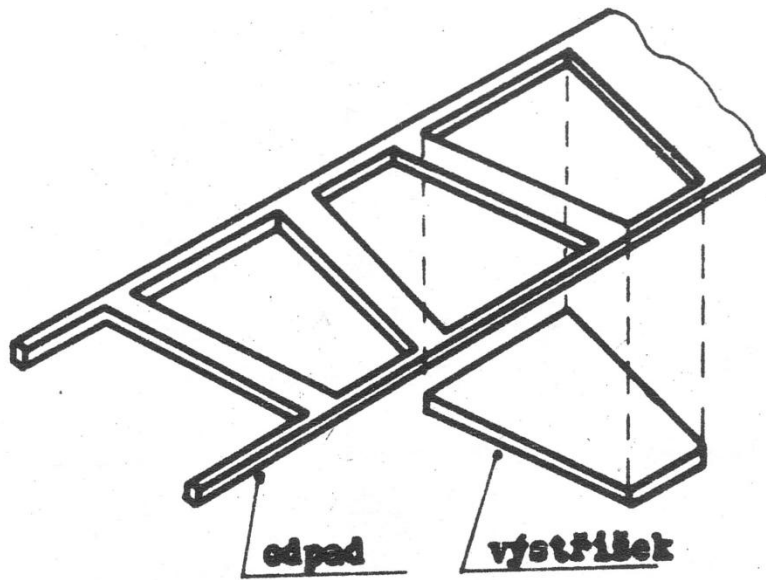






- ❑ **Výroba součástí z plechu zpracováním ve stříhadlech** – plechy a páskový materiál válcovaný za studena nebo za tepla. Stříhání ve stříhadlech se dělí na mnoho operací např. děrování, nastřihování, vystřihování atd. Výstřižek má být technologicky navržen a na výchozím materiálu umístěn tak, aby se maximálně využila plocha materiálu a zmenšila plocha velikosti odpadu. Při tom je nutno přihlížet k funkčním rozměrům požadované přesnosti, směru vláken a dalším požadavkům. Za tím to účelem se sestavují nástřihové plány.
- ❑ Rozdělení stříhadel tj. nástroje pro stříhání – jednoduchá (provádí se jedna střižná operace na jednom výstřižku na jeden zdvih lisu.; ke zhotovení výstřižku stačí jeden zdvih beranu lisu); postupová (provádí se několik střižných operací postupně na více zdvihů lisu.; ke zhotovení výstřižku je zapotřebí více zdvihů beranu lisu); sdružená (kromě střižných operací uskuteční na výlisku ještě operace jinou technologií, např. ohýbání, tažení plechu apod.).





- Podle použití hotového výstřížku se požaduje jeho různá přesnost a kvalita střížné plochy. Na tyto vlastnosti má základní vliv střížná vůle mezi **střížnicí a střížníkem**, vlastnosti stříhaného polotovaru a otupení střížných hran nástroje.
- Jestliže je zapotřebí u výstřížků dosáhnout přesných rozměrů, hladké střížné plochy bez otřepu apod., zavádí se do postupu výroby stříháním operace, jimiž uvedené vlastnosti obdržíme. Toho je možno dosáhnout třemi základními způsoby, z nichž dva jsou jen jinou formou střížného procesu – přistříhování (dodatečně se odebírá z původní střížné plochy výstřížku určitý přídavek); přesné stříhání (speciální konstrukce a uspořádání střížných nástrojů, pomocí nich se ovlivní stav napjatosti ve stříhaném materiálu a tím i celý střížný proces); kalibrování (původní výstřížek je protlačen spodní částí nástroje, jež má zaoblené hrany – není to tedy střížnice. Přebytečný materiál je po obvodu výstřížku napěchován původní střížná plocha je uhlazena. Kalibrování obecně je méně přesné než přistříhování, neboť vlivem plastické deformace kalibrovaný materiál odpruží.

