

Interreg



Rakousko-Česká republika

Evropský fond pro regionální rozvoj



# STROJÍRENSTVÍ

## Plošné tváření



UNIVERSITY  
OF APPLIED SCIENCES  
UPPER AUSTRIA



EVROPSKÁ UNIE

# Obsah

1. Tepelné zpracování.....	3
1.1. Účel a základní rozdělení způsobů tepelného zpracování.....	3
1.2. Žíhání.....	5
1.3. Kalení.....	7
1.4. Popouštění .....	9
2. Technologie stříhání plechů .....	10
2.1. Technologie plošného tváření - stříhání .....	10
2.2. Princip stříhání.....	13
2.3. Výpočet síly a práce pro rovnoběžné nože.....	14
2.4. Výpočet síly a práce pro šikmé nože .....	16
2.5. Rozdělení stříhání.....	17
3. Přesné stříhání a speciální způsoby stříhání.....	22
3.1. Přesné stříhání.....	22
3.2. Nástřihové plány .....	25
3.3. Nástroje pro stříhání.....	27
3.4. Speciální způsoby stříhání .....	29
4. Technologie objemového tváření – protlačování.....	31
4.1. Protlačování .....	31
4.2. Princip protlačování a vliv materiálu .....	32
4.3. Výpočet síly a práce.....	34
4.4. Vliv tření.....	34
4.5. Rozdělení technologických způsobů protlačování .....	35
4.6. Speciální způsoby protlačování.....	37
4.7. Stroje a nástroje pro protlačování.....	38
5. Ohýbání .....	39
5.1. Technologie plošného tváření - ohýbání .....	39
5.2. Deformace průřezu, neutrální osa .....	39
5.3. Odpružení.....	41
5.4. Rozložení napětí .....	43
5.5. Technologické postupy ohýbání .....	44
5.6. Ohýbací nástroje .....	51

6. Speciální způsoby kování .....	52
6.1. Pěchování .....	52
6.2. Prodlužování .....	53
6.3. Přesné kování.....	53
6.4. Kování na vodorovných kovacích strojích.....	54
6.5. Kování protlačováním.....	55
6.6. Kování za rotace .....	56
6.7. Vícecestné kování .....	57

# 1. TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

## 1.1. Účel a základní rozdělení způsobů tepelného zpracování

Správným využitím vlastností kovů a slitin lze např. snížit hmotnost stroje nebo strojního zařízení, anebo použít materiály levnější. Obojí vede ke zvýšení ekonomie výroby.

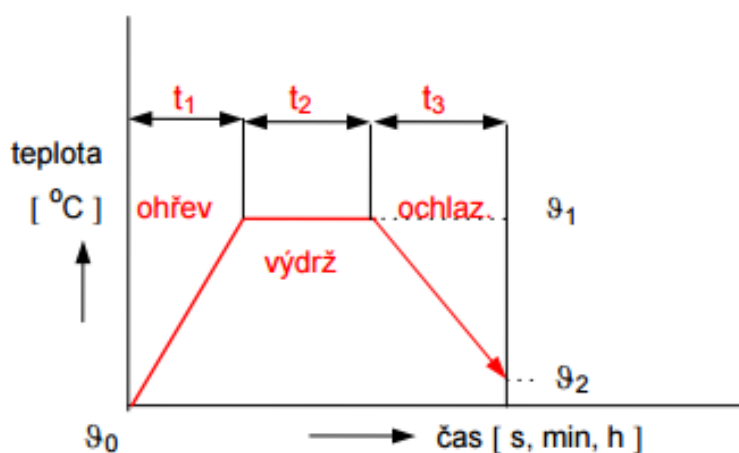
Tepelným zpracováním rozumíme všechny postupy, při nichž předmět nebo materiál v tuhém stavu záměrně ohříváme a ochlazujeme určitým způsobem tak, aby získal požadované vlastnosti.

**Jedná se vždy o souhrn následujících operací:**

- ohřev na určitou teplotu
- výdrž na této teplotě
- ochlazování určitou rychlostí na danou teplotu

V některých případech mohou tyto operace probíhat vícekrát za sebou za různých podmínek.

Rychlost ohřevu nebo ochlazování  $c$  se udává při vysokých rychlostech ve  $^{\circ}\text{C}/\text{s}$ , při malých rychlostech ve  $^{\circ}\text{C}/\text{min}$ , popř.  $^{\circ}\text{C}/\text{h}$ .



I když obě rychlosti nejsou zákonitě rovnoměrné (závisí na okamžitém teplotním spádu), přesto většinou uvažujeme průměrné rychlosti, které vypočítáme:

a) při ohřevu

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_0}{t_1}$$

b) při ochlazování

$$c = \frac{\vartheta_1 - \vartheta_2}{t_3}$$

kde:  $\vartheta_0$  je výchozí teplota před ohřevem

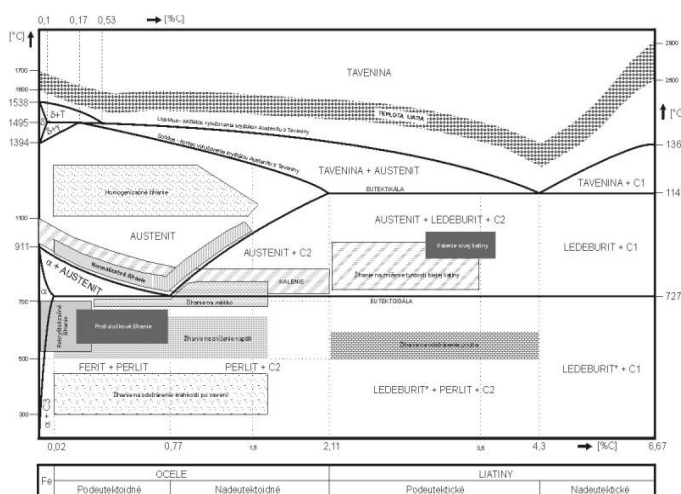
$\vartheta_1$  je teplota ohřevu

$\vartheta_2$  je požadovaná teplota na konci ochlazování

Tepelným zpracováním ovlivňujeme mechanické vlastnosti, jako pevnost, tvrdost, tažnost, vrubovou houževnatost, odolnost proti opotřebení atd. V mnoha případech je s tím spojena změna struktury, proto se vyžaduje znalost rovnovážných diagramů a fázových změn.

Protože dosažení rovnovážného stavu při fázových změnách v tuhém stavu je zcela určováno difúzí, bude pro výsledek tepelného zpracování rozhodující, jaký vliv bude mít průběh difúze. Průběh difúze je ovlivněn jednak teplotou a jednak výdrží (dobou) na určité teplotě, při níž ještě difúze může probíhat. Právě způsob ovlivnění difúze dělí tepelné zpracování do dvou základních skupin:

- Způsoby tepelného zpracování, které difúzi spíše podporují anebo ji brzdí jen málo. Tyto způsoby nazýváme všeobecně žíháním.
- Způsoby tepelného zpracování, které difúzi podstatně brzdí nebo ji úplně zamezují. Přitom nerovnováha stavu slitiny je zpravidla tím větší, čím větší je rychlost ochlazování. Hlavním představitelem je kalení.



## 1.2. Žihání

**Ve většině případů bývá cílem žihání:**

- snížení zbytkových napětí,
- odstranění následků předcházejícího mechanického zpracování,
- zlepšení technologických vlastností (tvažitelnosti za studena, obrobitelnosti),
- zmenšení chemické a strukturní heterogenity.

Rozhodujícím technologickým parametrem žihání je teplota a doba výdrže na teplotě, když ochlazování bývá obvykle velmi pomalé. Žihací teploty jednotlivých postupů vyplývají z rovnovážného diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C .

**Podle teploty lze rozdělit všechny druhy žihání na:**

**Žihání na snížení zbytkových napětí.** Účelem je snížení vnitřních napětí v materiálu při tuhnutí odlitku, chladnutí po tváření za tepla i po tváření za studena, ale i v povrchových vrstvách po třískovém obrábění. Při teplotě žihání 450 až 650 °C je mez kluzu tak nízká, že se zbytková napětí mohou vyrovnat lokální plastickou deformací. Podle velikosti, tvaru a materiálu součásti je nutná 2 až 10 h výdrž na teplotě s pomalým ochlazováním, aby se předešlo vzniku nových zbytkových napětí.

**Žihání rekrytalizační.** Jedná se zpravidla o mezioperační žihání při tváření nízkouhlíkové oceli za studena, které odstraňuje vzniklé zpevnění a regeneruje tvárné vlastnosti. Děje se tak ohřevem na teplotu do oblasti rekrytalizace 550 až 700 °C a vydrží 1 až 5 hodin. Tímto postupem lze i významně měnit tvar a velikost zrna, zpravidla se žihá za účelem zjemnění zrna.

**Žihání na měkko.**

Dochází při něm ke sferoidizaci eutektoidních karbidických částic v důsledku povrchového napětí. Změnou lamelárního perlitu na zrnitý lze u nízkouhlíkových ocelí zlepšit tvažitelnost za studena a u ocelí s obsahem nad 0,4 % C obrobitelnost. Rovněž lze žiháním připravit vhodnou výchozí strukturu pro následné kalení, zejména u eutektoidních a nadeutektoidních ocelí. Rovnoměrné rozložení zrnitých karbidů v základní feritické hmotě ulehčuje následující austenitizaci a zlepšuje celkové vlastnosti po zakalení, čehož se úspěšně využívá zejména u ložiskových ocelí. Teplota žihání je blízká eutektoidní teplotě, případně se pohybuje v jejím okolí.

Zvýšení teploty nad Ac<sub>1</sub> resp. její kolísání kolem této hodnoty usnadňuje a urychluje sbalování karbidických částic. Doba žihání je různá podle druhu oceli i předchozího tepelného zpracování a pohybuje se od 4 h u uhlíkových ocelí po 16 h pro vysokolegované oceli. Žihání je ukončeno pozvolným ochlazováním v peci.

## **Žihání protivločkové.**

Aplikuje se při nadkritickém obsahu vodíku v oceli, kdy dochází k náchylnosti tvorby vnitřních trhlin - vloček. Vločkám lze zabránit dlouhodobým ohřevem (až desítky hodin) při teplotách 650 až 750 °C, kdy v důsledku podstatného zvýšení difuzivity vodíku ve feritu se jeho obsah sníží pod kritickou hodnotu. Žihání je nutné vykonat bezprostředně po odlévání nebo tváření za tepla (před ochlazením na teplotu okolí), kdy přítomný vodík ještě nevytváří molekuly, které už nejsou schopny difúze a tím

i vytěsňují z oceli. Po dlouhodobé výdrži na žihací teplotě je vhodné ochlazovat alespoň do 500 °C velmi pomalu.

Žihání pro odstranění křehkosti po moření. Při odstraňování okují mořením dochází u ocelových součástí k difúzi vodíku do kovu a následné vodíkové křehkosti. Protože při moření je pronikání vodíku do oceli omezené, dá se vodík jednoduše vytěsnit žiháním při teplotě 300 °C až 500 °C po dobu 1 až 4 h

## **Žihání normalizační**

Patří mezi nejužívanější postupy tepelného zpracování oceli, protože zajišťuje jemnozrnnou a rovnoměrnou strukturu po odlévání, tváření či dlouhodobém žihání za vysoké teploty. Klasický postup se užívá výhradně u podeutektoidních ocelí, kdy při teplotě 30 až 50 °C nad AC3 a výdrži 1 až 4 h, vzniká jemná rovnoměrná austenitická struktura, která po ochlazení na vzduchu transformuje na jemnozrnnou feriticko-perlitickou strukturu s příznivými mechanickými vlastnostmi. Výjimečně se aplikuje u nadeutektoidních ocelí k získání lepší redistribuce částic sekundárního cementitu, který se v důsledku pomalého ochlazování z dokovacích teplot vyloučil ve formě síťovin na hranicích zrn. Ohřevem nad Ac<sub>m</sub> se karbidické síťoviny rozpustí v austenitu a rychlejším ochlazováním se zabrání jeho opětovnému vyloučení na hranicích zrn.

## **Žihání homogenizační.**

Snižuje nehomogenitu chemického složení tlustostěnných odlitků, ve kterých došlo k výrazné dendritické segregaci. Dlouhodobým žiháním v rozsahu teplot 1 100 až 1 200 °C (obvykle asi 200 °C pod solidem) dochází dostatečnou difúzní rychlostí uhlíku i dalších prvků ke snížení odmišení a nežádoucí heterogenity. Výdrž na teplotě se řídí velikostí a tloušťkou odlitku a většinou vede k výraznému zhrubnutí zrna, což vyžaduje následné normalizační žihání.

## **Žihání rozpouštěcí.**

Tímto žiháním se rozpouštějí karbidy, nitridy i další intermetalické fáze, což zvyšuje homogenitu austenitu a jeho nasycení legujícími prvky. Nejčastěji se využívá u vysokolegovaných austenitických ocelí, kde žiháním při teplotách 1 050 až 1 150 °C s

následným rychlým ochlazením, které zabrání opětovnému vyloučení fází, se získá čistě austenitická struktura.

### Žihání izotermické.

Spojením tří druhů žihání - normalizačního, na měkko, na snížení vnitřních napětí, do jedné operace lze získat homogennější jemnozrnnou strukturu se zlepšenou obrobitelností. Postup začíná normalizačním žiháním, po kterém se ocel ochladí proudem vzduchu na teplotu 700 až 650 °C, při které v izotermické prodlevě probíhá rozpad metastabilního austenitu na jemný sferoidizovaný perlit. Výdrž na teplotě vyplývá ze znalosti diagramu IRA pro příslušnou ocel. Nakonec následuje ochlazení vzduchem. Proces je zvláště vhodný pro některé střednělegované oceli, které se obtížně žihají na měkko.

## 1.3. Kalení

Cílem kalení je zvýšení tvrdosti, pevnosti a odolnosti proti opotřebení oceli. Tyto vlastnosti nabízejí částečně nebo úplně nerovnovážné struktury, které lze získat ochlazením austenitu nadkritickou rychlostí. Podle fáze, která převládá ve výsledné struktuře, rozlišujeme kalení martenzitické nebo kalení bainitické.

Důležitým parametrem procesu je kalicí teplota, při které je ocel před ochlazením austenitizována. Správná kalicí teplota je u podeutektoidních ocelí asi 30 až 50 °C nad AC3, kde zajišťuje homogenní strukturu austenitu před rozpadem. U nadeutektoidních ocelí stačí ohřev jen asi 20 °C nad AC1, kdy výchozí strukturu tvoří heterogenní směs austenitu a nerozpuštěných karbidů, které po zakalení přispívají ke zvýšení odolnosti proti opotřebení. Nedodržení správné kalicí teploty vede ke zvýšení nežádoucích fází v konečné struktuře (ferit) nebo ke zhrubnutí zrna, což může vést až ke vzniku kalících trhlin.

**Kalitelnost** je schopnost oceli dosahovat ochlazením austenitizační teploty nerovnovážného stavu.

**Zakalitelnost** je dána maximální tvrdostí po kalení a závisí na obsahu uhlíku rozpuštěného v austenitu. Výsledná tvrdost je ovlivněna i vyšší kalicí teploty zvláště u nadeutektoidních ocelí.



## Dělení kalení

- **Kalení základní** (obyčejné) je nejjednodušší, teplota klesá plynule pod *MS*, kdy začne transformace austenitu na martenzit. Vznikají velká zbytková napětí, maximální deformace a proto není vhodné pro kalení tvarově složitých výrobků.
- **Kalení lomené** začíná ochlazováním nadkritickou rychlostí k potlačení perlitické přeměny (např. ve vodě) a pokračuje ochlazením v mírnějším prostředí (např. olej). Tím se zmenšuje rozdíl teplot na povrchu a ve středu výrobku a snižuje se tepelná napětí.
- **Kalení izotermické** je podobné termálnímu kalení s tím, že prodleva trvá v oblasti bainitické přeměny až do ukončení izotermického rozpadu austenitu. Tepelná i strukturální napětí jsou minimální, není nebezpečí deformace a vzniku trhlin. Nejstarším způsobem izotermického kalení je patentování, používané při výrobě drátů s vysokou pevností.
- **Kalení termální** dovoluje vyrovnat teploty v celém objemu kaleného předmětu, snížit tepelná napětí a zmenšit deformaci díky prodlevě nad teplotou *MS*. Ochlazení v intervalu martensitické přeměny probíhá zpravidla na vzduchu. Postup je vhodný pro tenkostěnné výrobky složitých tvarů z ocelí, které mají bainitickou oblast dostatečně posunutou vpravo.
- **Kalení zrn zmrázováním** vyžaduje dochlazení ve zmrazo-vacích lázních (ochlazovaných tekutým dusíkem), které má zabránit stabilizaci ZA (zbytkový austenit) u ocelí s nízkými teplotami *MS* a *Mf*. Aplikuje se na výrobky pracující při záporných teplotách, u měřících nástrojů a u ocelí na ložiska, kde se vyžaduje tvarová stabilita.
- **Kalení nepřetržité bainitické** se provádí u ocelí s bainitickou oblastí významně posunutou doleva. Výslednou strukturu tvoří směs bainitu, martenzitu a zbytkového austenitu.

## I.4. Popouštění

Popouštění je způsob tepelného zpracování ocelí, který zpravidla následuje bezprostředně po kalení. Ohřevem zakalené oceli na teploty nepřevyšující AC1 dochází k rozpadu martenzitu a k přeměně zbytkového austenitu. Změny struktury a z nich vyplývající změny mechanických vlastností závisí především na výši propouštěcí teploty. Z technologického hlediska existuje:

- **popouštění při nízkých teplotách (do 300 až 350 °C), které snižuje zbytková napětí po kalení, zmenšuje obsah ZA a stabilizuje rozměry,**
- **popouštění při vyšších teplotách (nad 450 °C), při kterém dochází k úplnému rozpadu martenzitu, což se projevuje znatelným poklesem tvrdosti a pevnosti, ale také růstem plasticity a houževnatosti.**

# 2. TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ PLECHŮ

## 2.1. Technologie plošného tváření - stříhání

Stříhání je nejrozšířenější operací tváření.

Používá se jednak na:

- přípravu polotovarů (stříhání tabulí nebo svitků plechů, stříhání profilů, vývalků, apod.)
- vystřihování součástek z plechu buď pro konečné použití nebo pro výrobky na další technologie (ohýbání, protlačování, tažení, atd.)
- dokončovací a nebo pomocné operace.

**Patří sem:**

- děrování,
- vystřihování,
- ostřihování,
- přistřihování, atd.

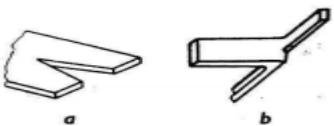
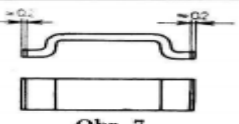
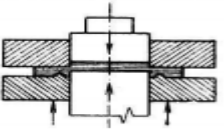
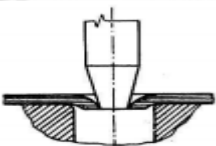
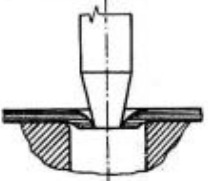
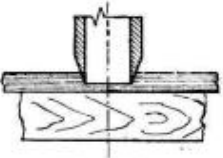
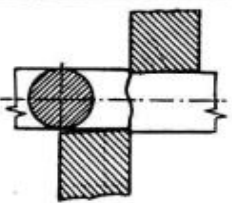
**Stříhání se může podle teploty procesu dělit:**

- na stříhání **za studena** - jen pro měkčí oceli (do pevnosti 400 MPa) a nebo pro plechy,
- na stříhání **za tepla** - pro tvrdší a tlustší materiály při ohřevu asi na teplotu 700 °C

Operace	Schéma	Definice
děrování	<p>Obr. 1.</p>	Vytváření otvorů různých tvarů. Vystřížená část tvoří odpad.
ostřihování	<p>Obr. 2.</p>	Oddělování přebytečného materiálu po obvodu součástí.

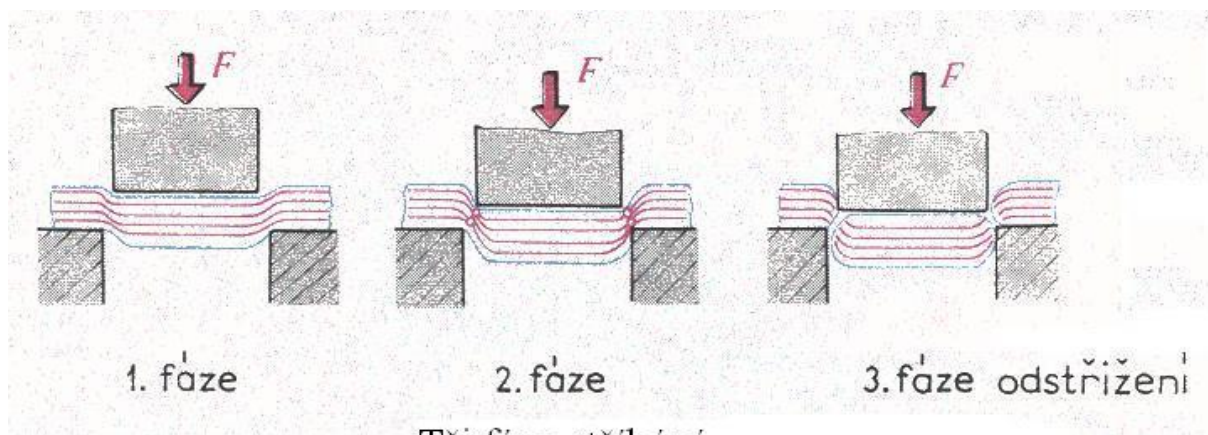
plošné

Stříhání plošné	<p>Obr. 2.</p>	
	<p>Obr. 3.</p>	Částečné oddělení materiálu v libovolném tvaru uvnitř dílce.
	<p>Obr. 4.</p>	Zhotovení výstřížku oddělením od materiálu po uzavřeném obrysu. Vystřížená část tvoří výrobek.
<p>Obr. 5.</p>	Oddělování části v okraji i uvnitř materiálu. Vystřížená část tvoří odpad.	

Operace	Schéma	Definice
Stříhání plošné	<p>nastříhování</p>  <p>Obr. 6.</p>	Částečné oddělení materiálu v okraji tak, že není úplně oddělen.
	<p>přistříhování</p>  <p>Obr. 7.</p>	Dosažení přesných tvarů, rozměrů nebo hladkých ploch.
	<p>přesné vystříhování</p>  <p>Obr. 8.</p>	Vystříhování upravené pro dosažení hladkých a přesných střížných ploch bez dalšího opracování.
	<p>protrhávání</p>  <p>Obr. 9.</p>	Vytvoření hrotů, otvorů, výstupků v plochém materiálu, přičemž se materiál vyhne z původní roviny.
Stříhání objemové	<p>protrhávání</p>  <p>Obr. 9.</p>	Vytvoření hrotů, otvorů, výstupků v plochém materiálu, přičemž se materiál vyhne z původní roviny.
	<p>vysekávání</p>  <p>Obr. 10.</p>	Oddělování nekovového materiálu nástrojem na podložce.
	<p>stříhání profilů, tyčí, trubek apod.</p>  <p>Obr. 11.</p>	Dělení profilů, tyčí a trubek podle neuzavřeného obrysu noží, které se míjejí při proměnné tloušťce stříhaného průřezu.

## 2.2. Princip stříhání

Stříháním je oddělování části materiálu působením protilehlých řezných hran způsobujících v řezné rovině smykové napětí. Princip stříhání je ukázán na obrázku. Stříhání probíhá ve třech fázích.



**V první fázi** je oblast pružných deformací, kdy se materiál stlačuje a ohýbá a vtačuje se do otvoru střížnice.

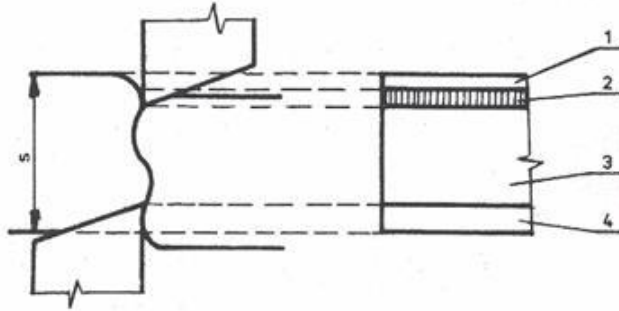
**Druhou fází** je oblast plastických deformací. Střížník se vtačuje do plechu a ten do otvoru střížnice a napětí překračuje mez kluzu a na hranách střížníku a střížnice se blíží mezi pevnosti.

**Ve třetí fázi** začínají na hranách vznikat trhlinky, ty se rozšiřují, až dojde k utržení (usmýknutí) materiálu.

Výstřížek se oddělí dříve, než projde střížník celou tloušťkou stříhaného materiálu a následně je výstřížek vytlačen. S ohledem na to nejsou okraje stříhových ploch zcela rovinné a střížná plocha má určitou drsnost, která není v ploše rovnoměrně rozdělená.

Místa, kde došlo k prvnímu výskytu trhlin, jsou drsnější, než ostatní střížné plochy. Oddělení však nenastane přesně v žádané rovině a to proto, že materiál je elastický, tvárný a napětí způsobuje tlak nožů na celé ploše – podle toho rozeznáváme na odstříhnuté ploše různá pásma.

Stříhání je tedy 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.



Deformační pásma při stříhání

1 - pásmo zaoblění (elastická deformace), 2 - pásmo utržení, 3 - pásmo smyku (plastické deformace), 4 - pásmo odtlačení

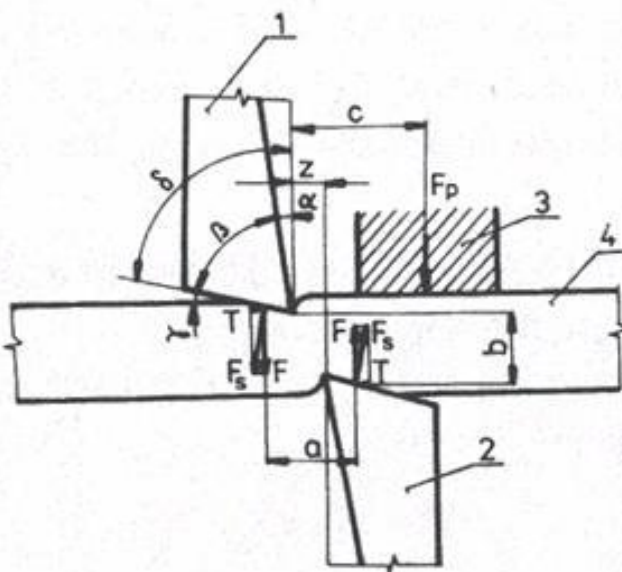
## 2.3. Výpočet síly a práce pro rovnoběžné nože

V důsledku mezery mezi střížníkem a střížnicí střížné síly nepůsobí při skutečném procesu ideálně v jedné rovině, kdy střížná síla  $F_s$  se rozkládá na složku třecí ( $T$ ) a normálovou ( $F$ ), což způsobuje jednak vznik ohybových momentů a jednak vznik jednotlivých pásem na konečném výrobku nebo polotovaru.

Moment  $M_p = F \cdot a$  se snaží materiál natočit, čemuž je možné zabránit použitím přidržovače, klopný moment  $M_T = T \cdot b$  je možno zmenšit zvětšením úhlu čela  $\gamma$ .

Sílu přidržovače určíme ze vztahu  $F \cdot a = F_p \cdot c$ , kde  $a$  je 1,5 až 2 násobek střížné mezery (a je označena jako  $z$ ).

Složka síly  $T$  se snaží od sebe nože oddálit a nastává jejich ohyb (nebezpečí zlomení).



Princip a silové působení u stříhu s rovnoběžnými noži

1 – horní pohyblivý nůž, 2 – dolní pevný nůž, 3 – přidržovač, 4 – stříhaný materiál

Velikost střížné síly při stříhu s rovnoběžnými noži se vypočítá ze vztahu:

$$F_s = (1,1, 1,3) \cdot O \cdot s \cdot \tau_s$$

kde

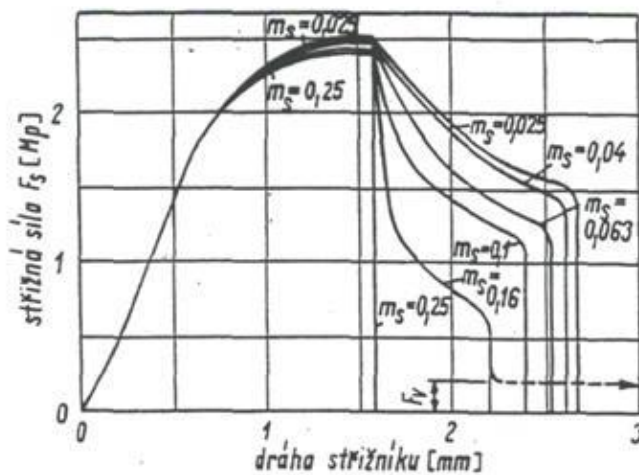
$s$  ... tloušťka plechu [mm],

$O$  ... střížný obvod [mm],

$\tau_s$  ... napětí ve smyku, stříhová pevnost -  $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$  [MPa],

$S$  ... plocha průřezu ve střížné rovině

-  $S = O \cdot s$  [mm<sup>2</sup>].



Průběh síly při stříhání rovnoběžnými noži s ukázkou vlivu střížné mezery na průběh střížné síly  $F$  a velikost práce  $A$

Protože napětí ve smyku, stříhová pevnost, je hodnota závislá od poměrného vtlačení nože do materiálu, vzorec nebude platit v plném rozsahu střížného procesu, ale střížná síla se bude měnit od nuly po určité maximum a zpět na nulu, což závisí samozřejmě na tloušťce materiálu, méně na střížné mezeře.

Při skutečném stříhání nevzniká čistý smyk, ale kombinované namáhání, nože se otupují, proto se skutečná střížná síla zvýší o 10 až 30 %. Střížná práce se bude rovnat ploše pod křivkou a je závislá na střížné mezeře.



$$A = F_s \cdot k \cdot z$$

kde

$k$  ... koeficient zaplnění plochy pod křivkou

$z$  ... zdvih [mm].

## 2.4. Výpočet síly a práce pro šikmé nože

Pro výpočet střížné síly a práce potom platí analogický vzorec, vztažený na plochu trojúhelníka ve tvaru

$$F_s = (1,1, 1,3) \cdot s \cdot b \cdot \tau_s = (1,1, 1,3) \cdot s^2 \cdot \tau_s / \operatorname{tg} \varphi$$

kde

$s$  ... tloušťka plechu [mm],

$b$  ... délka stříhu -  $b = a / \operatorname{tg} j$  [mm],

$\varphi$  ... úhel stříhu, uhel sklonu nožů (2 až 6° pro tabulové nůžky, 7 až 20° pro pákové nůžky)

$\tau_s$  ... napětí ve smyku -  $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$  [MPa].

$$A = F_s \cdot k \cdot z = F_s \cdot k \cdot b \cdot \operatorname{tg} \varphi$$

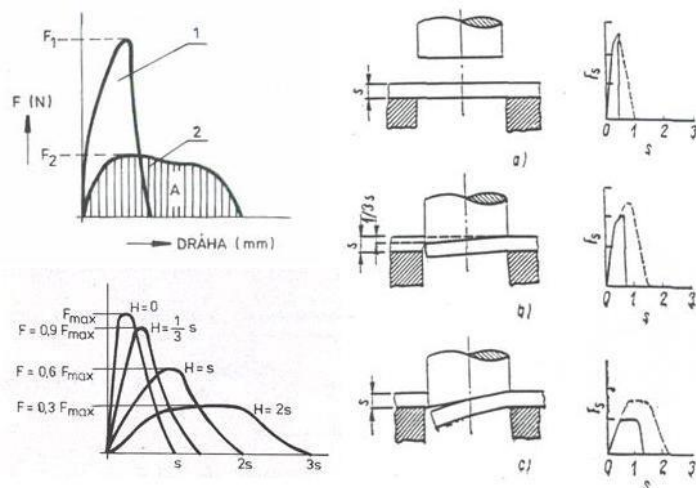
kde

$k$  ... koeficient zaplnění plochy pod křivkou

$z$  ... zdvih [m].

Vypočítaná síla zůstává konstantní, když nastane záběr nože v celé tloušťce. Velikost střížné síly začne klesat, když nože odchází ze záběru a nakonec klesne na nulu. Potřebná velikost práce se vypočítá ze vztahu a je opět rovna ploše pod křivkou.

Při porovnání střížné síly a velikosti práce při stříhání rovnými a šikmými noži je jasné patrné, že stříhání se šikmými noži je výhodnější, neboť pro stejnou tloušťku plechu a délku stříhu je potřeba mnohem menší síla, než u rovných nožů, ale na druhé straně budeme stříhat po delší dráze. Zmenšení střížné síly podstatně zmenšuje rázy.



Porovnání průběhu sřížné síly a velikosti práce při stříhání rovnými a šikmými noži (vlevo nahoře) a vliv úhlu zešikmění na průběh síly a velikosti práce (vlevo dole) s vyjádřením průběhů pro zkosení 0,  $1/3 H$  a  $H = s$  (vpravo – plná čára je pro normální stříh, šrafovaná čára pro přesné stříhání).

## 2.5. Rozdělení stříhání

**Podle konstrukce nožů (střížníků) se stříhání dělí na:**

- stříhání rovnoběžnými noži,
- skloněnými noži,
- kotoučovými noži,
- noži na profily a tyče.

### Stříhání rovnoběžnými noži

Ke stříhání rovnoběžnými noži se používá střížný nástroj, který se skládá ze střížníku a střížnice mezi kterými je střížná vůle, resp. střížná mezera  $m_s$  ( $1/2$  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).

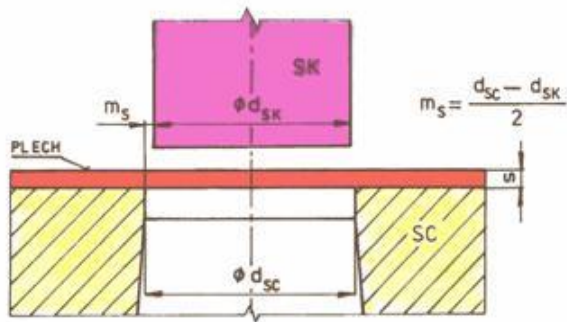
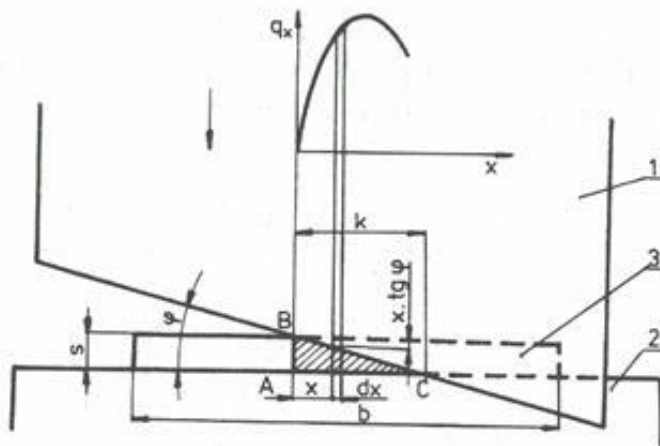


Schéma stříhání pomocí střížného nástroje (SK – střížník, SC – střížnice)

### Stříhání šikmými noži

Stříhání šikmými, skloněnými, noži, které při stříhání svírají určitý úhel je výhodné proto, že se při tomto způsobu zmenší celková potřebná střížná síla oproti stříhání na rovných nožích.

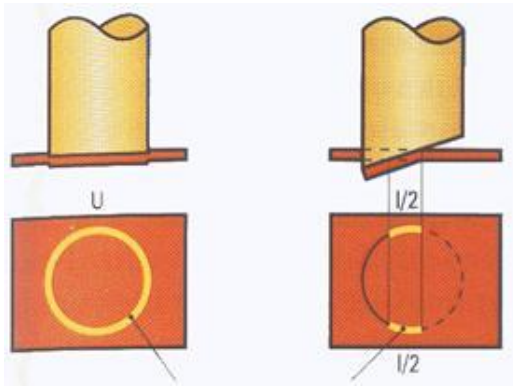
Materiál se stříhá postupně. Pro velikost střížné síly bude rozhodující velikost střížné hrany a tloušťky - plochy trojúhelníka.



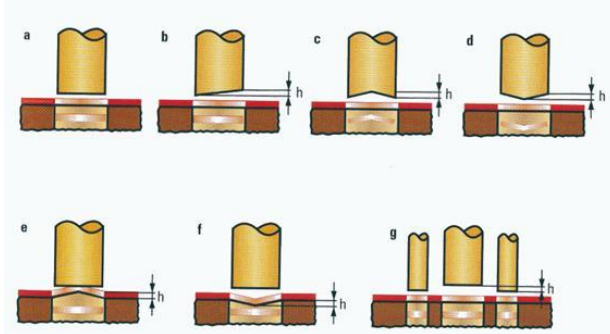
### Stříhání skloněnými, šikmými, noži

(1 – horní pohyblivý nůž, 2 – dolní pevný nůž, 3 – stříhaný materiál)

Podobně jako u jednoduchého rovného stříhání je i v tomto případě průběh okamžité síly možno regulovat, i když naproti tomu se celková práce, vynaložená na stříhání, nezmenší. U nástrojů, stříhadel, složených ze střížníku a střížnice, používaných pro dva nejrozšířenější způsoby stříhání, tj. děrování a vystřihování, to lze provést dvěma způsoby:



Porovnání délky stříhu při stříhání rovnými, resp. šikmými noži

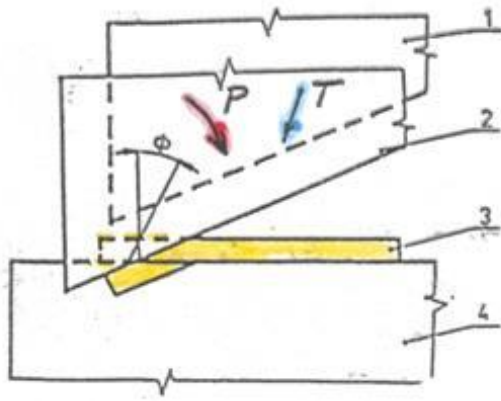


Úpravy střížníku a střížnice (a – rovný stříh, b – jednostranné zkosení střížníku, c, d – oboustranné zkosení střížníku, e, f – zkosení střížnice, f – stupňovité uspořádání střížníků)

Stříhadla se zkoseným ostřím používáme tehdy, když chceme zmenšit střížnou sílu, která je větší jak síla lisu. Na vystřihování se zkosení dělá oboustranné a to na střížnici, výrobek je rovný, odpad ohnutý. Způsob oboustranného zešikmení vyrovnává síly na střížníku a nevychyluje jej z osy. Jednostranné zkosení střížníku se používá jen pro nastřihování. U děrování je střížnice rovná a střížník zkosení, výrobek je rovný, odpad ohnutý. Při stříhání složitých tvarů se nedoporučuje provádět zkosení ostří.

Do šikmého stříhu počítáme i pákové nůžky, jejichž nože se pohybují úhlových sklápěním. Protože sklápěním přímkových nožů se úhel  $\lambda$  mění, staví se často pákové nůžky s jedním nebo oběma noži obloukovými, takže úhel  $\lambda$  zůstává po střížné čáře konstantní.

Zvláštním způsobem stříhání se skloněnými noži je tahaný stříh, kdy úhel stříhu (tažení)  $\varphi$  je roven 2 až 10° a tento způsob je používán pro stříhání vláknitých látek, kde se sníží střížná síla až o 20 % při úhlu  $\varphi = 70^\circ$ .



### *Střihání materiálu taháným stříhem*

*(1 - východisková poloha pohyblivého nože, 2 - poloha pohyblivého nože při stříhu, 3 - dolní pevný nůž, 4 - stříhaný materiál)*

### **Střihání kruhovými noži**

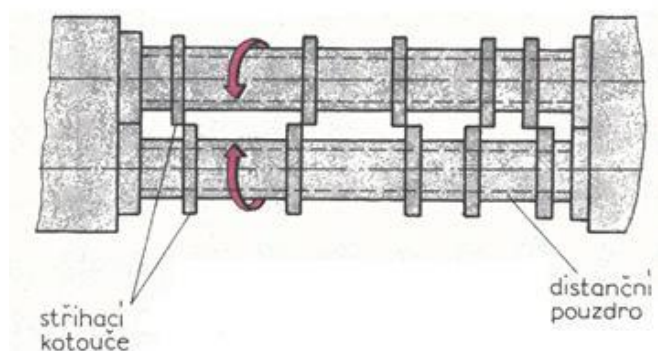
Pro podélné střihání dlouhých pásů se staví nůžky kotoučové, kruhové. Je to střížný nástroj s odvalujícími se noži.

Použití kruhových nožů prodlužuje čas stříhu, ale snižuje rázy při stříhání. Sklon řezné hrany se mění od nejvyšší hodnoty v místě záběru do nuly.

Kombinace dvojkuželového a válcového nože je určena pro stříh zakřivených tvarů, s výhodou skloněných os nástrojů.

Na křivkové střihání je potřeba zvolit průměr nožů co nejmenší. To umožňuje konstrukci nůžek s dlouhými rameny nesoucími kotouče, a tím i snadnou manipulaci se stříhaným materiálem.

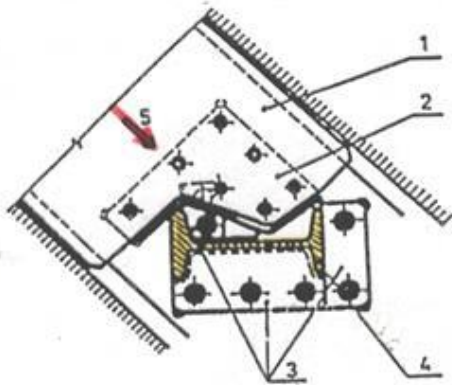
Speciálním nástrojem jsou kmitací nůžky. Slouží k ostříhování výlisků a k vystřihování drážek a děr. Maximální tloušťka materiálu je kolem 10 mm.



*Kotoučové nůžky při stříhání pásů*

## Stříhání noži na profily a tyče, trubky

Často se stříhá také profilový materiál, čtvercový, kruhový, profily, atd. Zatímco příčný průřez funkčních částí nástrojů zůstává ve všech případech zhruba beze změny, mění se podélný tvar podle účelu stříhu.

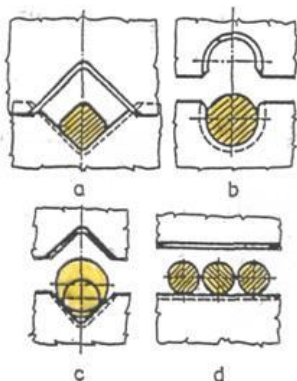


### Nože na stříhání profilu

(1 – střížník, 2 – pohyblivý nůž, 3 – pevný nůž, 4 – stříhaný profil, 5 – směr pohybu nože)

Při stříhání jakéhokoliv profilového materiálu platí zásada, aby přestříhovaná tloušťka v každém okamžiku byla téměř stále stejná. Této zásadě se potom přizpůsobuje obrys pohyblivého nože. Na obrázku je ukázán tvar nože pro stříhání profilů a tvar nožů určený jednak pro stříhání čtvercových profilů, jednak tvar nožů pro stříhání kulatiny. Při šikmém posuvu pohyblivé části nástroje se docílí rovnoměrnějšího průběhu střížné síly v závislosti na zdvihu, než kdyby se volil pohyb nože podle některé z os průřezu.

Při stříhání trubek, při jejich pokud možno minimálním zdeformování, má pohyblivá část nástroje tvar oblouků zakončených špičkou. Zašpičatělá část nejprve trubku propíchne, boky potom trubku stříhají tak, že výslednice sil na břitu směřuje kolmo vůči směru nejvyšší tuhosti. Střížná mezera není rovněž po celé délce stejná, od krajů směrem ke středu roste.



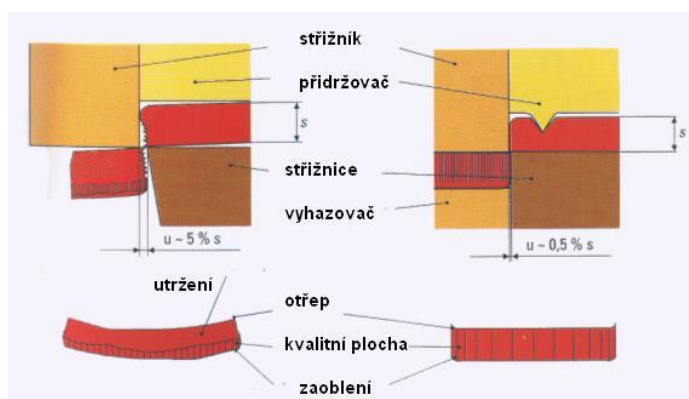
### Nože na čtvercový a kruhový materiál

(a – čtvercový průřez, b – kruhový průřez, c – kruhový průřez s rozdílným průměrem, d – kruhový průřez s povolenou deformací profilu)

# 3. PŘESNÉ STŘIHÁNÍ A SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY STŘIHÁNÍ

## 3.1. Přesné střihání

Při popsáných metodách stříhu má střížná plocha i vystřižený kus určitou standardní jakost. Jedná se o drsnost povrchu střížné plochy a přesnost střížných rozměrů. Kvalita stříhu pro normální a přesné střihání.



### *Kvalita stříhu pro normální a přesné střihání*

Aby bylo možno stříhané díly používat přímo na montáž bez z dalších úprav, snažili se technologové vylepšit střížný proces. Všechny metody, zlepšující jakost povrchu střížné plochy a zpřesňující stříhané rozměry se uvádějí pod společným označením - přesné střihání.

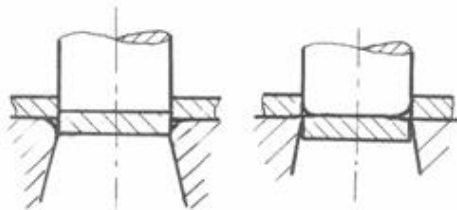
Pro kvalitu výstřížku je velmi důležitá vůle (mezera) mezi střížníkem a střížnicí, neboť se zmenšující se mezerou se eliminují tahové složky napětí od ohybového namáhání a napjatost se blíží čistému smyku.

### **V zásadě metody přesného střihání lze rozdělit na výrobu výstřížků:**

- v jedné operaci, a to na střihání bez vůle, střihání s přidržovačem, střihání s nátláčnou hranou, střihání s nátláčnou hranou a protitlakem, reversní střihání, střihání se zápornou vůlí, střihání na lisech ESSA,
- ve dvou operacích, a to na přistřihování, vibrující střížník.

## Střihání bez vůle

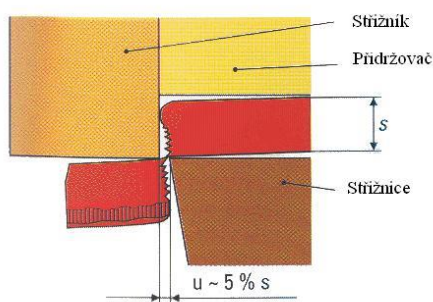
Střihání bez vůle je ukázáno na obrázku. Jedna funkční část nástroje, buď střížník nebo střížnice je vypracována bez břítu, se zaoblením střížné strany. Druhá část je nabroušena. Uspořádání vlevo je určeno pro kvalitní povrch díry, vpravo pro kvalitní povrch výstřížku.



*Střihání bez vůle*

## Střihání s přidržovačem

Proti ohýbání okrajů výstřížků i pro zlepšení povrchu střížných ploch působí použití přidržovače při střihání. K tahové složce napjatosti přibývá složka tlaková, která zlepšuje stav napjatosti v místě střihu.

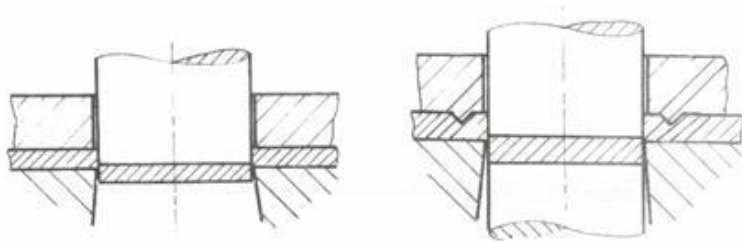


Použití přidržovače

## Střihání s nátláčnou hranou

Zatím nejlepší výsledky v oboru přesného střihání přináší tzv. střihání s nátláčnou hranou, resp. střihání s nátláčnou hranou. Nátláčná hrana se prolisuje v oblasti střížného obvodu, kde změní napjatost ve střížné ploše na trojosou, nátláčná hrana způsobí navíc složku tlakovou, která usnadňuje přiblížení k čistému smyku. Protitlak je zajištěn odpruženým spodním lisovníkem. Toto uspořádání umožňuje střihání načisto i u poměrně tlustých materiálů. Pro tlustší materiály (tloušťka větší, jak 5 mm) se můžou použít dvě obvodové hrany, nebo jedna na střížníku a jedna na střížnici.

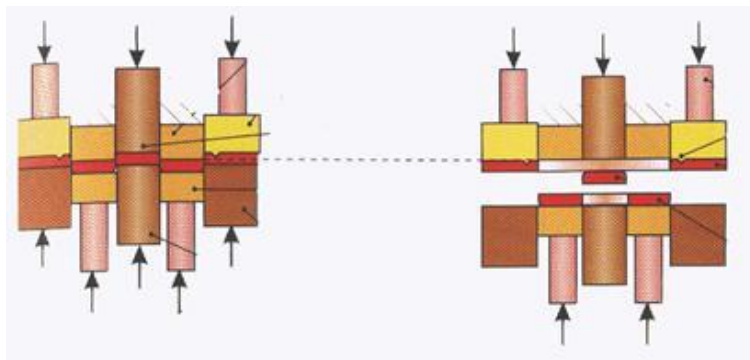




*Stříhání s přidržovačem (vlevo) a stříhání s nátlacnou hranou a protitlakem (vpravo)*

## Reversní stříhání

Reversní stříhání je založeno na sevření polotovaru tak, že se neprojevují tahové složky napjatosti.



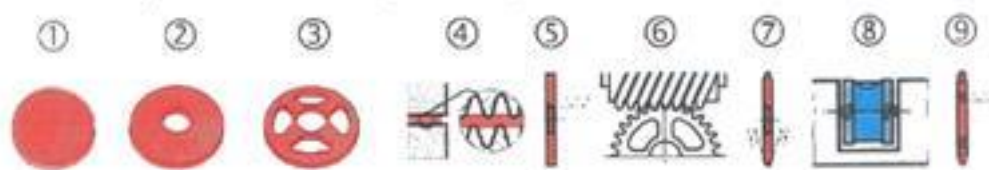
*Reversní stříhání*

## Stříhání se zápornou vůlí a na lisech ESSA

Stříhání se zápornou vůlí je proces, kdy střížník nepronikne do otvoru ve střížnici. Průměr střížníku je zhruba o 0,1 až 0,2 % tloušťky plechu větší, než je průměr střížnice. Střížník musí zůstat nad rovinou střížnice ve vzdálenosti 0,2 až 0,5 mm a tím vyvolává v materiálu (mezikruží) tlakové napětí, kdy však střížná síla je větší.

Stříhání na lisech ESSA je proces, kdy střížník nejenom stříhá, ale i kmitá a tím střížnou plochu vyleští.

### Konvenční výroba řetězového kola pro motocykl



### Výroba řetězového kola pro motocykl přesným stříháním



1. vystřihování
2. děrování
3. děrování odlehčujících otvorů
4. vyrovnávání povrchu
5. soustružení vnitřní díry a oboustranné zkosení hran
6. frézování zubů (odvalování)
7. úprava zubů
8. vrtání otvorů
9. úprava otvorů, odstranění ořepů

## 3.2. Nástřihové plány

Při stříhání je velmi důležité výstřižky rozmístit na pásu plechu tak, aby odpad byl co nejmenší. Rozmístění výstřižků na pásu plechu je potom označováno jako nástřihový plán. Odpad (ať už technologický nebo konstrukční) je nedílnou součástí technologie stříhání, která patří mezi hromadné výrobní procesy, proto se musí rozmístění výrobků věnovat velká pozornost. Vždyť materiál tvoří zhruba 60 až 75 % celkových nákladů. Volba nástřihového plánu závisí na tvaru a konstrukci výrobku, na dodržování zásad konstrukce, na minimálních vzdálenostech mezi výrobky a od okraje pásu.

Nástřihový plán může být buď kusový, kdy se určuje nejvýhodnější způsob stříhání nebo skupinový, kdy se budou stříhat různé tvary a součásti jednoho výrobku.

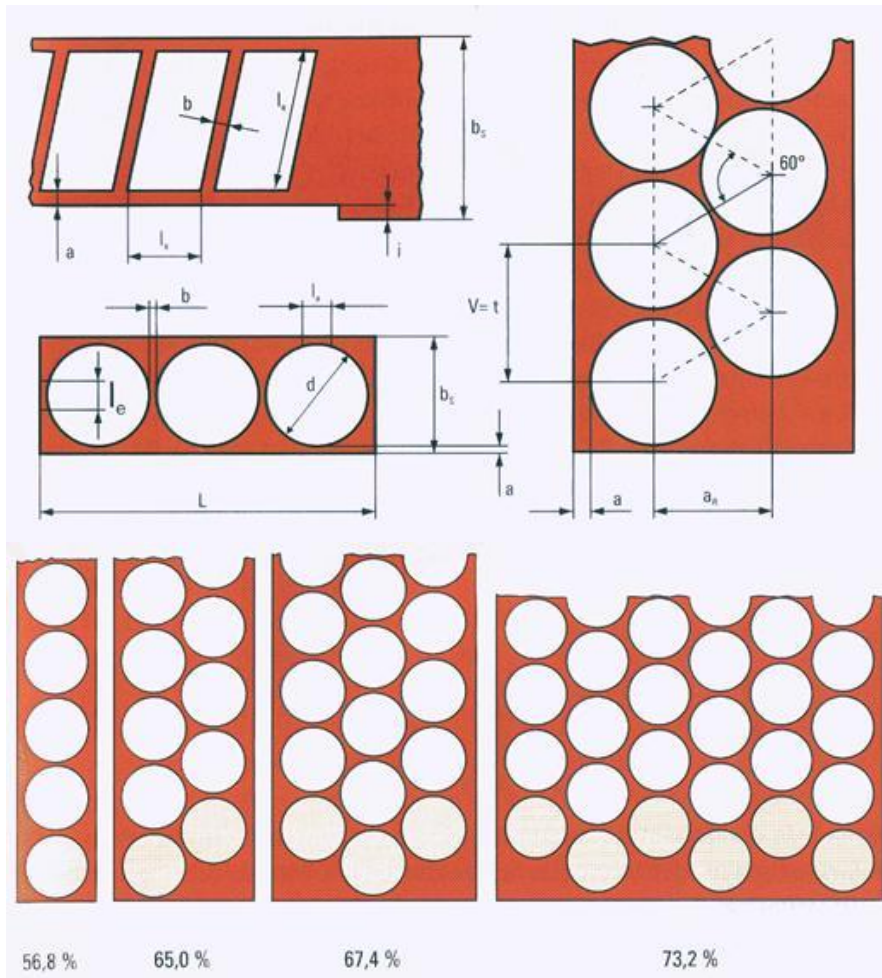
Hospodárnost nástřihu charakterizuje součinitel využití materiálu, který lze zapsat ve tvaru:

$$\eta = S_o / S_p$$

kde

$S_o$  ... celková plocha výstřižků [mm<sup>2</sup>],

$S_p$  ... plocha pásu plechu [mm<sup>2</sup>].



### 3.3. Nástroje pro stříhání

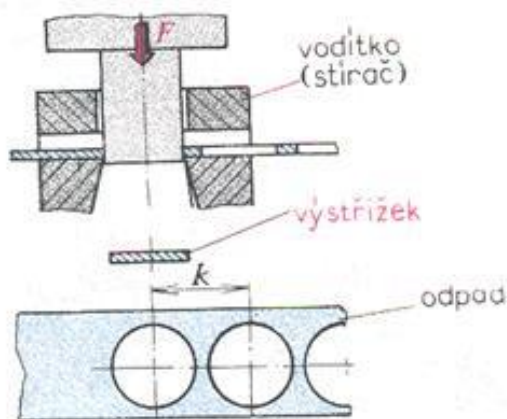
Nástroje pro stříhání, stříhadla, jsou nástroje, kdy funkci horního pohyblivého nože vykonává **střížník** a funkci spodního pevného nože **střížnice**.

**Můžeme je rozdělit:**

- podle počtu operací na
  - jednoduché,
  - postupové,
  - sloučené,
  - sdružené,
  - sdružené postupové,
- podle základní práce na
  - stříhací,
  - ohýbací,
  - tahací, atd.
- podle počtu výrobků
  - jednonásobné
  - vícenásobné.

#### Jednoduché střížné nástroje

Prvním nástrojem je jednoduché střížný nástroj, který je určen pro jednu operaci. Poloha pásu je zajištěna pevným dorazem, posuv je o hodnotu kroku (velikost výrobku plus přídavek)

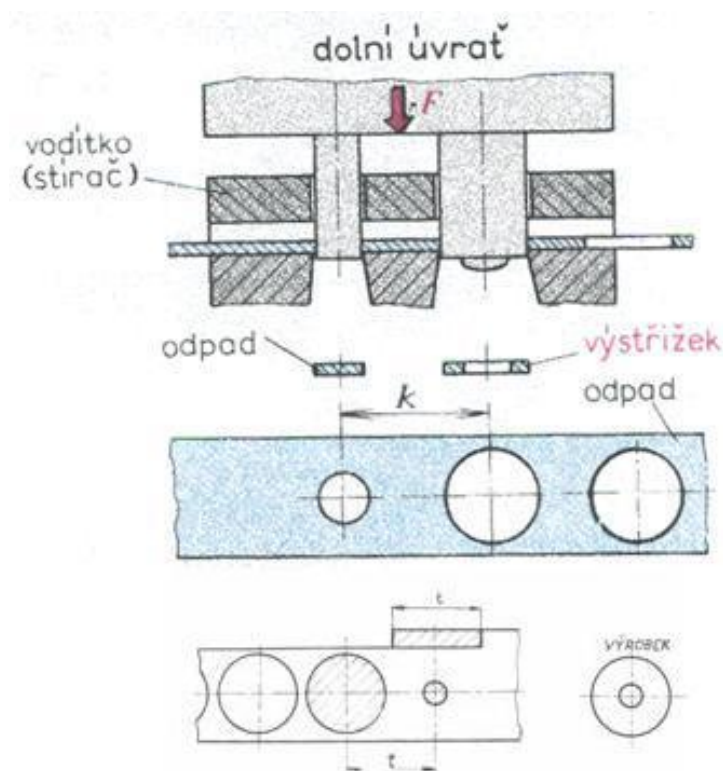


Jednoduchý střížný nástroj

## Postupové střížné nástroje

Postupový střížný nástroj zhotovuje výstřížek postupně, na několik operací na několik kroků. Používá se načínací doraz při vložení nového pásu, dále je poloha pásu zajištěna pevným koncovým dorazem.

Funkci nástroje lze pochopit z obrázku. Jsou na něm šrafované 3 plochy, které se vystříhnou na 1 zdvih. Obdélníková plocha je odstřížena stranovým střížníkem a zajišťuje míru tzv. kroku, tj. posuvu pásu o rozteč  $t$ . Kruhové plochy různých průměrů patří různým výstřížkům. Posuv pásu je zprava doleva. Pravý (malý) kruhový výstřížek padá do odpadu, z levé části nástroje propadají hotové výrobky – podložky



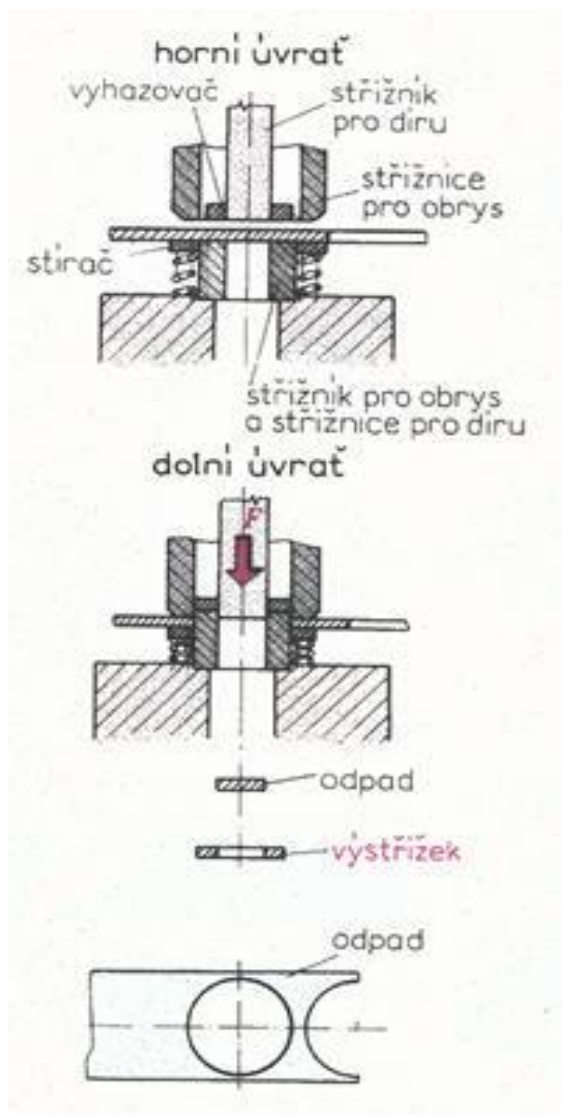
## Postupové stříhadlo

### Sloučené a sdružené střížné nástroje

Sloučený střížný nástroj se konstruuje pro několik operací na jeden krok. Tak např. při stříhání dochází jak k děrování, tak i k vystřihování.

Oproti tomu sdružený střížný nástroj se konstruuje pro sdružení různých pracovních úkonů na jeden krok (např. stříhání, ohýbání, tažení, atd.), resp. na více kroků. Potom mluvíme o sdruženém postupovém nástroji. Jednotlivé operace jsou zajištěny konstrukcí

střížníku, resp. konstrukcí nástroje.



*Sloučené stříhadlo*

## 3.4. Speciální způsoby stříhání

### Stříhání pomocí pryže

Stříhání pomocí gummy se používá pro stříhání výstřížků z tenkého plechu. Nástrojem je zde ocelová deska o tloušťce 6 až 10 mm, jejíž obrys je shodný s obrysem konečného výrobku. Protinástrojem je pryž, která je buď uzavřená v rámu nebo je volně položená na součástku, polotovaru.

Nástrojem na stříhání gumou lze dělat operace ostříhování, děrování otvorů, sloučené operace ostříhování a děrování. Pryžová deska má tloušťku asi 150 mm a je složena z více kusů.

Ocelový rám je velmi namáhaný, stejně jako ocelová střížná deska, která musí být hladká, aby nezanechala stopy na výstřížku.

Výhody spočívají v jednoduchém a levném nástroji, možnost tříhat více součástí najednou, je zde možná kombinace s tažením. Nevýhody jsou velký odpad, omezení tloušťkou a malá životnost pryže.

### **Stříhání se zvýšenou rychlostí**

Stříhání se zvýšenou rychlostí je založeno na zmenšení objemu s vyčerpanou plasticitou na minimum, dráhy trhlin od střížných hran jsou velmi blízké a výsledkem jsou kolmé a rovinné střížné plochy.

To vše je možné pouze při kritických rychlostech, pro uhlíkové oceli kolem 3 až 5 m. s<sup>-1</sup>.

# 4. TECHNOLOGIE OBJEMOVÉHO TVÁŘENÍ – PROTLAČOVÁNÍ

## 4.1. Protlačování

Protlačování je technologie, kterou můžeme provádět za tepla, za poloohřevu a za studena. Napjatost v přetvářeném elementu materiálu je trojosá, všestranné tlaková. Tvářený materiál se přemísťuje a jeho směr pohybu je určen konstrukcí nástroje – protlačovač. Výrobek se nazývá protlaček .

Tuto technologii je možno dělit do dvou skupin. První se týká výroby finálních výrobků, druhá výroby polotovarů (trubek, tyčí, profilů, apod.). Protlačování za studena je u lehkých a barevných kovů známo již přes 100 let. Tímto způsobem se vyráběly a vyrábějí např. tuby, nábojnice, apod.

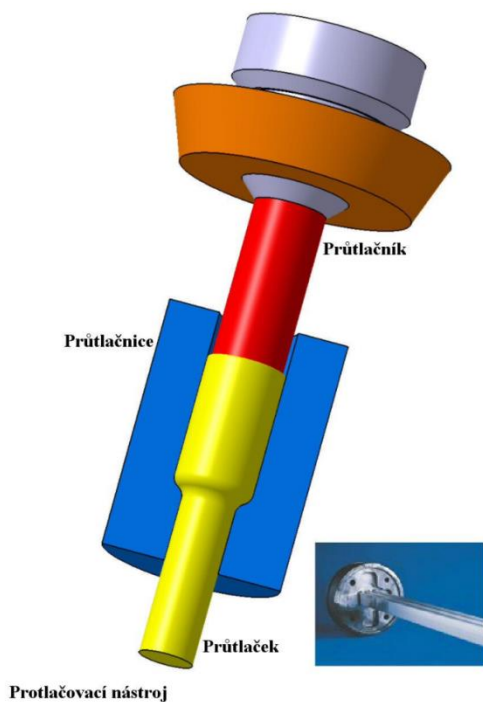
### Za tepla

- Tímto způsobem vyrábíme plné a duté profily se složitým průřezem, které nemůžeme vyrábět válcováním.

### Za studena

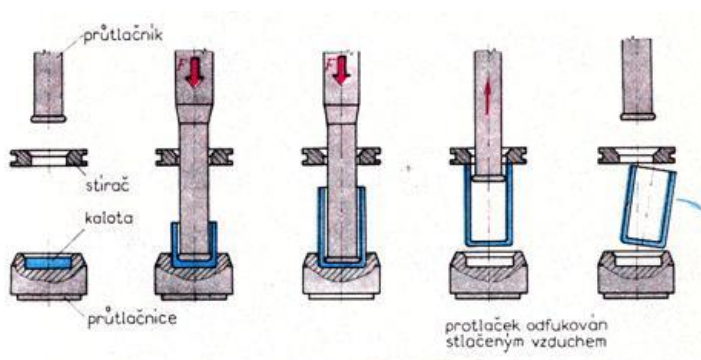
- Tímto způsobem vyrábíme tělesa s tenkou stěnou-nábojnice, tuby, sprejové nádoby.





## 4.2. Princip protlačování a vliv materiálu

**Principem protlačování** je deformace materiálu v důsledku působících sil do předem stanoveného směru s konečnými výhodnými mechanickými a rozměrovými vlastnostmi konečného výrobku. Protlačování je jedním z procesů, které přispěly k výraznému snížení vlastních nákladů ve výrobě, tedy i k racionalizaci výroby. Přesnost průtlačků je obvykle velmi vysoká ( $\pm 0,05$  mm), takže není nutno před montáží průtlačky rozměrově upravovat. Také využití materiálu je vysoké, 90 až 100 %



*Jakost a výchozí stav materiálu má výrazný vliv na technologii a proces protlačování.*

Vzhledem k velikosti přetvárných odporů jsou pro protlačování vhodné materiály s tažností větší, než 10 % a kontrakcí větší, než 50 % (oceli s obsahem uhlíku do 0,2 % C).

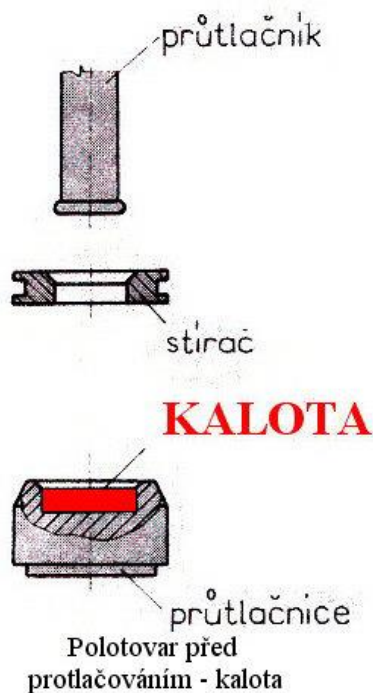
Nevhodné jsou materiály, u kterých je nutno vynaložit specifický tvářecí tlak větší jak 2500 MPa a nebo nelze během jedné operace v důsledku chemického složení (tedy zpevnění) získat deformaci alespoň 25 %.

Materiály s nízkou přetvárnou pevností, 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 žíhání (nejdříve rekrytalizační a potom na měkko).

Maximální redukce na jednu protlačovací operaci je omezena přípustným namáháním nástroje. Redukce u oceli např. s obsahem 0,1 % C je až 60 %.

Před vlastním protlačováním je nutná úprava materiálu rovnáním a dělením na kaloty včetně tepelného zpracování. Následuje povrchová úprava.



## 4.3. Výpočet síly a práce

Na protlačování za studena jsou potřebné velké deformační síly, které závisí na chemické složení materiálu, přípravě a tepelném zpracování, mazání, geometrii nástroje (čím větší, tím větší síla), velikosti redukce (čím větší, tím větší síla), tloušťka stěny (čím menší, tím větší síla), druh stroje. Potřebné *síly a práce* se vypočítají velmi obtížně a nebudou zde uváděny. Přetvárný odpor při protlačování za studena vzrůstá se stupněm zpevnění materiálu a potom počítáme

$$k_{ostř} = (k_{o1} + k_{o2}) / 2,$$

i když se nejedná o přímku, ale o křivku. U protlačování za tepla je přetvárný odpor konstantní.

## 4.4. Vliv tření

- Jedním z rozhodujících faktorů na proces protlačování je tření, které výrazně ovlivňuje vlastní proces, kvalitu výrobku a ekonomii výroby, a to zejména u ocelí – musí se provádět vhodná povrchová úprava, jinak dochází k suchému tření a zadření nástroje. Povrchová úprava se skládá:
  - odstranění povrchových vad (otryskávání, broušení, moření u Al, ...),
  - z chemického a mechanického čištění (omývání, sušení, ...),
  - z fosfátování (fosfátovaný povrch má vysokou přilnavost k výchozímu materiálu, kterým je nejčastěji kotouč nebo kotouč s otvorem, tzv. **kalota**, což umožňuje mazání povrchu materiálu v důsledku pórovitosti fosfátované vrstvy při velkých tlacích, čehož bylo prvně použito v 30 letech dvacátého století),
  - z nanesení vrstvy maziva (např. ponořením do roztoku organického oleje a mýdla).
- Velikost třecích sil dále závisí na drsnosti povrchu **průtlačníku** a **průtlačnice** a na jejich opotřebení v kritických místech. Někdy se jako mazivo u hutnického protlačování za tepla používá sklo vhodného chemického složení, které se při protlačování roztaví (nutnost odstranit sklovitou kůru). U neželezných kovů se používá tzv. **košilka**, tj. mezera mezi průtlačníkem a průtlačnicí o velikosti 2 až 4 mm, kam zateče materiál, který působí jako mazivo.

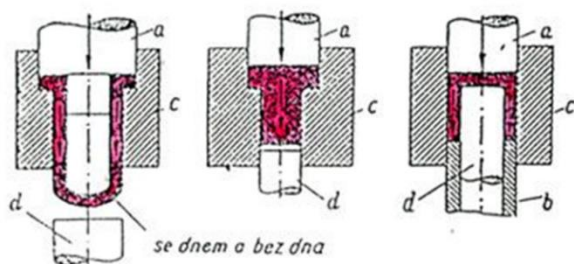
## 4.5. Rozdělení technologických způsobů protlačování

Protlačování dělíme podle směru pohybu materiálu a nástroje na

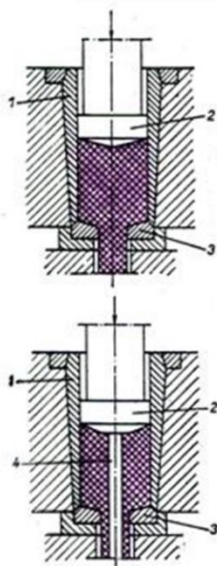
- *dopředné,*
- *zpětné,*
- *kombinované,*
- *stranové,*
- *radiální.*

### Dopředné protlačování

Při **dopředném** (přímém) protlačování se materiál pohybuje ve stejném směru jako průtlačník. Výchozím polotovarem bývá kalota, získaná např. lisováním plechu nebo upichováním z tyčí. Používá se při tváření čepů, šroubů, pouzder, apod., tedy výrobků, u kterých není konstantní průřez

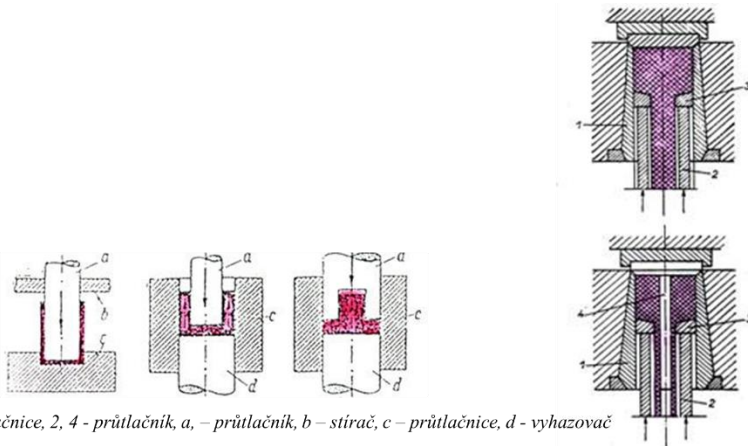


1, 3 – průtlačnice, 2, 4 – průtlačník, a – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d – vyhazovač



### Zpětné protlačování

Při zpětném protlačování se pohybuje materiál v opačném směru a používá se k výrobě dutých protlačků i se žebry, kdy tloušťka stěny je v porovnání s průměrem velmi malá anebo naopak.

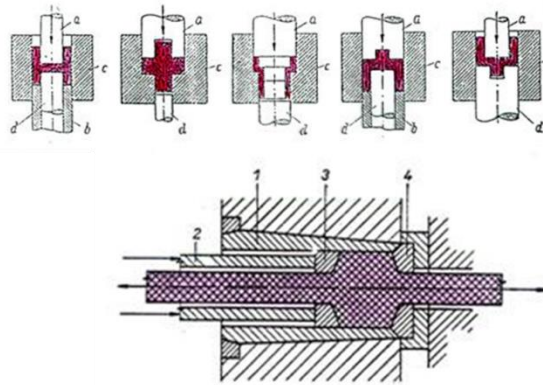


1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d - vyhazovač

### Kombinované (sdružené) protlačování

Vyrábí se tím profilové výrobky, které jsou velmi namáhané a které nemusí být válcového tvaru.

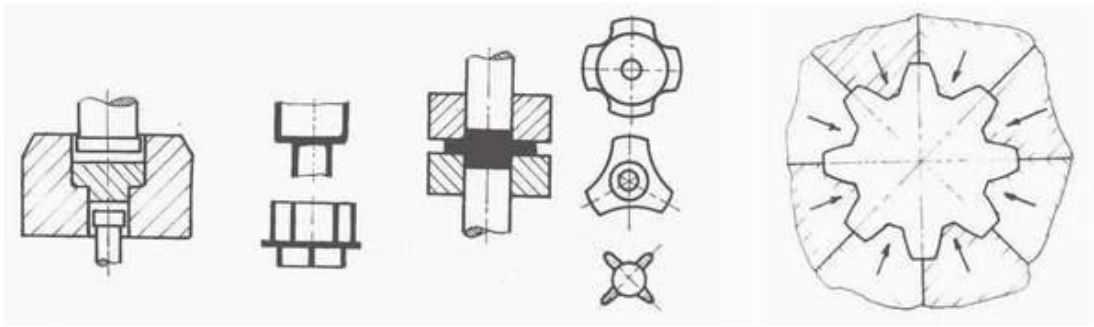
Při kombinovaném protlačování se materiál pohybuje v obou jmenovaných směrech, kdy musí platit, že stupeň deformace v dolní části průtlačku na dně průtlačnice musí být menší, než v horní části, kterou tváří průtlačník, jinak materiál do tvarovaného dna nezateče.



1, 3 – průtlačnice, 2, 4 - průtlačník, a, – průtlačník, b – stírač, c – průtlačnice, d - vyhazovač

### Stranové a radiální protlačování

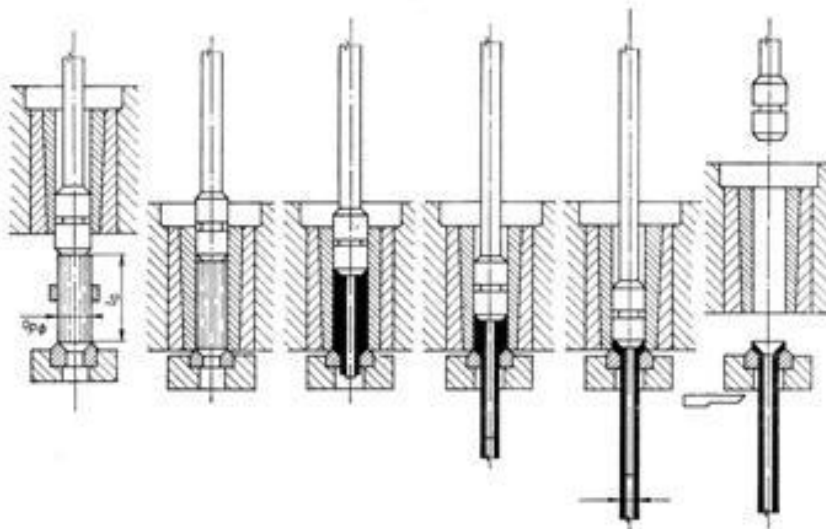
Při stranovém protlačování se tvářený materiál pohybuje kolmo na směr pohybu průtlačníku a slouží k výrobě průtlačků s vnějším i vnitřním oboustranným osazením. Radiálním protlačováním rozumíme tváření, při kterém se materiál i části nástroje pohybují v radiálním směru vzhledem k ose materiálu.



## 4.6. Speciální způsoby protlačování

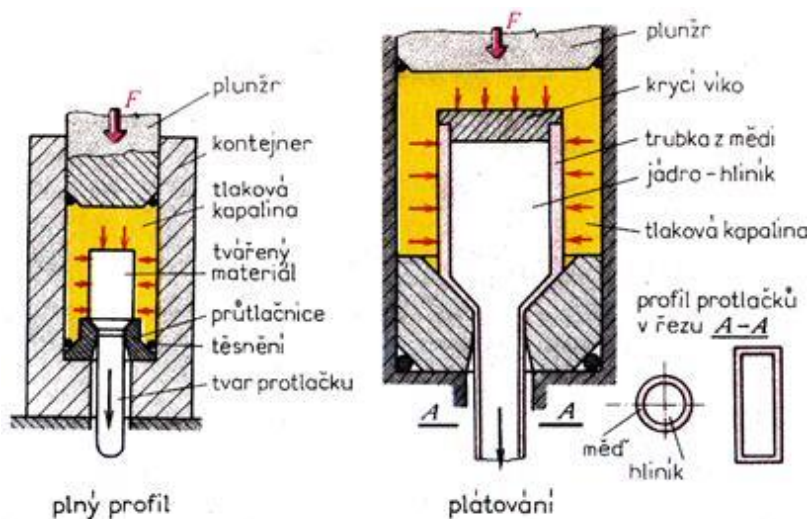
### Protlačování trubek

U technologie **protlačování trubek** jsou výchozím polotovarem válcované špalky potřebné délky. Následuje většinou ohřev a vlastní **děrování** a **protlačování dopředným způsobem**. Po skončení procesu zůstává v matici zbytek, technologický odpad, který se musí odstranit. Stupeň deformace je velký, kdy součinitel prodloužení je 8 až 25 (z polotovaru o délce např. 700 mm a průměru 200 mm lze vyrobit trubku délky 6 až 18 m).



### Hydrostatické protlačování

Další speciální technologií je **hydrostatické protlačování**, kdy je polotovar obklopen kapalinou o vysokém tlaku. Tím se v něm vytváří všestranné napětí a tvárnost materiálu se zvýší. Technologické možnosti hydrostatického protlačování jsou dnes již takové, že se může protlačovat již bez fosfatační vrstvy, nebo např. výrobky plátované mědí. Hydrostatický tlak je až 3000 MPa. Přetvoření v jedné operaci může dosáhnout až 80 %.



## 4.7. Stroje a nástroje pro protlačování

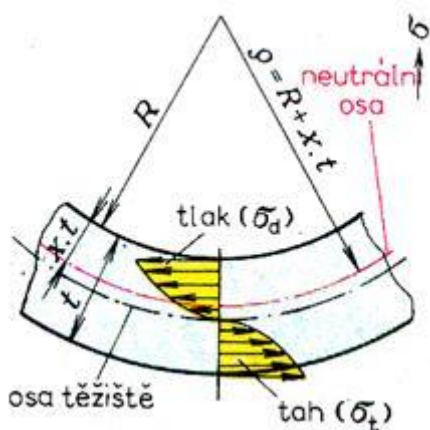
Důležitým faktorem je také *konstrukce* nástroje a *geometrie průtlačníku a průtlačnice*. Nelze volit libovolné úkopy, rádiusy, zaoblení, apod. tvarových částí nástroje. Nástroj, který je složen z průtlačníku a průtlačnice jako hlavních částí, je namáhán vysokými měrnými tlaky, proto závisí na jeho materiálu, tepelném zpracování a drsnosti povrchu. Životnost tvarových částí nástrojů je od 3000 do 50000 kusů. Proces protlačování ocelí za studena je omezen pevností materiálu průtlačnice, ale při zpětném protlačování i pevností materiálu průtlačníku.

K protlačování za studena se používá většinou mechanických klikových a kolenových vertikálních lisů a lisů hydraulických. Lisovací síla je 300 až 120000 kN. Při protlačování za tepla se zpracovávají materiály, jejichž tvářitelnost je za studena omezená a např. válcování by bylo příliš nákladné. Po protlačování jsou protlačky vysunuty z pracovního prostoru vyhazovačem nebo sfouknuty stlačeným vzduchem. Při kombinovaném protlačování se vyhazují protlačky buď vyhazovačem nebo stěračem podle toho, zda ulpí na průtlačníku nebo zůstanou v průtlačnici. Vnitřní stěny protlačků jsou mírně kuželové s úkosem 1 až 2°. Nástroj musí být opatřen otvory pro únik vzduchu a maziva.

# 5.OHÝBÁNÍ

## 5.1. Technologie plošného tváření - ohýbání

- Ohýbání je proces tváření, při kterém je materiál trvale deformován do různého úhlu ohybu s menším nebo větším zaoblením hran.
- K ohýbání používáme nástroje - **ohýbadla**, skládající se z **ohybíku** a **ohybnice**.
- Výrobkem je **výlisek ohybek**.
- 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. Po průřezu je to pružně plastická deformace, která má různý průběh od povrchu materiálu k neutrální ose.



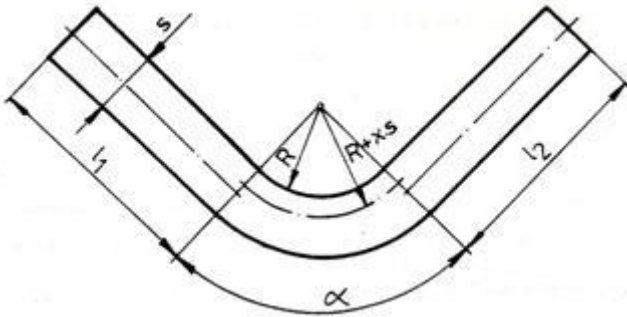
Rozložení a velikost napětí v materiálu

## 5.2. Deformace průřezu, neutrální osa

Při ohybu nastává deformace průřezu, vyšší průřezy jsou více deformovány, než průřezy nižší. U širokých pásů ( $b \geq 3s$ ) nedochází k deformaci, protože proti deformacím v příčném směru působí odpor materiálu velké šířky vzhledem k jeho malé tloušťce. Vrstvy kovu na vnitřní straně ohybu jsou v podélném směru stlačovány, zkracovány a roztahovány v příčném směru. Vrstvy kovu na vnější straně ohybu se roztahují a prodlužují v podélném a stlačují se v příčném směru.



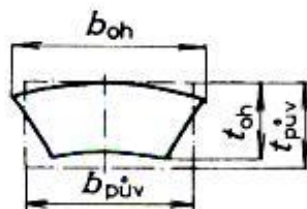
Kolem střední části průřezu ohýbaného materiálu jsou tahová napětí malá a dosahují hodnot nižších, než je mez kluzu daného materiálu. V přechodu mezi těmito dvěma pásmy jsou vlákna bez napětí a bez deformace. Jejich spojnice tvoří tzv. neutrální osu, ve které není napětí a která se při ohýbání ani neprodlouží ani nezkrátí. Neutrální osa je na začátku uprostřed průřezu, při ohybu se posouvá směrem k vnitřní straně ohybu. Není tedy totožná s osou těžiště ohýbaného materiálu.



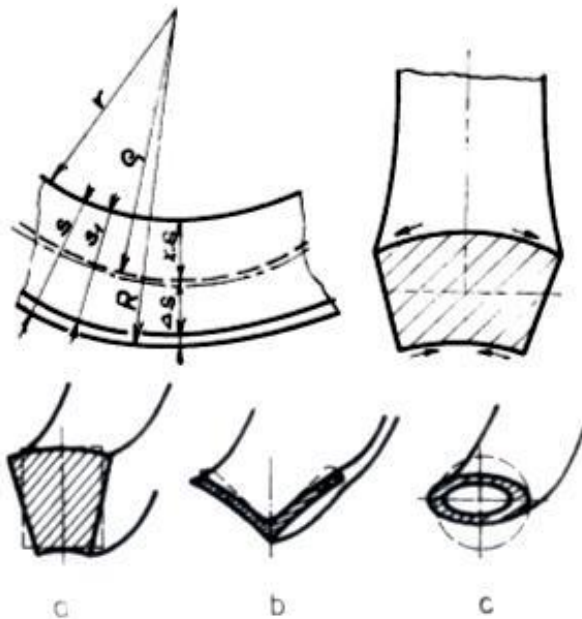
*Posunutí neutrální osy v místě ohybu*



**ohyb na stojato**



**ohyb na ležato**



*Deformace průřezu během ohýbání pro rozdílné výšky a profily*

Z délky neutrální osy v ohýbaných částech a z délek rovných úseků se určuje rozvinutá délka polotovaru před ohybem. U tenkých plechů není tento rozdíl patrný, ale při ohýbání tlustých plechů se však s tímto musí počítat. Vzdálenost  $x$ , která charakterizuje polohu neutrální osy, závisí na poměru  $R/t$  – viz. tabulka, a poloměr ohybu neutrální osy je potom

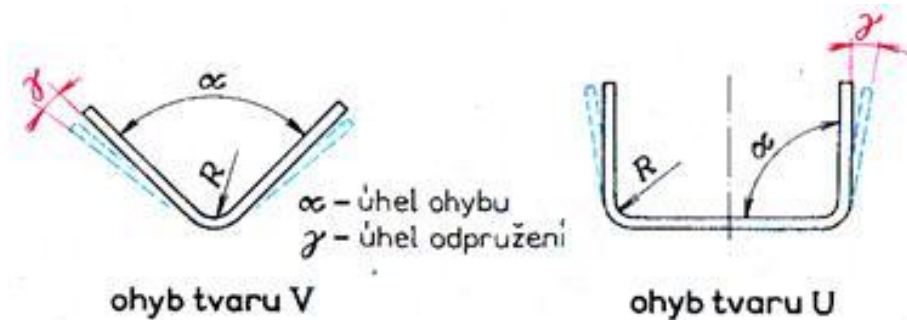
$$\rho = R + x \cdot T$$

kde

$R$  ... vnitřní poloměr ohybu [mm],  
 $x$  ... součinitel posunutí neutrální osy,  
 $t$  ... tloušťka materiálu [mm].

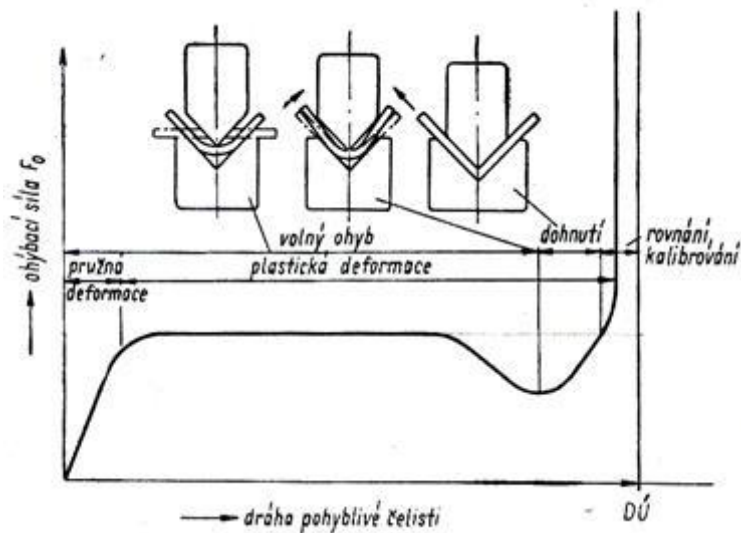
## 5.3. Odpružení

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  $\gamma$ , jejíž význam roste s délkou ramen. Zpětné odpružení ohýbaných součástí je způsobeno vlivem pružné deformace materiálu kolem neutrální osy. Velikost úhlů odpružení závisí na tvárnosti materiálu, poloměru ohybu a způsobu ohýbání. Bývá v rozsahu 3 až 15°.



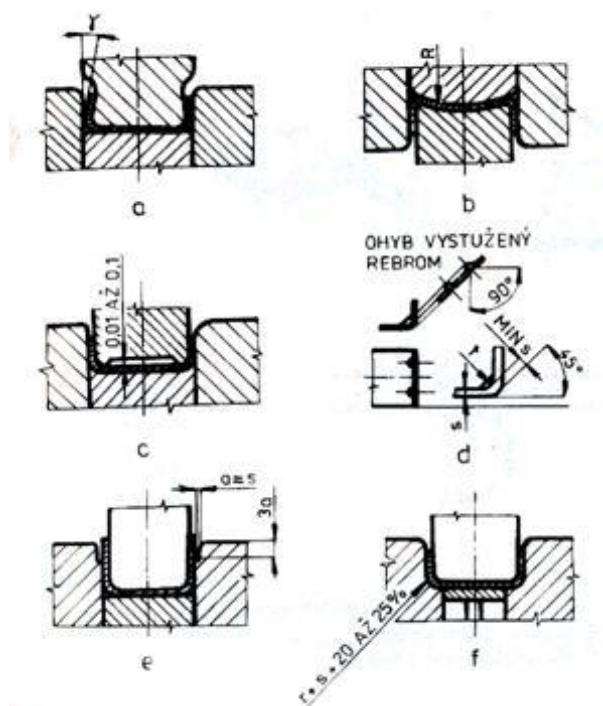
**Odpružení se většinou omezuje tak, že:**

- materiál se ohne více o hodnotu úhlu odpružení  $\gamma$ , který se určí buď podle empirických vzorců nebo z tabulek. Nástroj se musí navrhnout s korekcí o úhel  $\gamma$ , má-li mít výlisek požadovaný tvar,
- použije se *kalibrace*, tj. zvětšíme lisovací sílu na konci lisovacího cyklu, dochází k místní plastické deformaci v místě ohybu a hodnota odpružení se snižuje, až případně vymizí úplně;



### Průběh ohýbací síly včetně kalibrace

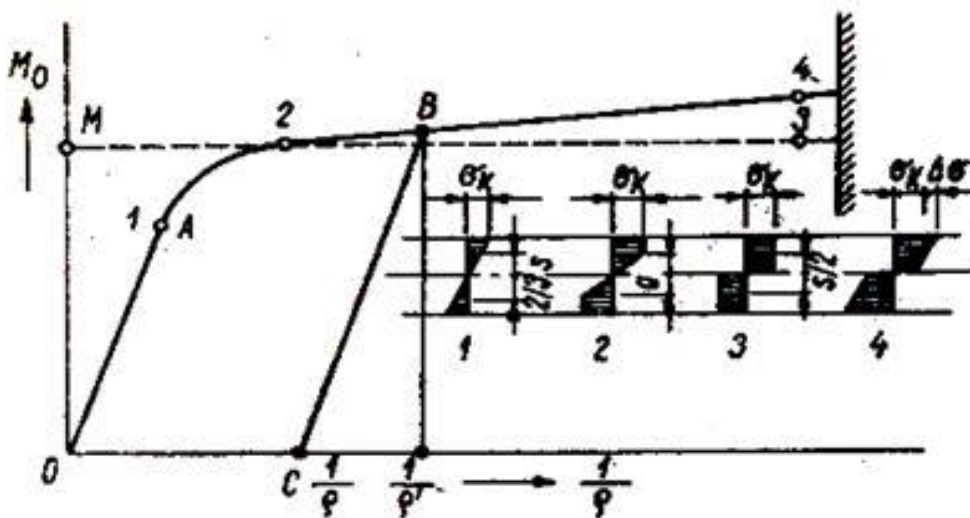
- použije se **prolisů** na **výlisku**, kdy se odpružení odstraní téměř úplně. Odpružení při ohybu je možné vyloučit např. těmito opatřeními: podbroušením pohyblivé čelisti o úhel  $\gamma$ , zaoblením dolní strany pohyblivé čelisti a přidržovače poloměrem  $R$ , zpevněním materiálu v rozích rázem, vylisováním vyztužovacího žebra v místech ohybu, postupným ohýbáním s odlehčením pevné čelisti o tloušťku materiálu a zpevněním materiálu deformačním poloměrem v pevných čelistech.



### Konstrukční úpravy čelistí ohýbadel proti odpružení materiálu

## 5.4. Rozložení napětí

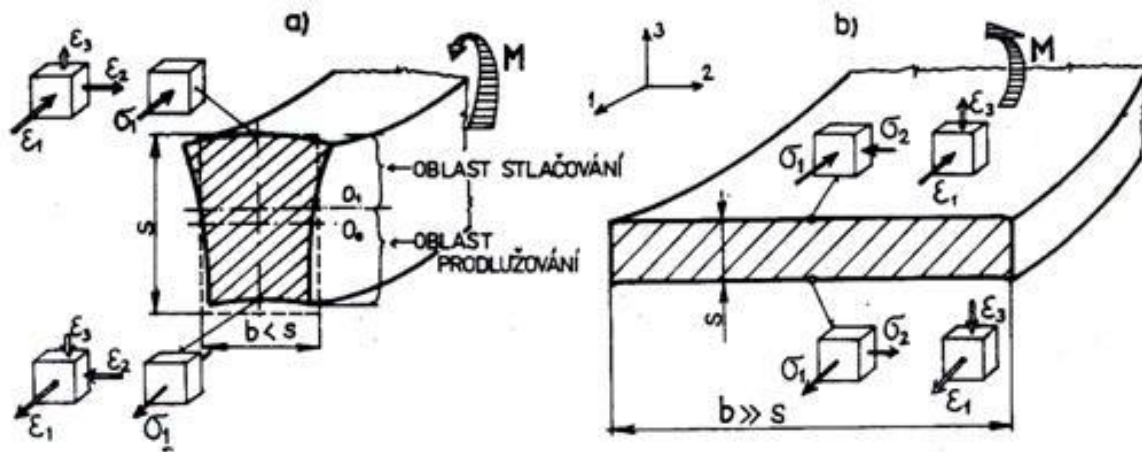
- Při ohybu jsou napětí v krajních vláknech materiálu opačného smyslu (tah, tlak).
- Na obrázku, v **oblasti 1**, je ukázáno rozložení napětí v příčném průřezu materiálu namáhaného ohybem, a to pod mezí kluzu.
- Vzroste-li napětí nad hodnotu meze kluzu, vyvolá to růst plastické deformace (uprostřed). Při tom se napětí v pásmech plasticky deformovaných nad hodnotu meze kluzu nezvětšuje (**oblast 2**).
- Zvětšujeme-li ohýbací moment přestane pružné jádro existovat a velikost napětí se již nemění – **oblast 3**.
- Uvažujeme-li zpevňování materiálu při tváření za studena, platí poměry podle schématu **oblasti 4** a obrázku vpravo.
- V okolí neutrální osy je pásmo pružných deformací, které je příčinou odpružování po odlehčení.



Rozložení napětí v příčném průřezu při ohybu materiálu

V místě ohybu vykazuje tedy ohýbaný materiál tři pásma (napjatost v ohýbaném materiálu pro tenký plech je ukázána na obrázku:

- pásmo pružných deformací kolem neutrální osy,
- vnější pásmo trvalého prodloužení,
- vnitřní pásmo trvalého napěchování



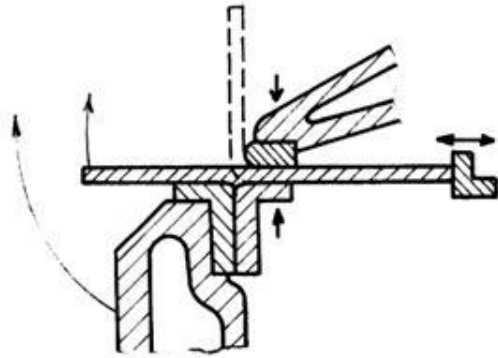
Napjatost a deformace v ohýbaném materiálu

## 5.5. Technologické postupy ohýbání

- Ohýbat se dá volně nebo v pevném nástroji.
- Technologické postupy ohýbání se dají rozdělit podle několika hledisek:
  - podle použitého stroje,
  - podle poloměru zakřivení,
  - podle technologického způsobu.

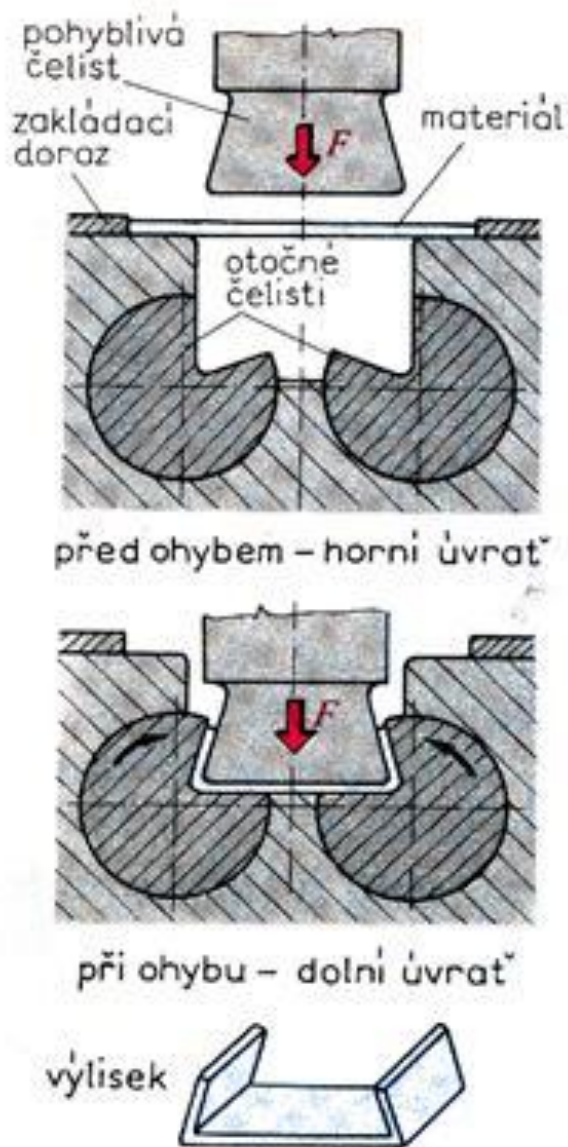
### Rozdělení technologických postupů podle stroje

- ohýbání ruční na **ručních strojích, ohýbačkách.**
- Všechny ohýbací operace není vhodné a ani možné dělat na lisu. Pro některé se staví speciální ohýbací stroje, ovládané i ručně. Tak např. pro ohyb dlouhých pruhů a plechů je uzpůsoben stroj s odklopnou deskou podle schématu na obrázku.
- Materiál určený k ohybu se podloží na stůl stroje a urovná na zarážku. Potom se sevře u ohybové hrany. Hrana je na nástroji tvořena vyměnitelnou ocelovou kalenou lištou. Po sevření se materiál ohýbá odklápěním desky v celé délce najednou o libovolný úhel rovněž předem nastavitelný zarážkou. Ke stroji se dodává řada pomocných zařízení.



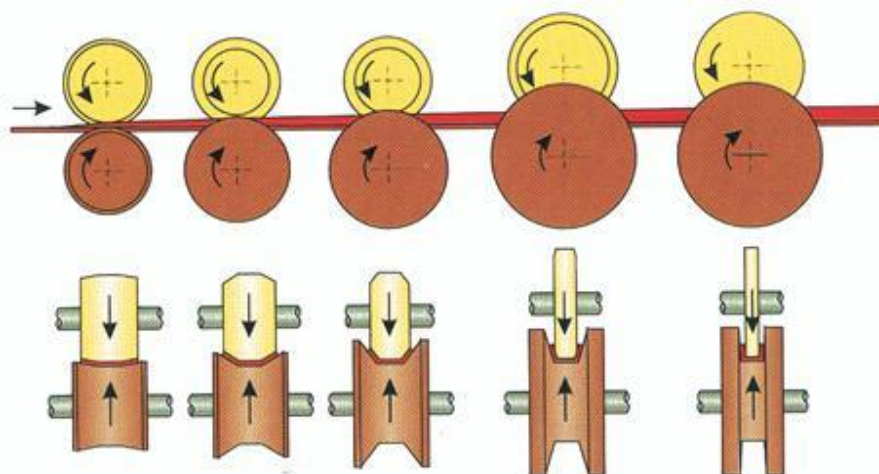
### Ohýbací stroj s otočnou deskou

- Ohýbání na lisech v ohýbacím nástroji, ohýbadle, kterého pohyblivá čelist vykonává přímočaré vratné pohyby.
- Toto ohýbání se dělá na
  - mechanických
  - hydraulických lisech,
  - speciálních strojích - což je závislé na vlastním technologickém procesu.
- Ohýbadla pro aplikaci na lis se stavějí, v porovnání s ostatními nástroji, dosti jednoduchá, často nemívají ani vlastní vedení. Na obrázku je ukázka konstrukce nástroje pro ohyb přes 90°.
- Válcové části nástroje jsou otočné kolem osy válců a do původní polohy je vracejí pružiny. Výrobek se vyjme z nástroje sesunutím z ohybníku, směrem kolmo na rovinu ohybu.



*Nástroj pro ohyb přes 90°*

- ohýbání na válcích, kdy nástrojem jsou samotné válce, které vykonávají otáčivý pohyb. Příklad ohýbání válcováním je na následujícím obrázku.



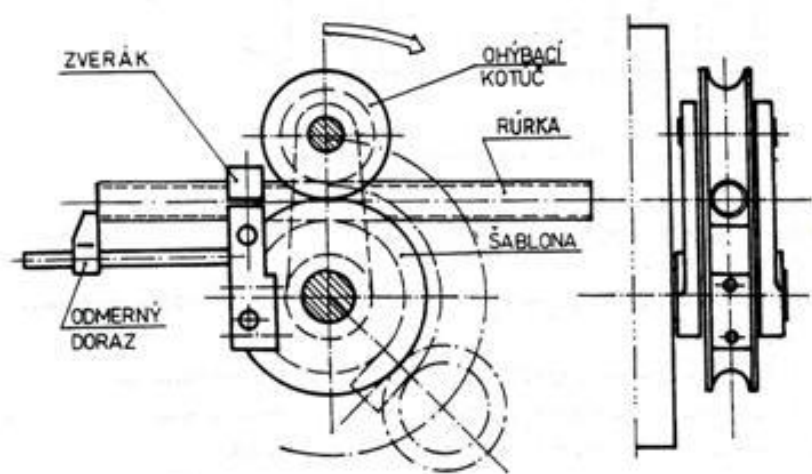
*Ohýbání válcováním na válcích*

### Rozdělení technologických postupů podle poloměru zakřivení

- ohyb s malým poloměrem za vzniku velké plastické deformace,
- ohyb s velkým poloměrem zakřivení při poměrně malém stupni plastické deformace.

### Rozdělení podle technologického způsobu výroby

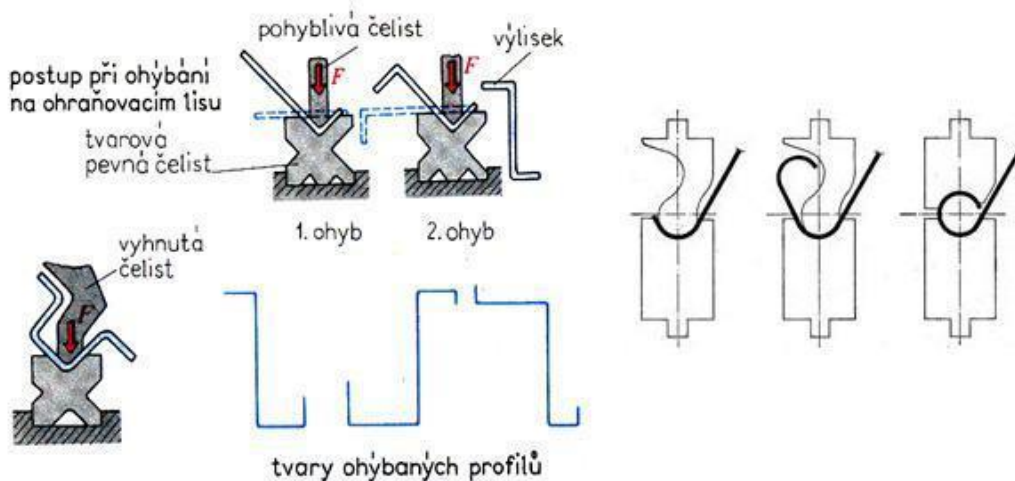
- „**klasické**“ ohýbání - příklady ohýbání byly ukázány již dříve na obrázcích a schématech a navíc je na obrázku ukázáno **ohýbání trubek**. Ohýbání se provádí odvalováním tvarového kotouče přes trubku vloženou do drážky druhého kotouče. Dvojice kotoučů je výměnná, drážky musí poměrně přesně souhlasit s vnějším průměrem trubek. Zploštění trubek při ohýbání se zabraňuje tím, že trubka v tvarové drážce kotoučů má zabráněno v rozšiřování.





## Ohýbání trubek

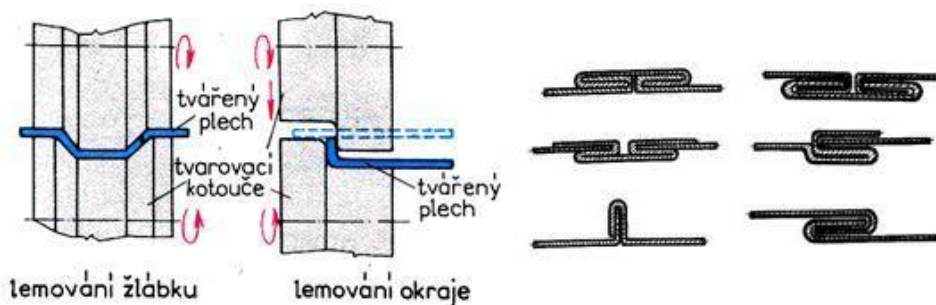
- **Ohraňování** na lisech, které slouží k výrobě různých profilů tenkostěnných, ale i o tloušťce 20 mm, profilů o malém poloměru zaoblení. Princip se neliší od **ohýbání v nástroji** na běžném lisu. Rozdíl je v délce nástroje i lisu. Délka je omezena šířkou ohraňovacího lisu.



## Příklady technologie ohraňování

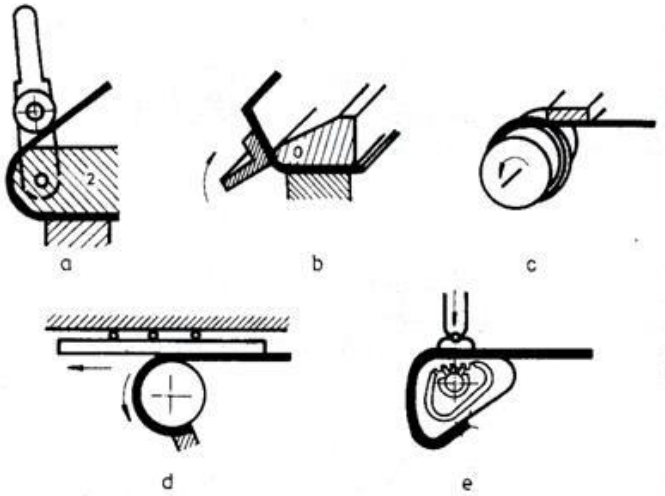
Výchozím materiálem jsou pásy plechu. Každá tvářecí operace se provede na jeden zdvih lisu a pro každý tvar profilu se musí na lis upevnit samostatné nástroje. Nástroj je tvořen opět z různých ocelových lišt, které se jednak ke stroji dodávají, jednak speciálně konstruují a vyrábějí. Horní část nástroje může být tvarová. Ohraňovací lis je **mechanický**, obvykle vícebodový lis, umožňující použití dlouhých lištových nástrojů. Na obou popsaných strojích se ohyb provádí v celé délce materiálu najednou.

- **lemování** je operace, kdy potřebujeme **vyztužit okraj výlisku**, anebo připravit polotovar na dodatečné vytvoření spoje. Také slouží k výrobě žlábků uprostřed nebo na okraji pro zvýšení tuhosti výlisku.



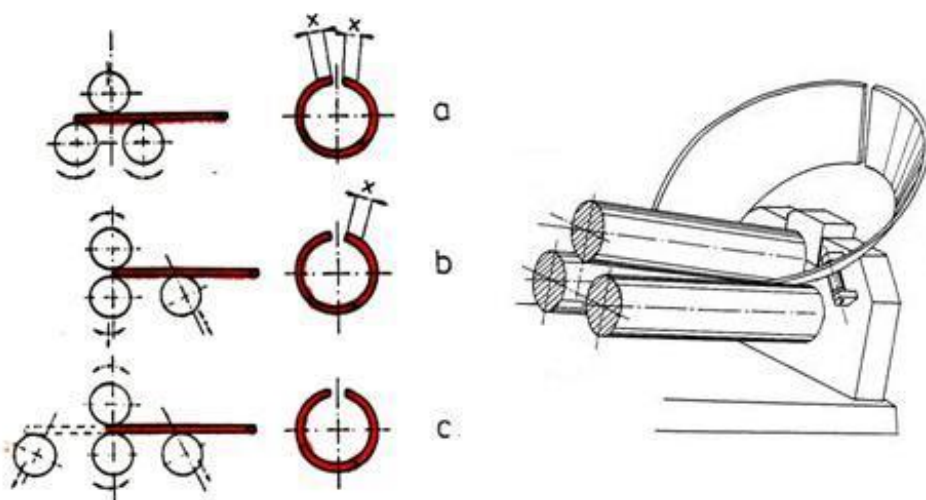
## Princip technologie a příklady lemování

- **navíjení** je proces, kdy se tvářený materiál navíjí postupně na válec a dostává požadovaný tvar shodný s tvarem nástroje. Nejčastěji se navíjení používá u plechů do svitku.



*a - ruční, b - na ohýbačkách, c - navíjení pružin na trn, d - navíjení tyčí, e - navíjení pásu na šablonu*

- **zakružování** pomocí válců se používá při výrobě válcových nebo kuželových plášťů nádob, trubek, a to i plechů tlustých 30 mm. Tlustší plechy se potom zakružují za tepla. Stroje pro tento účel se nazývají zakružovací stroje a jejich různé uspořádání ukazuje obrázek. Stroje jsou zakružovadla a jsou buď tříválcová nebo víceválcová a jejich konstrukce je závislá na tloušťce plechu a požadavcích na zakroužení konců plechu. Jedná se o dva stroje tříválcové a jeden čtyřválcový. U každého je šipkou naznačen možný posuv válce, resp. válců. U stroje prvního typu vlevo nahoře, zůstanou okraje nedokroužené (parametr  $x$ ), u stroje uprostřed jeden okraj. Uspořádání vlevo dole zajišťuje ohyb plechů až do obou krajů.



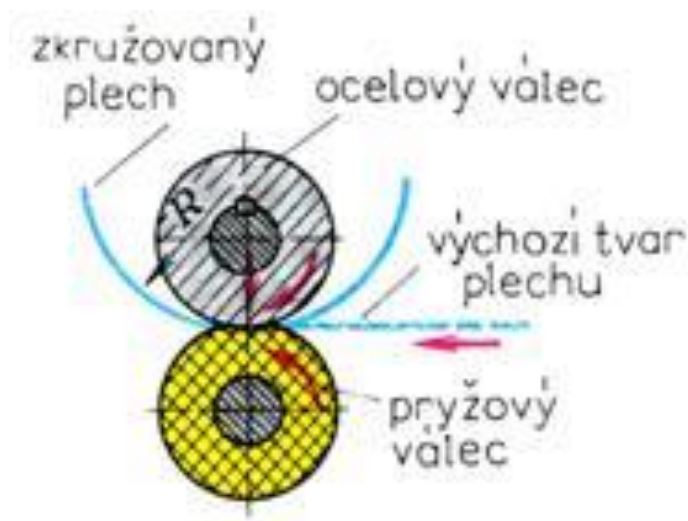
*Uspořádání zakružovaček (vlevo) a detail zakružování kužele (vpravo)*

*a – tříválcová symetrická, b – tříválcová nesymetrická, c - čtyřválcová*

Tenké plechy se zakružují na strojích s ocelovým a pryžovým válcem – technologie ohýbání elastickým nástrojem. Poloměr zakružování se mění podle stlačení pryže. Povrchová kvalita výlisků je výrazně lepší, ale je potřeba větší přetvárná práce, neboť část se jí spotřebuje na deformaci pružné části nástroje – pryže.

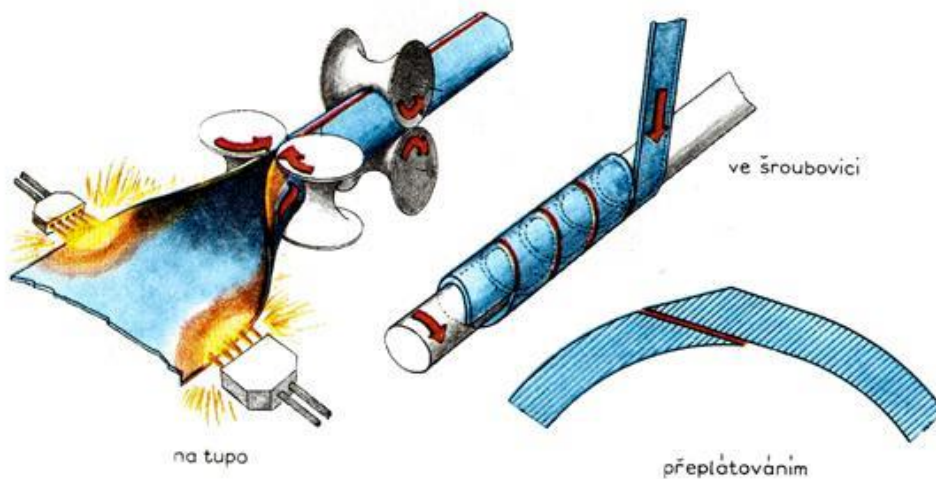
- válcování, profilování, stáčení na lisech se provádí v důsledku vytvoření kruhového tvaru na

krajích plechu. Jedná se o postupné spojitě ohýbání pásů na profilovacích strojích a slouží k výrobě trubek (svařovaných, tenkostěnných) a profilů nebo při stáčení křídel závěsů s využitím svislého pohybu beranu lisu. Při válcování nastává postupná změna tvaru ohýbáním na válcích, které jsou odstupňované rozměrově tak, že v pásu plechu vzniká vodorovný tah a pás se pohybuje samovolně. Rychlost je vysoká, kolem 25 m.min-1.



#### *Zakružovadlo s pryžovým válcem*

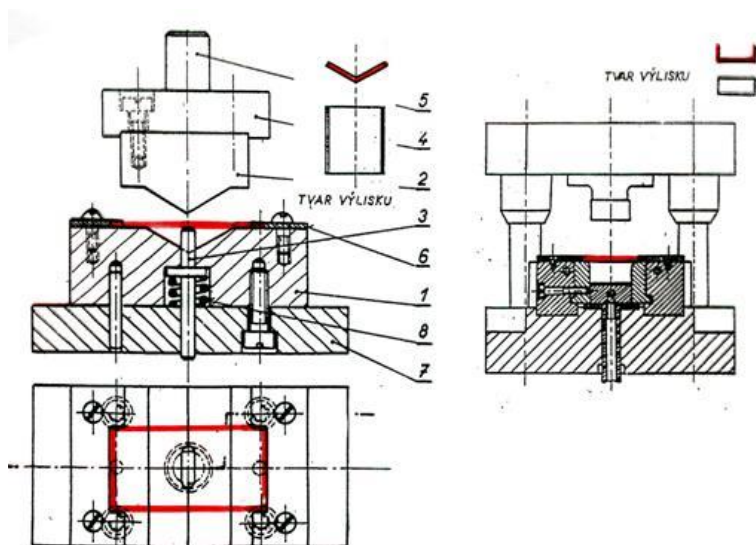
K profilování se mohou používat i jednoduché dvoudílné nástroje, které jsou vyrobeny jako dvojice kotoučů tvarově profilovaných. Na obrázku vlevo je zařízení upravené pro postranní ohyb plechu, na obrázku vpravo pro žlábkování. Postranní ohyb i žlábek je možno provést na okraji rovinného plechu (pásu), i na okraji plechu svinutého do tvaru válcového pláště. Postupným ohýbáním z pásu je možno vyrobit profil libovolné délky, a to i u složitějších profilů.



Výroba tenkostěnných trubek profilováním, stáčením, přeplátováním

## 5.6. Ohýbací nástroje

Nástroj pro ohýbání je **ohýbadlo** a hlavní části jsou *ohybník* a *ohybnice*, popř. základací dorazy. Ohýbadla se dělí podle způsobu a technologie ohýbání, nejčastěji pro ohýbání do tvaru **U** a **V**. Většinou nejsou samostatná a konstruují se jako nástroje sdružené.

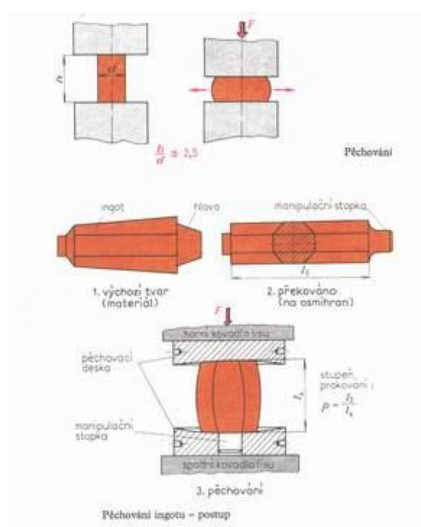


Ukázka nástrojů pro ohyb do tvaru V (vlevo) a U (vpravo)

# 6.SPECIÁLNÍ ZPŮSOBY KOVÁNÍ

## 6.1. Pěchování

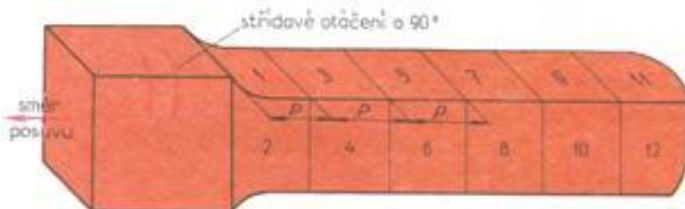
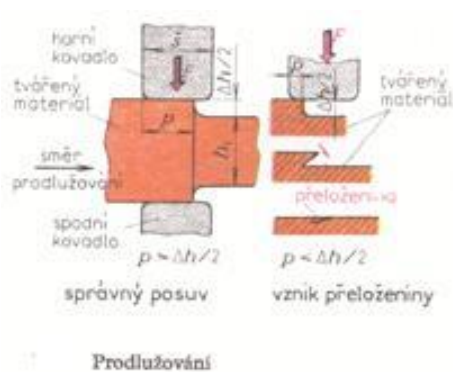
- Mezi základní práce a principy volného kování patří **pěchování**.
- Pěchování je nejjednodušší tvářecí přetvárný proces, při kterém dochází k plastické deformaci materiálu mezi dvěma plochými nebo tvarovými čelistmi, resp. v dutině.
- Pěchování je na druhé straně silově a energeticky nejnáročnější kovářskou operací. Je to buď přímá kovářská operace při kování plochých výkovků, anebo předběžná operace pro dokonalé prokování materiálu, snížení anizotropie a výhodnější průběh vláken.
- Zmenšuje se výška a zvětšuje se plocha průřezu.
- Pro pěchování je nutné prohřát celý materiál rovnoměrně a zajistit rovnoběžnost čelních ploch, omezit štihllost polotovaru (nebezpečí ohybu) a zajištění kolmosti k ose stroje.



*Pěchování válcových polotovarů*

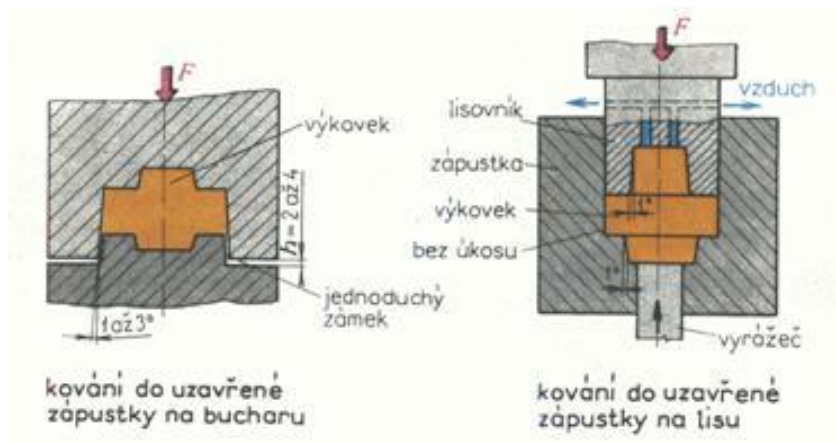
## 6.2. Prodlužování

- Další technologií volného kování je **prodlužování** (kování do délky, vytahování).
- Je to nejpoužívanější operace při volném kování. Podstatou je provedení většího množství pýchovacích operací vedle sebe, čímž dochází k prodlužování a zároveň ke zmenšení plochy příčného průřezu.
- Polotovarem se nejčastěji střídavě otáčí o 90° a posouvá o posuv  $p$ , čímž se vyrovnává rozšíření. Záběr  $p$  je vždy menší, než šířka kovádky.



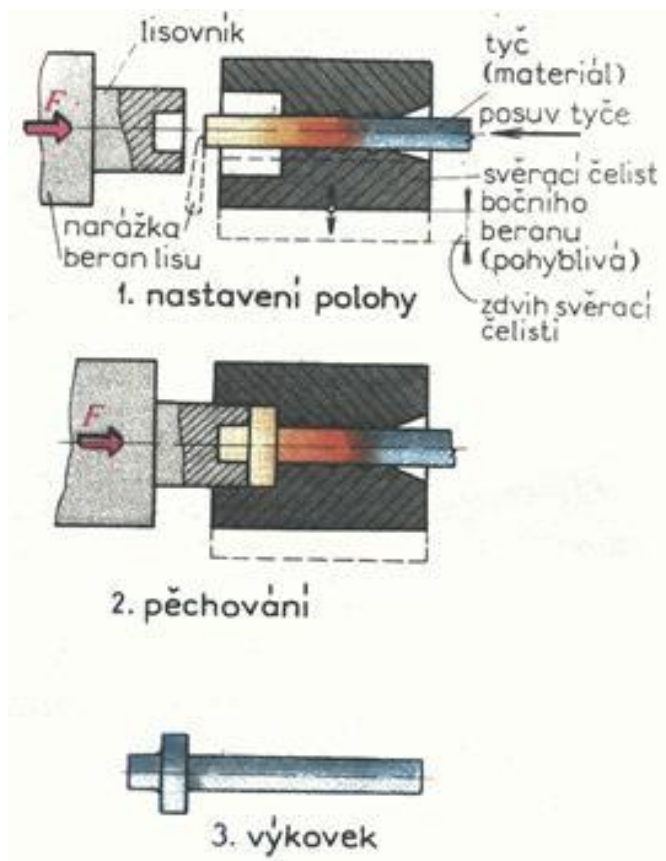
## 6.3. Přesné kování

- Výkovky s minimálními přídávky na obrábění i úkosy se zhotovují v uzavřených zápustkách, tzv. **přesným kovááním**.
- Pro úspěšné kování je třeba přesně dodržovat objem a středění vloženého materiálu do zápustky. Nejvýhodnější jsou rotační tvary.



## 6.4. Kování na vodorovných kovacíh strojích

- **Kování na vodorovných kovacíh strojích** umožňuje částečnou nebo i úplnou automatizaci výrobního procesu.
- Jedná se v podstatě o horizontální klikové lisy vhodné hlavně pro pýchování z tyčového materiálu a práci s uzavřenými zápustkami.
- Princip práce je naznačen na obrázku.
- Zápustka je třídílná, uzavřená, kove se bez výronku. Dutinová část zápustky je dvoudílná, dělená svislou nebo vodorovnou dělicí rovinou, opatřená zdrsňným průchodem pro tyčový materiál. Po přiblížení obou polovin působí jako sklíčidlo tyčového materiálu. Třetí, pýchovací díl se do dutiny osově zasouvá.
- Stroj pracuje tak, že se tyč posune do kovací polohy, na zarážku. Tím je přesně určen objem kovaného materiálu. Potom dvoudílný blok tyč sevře a zarážka se odsune. V této fázi se vyčnívající konec tyče ohřívá, dnes nejčastěji indukčně.
- Po zpýchování ohřátého konce tyče, oddělí posuvný nůž výkovek od tyče a pracovní cyklus se může opakovat.

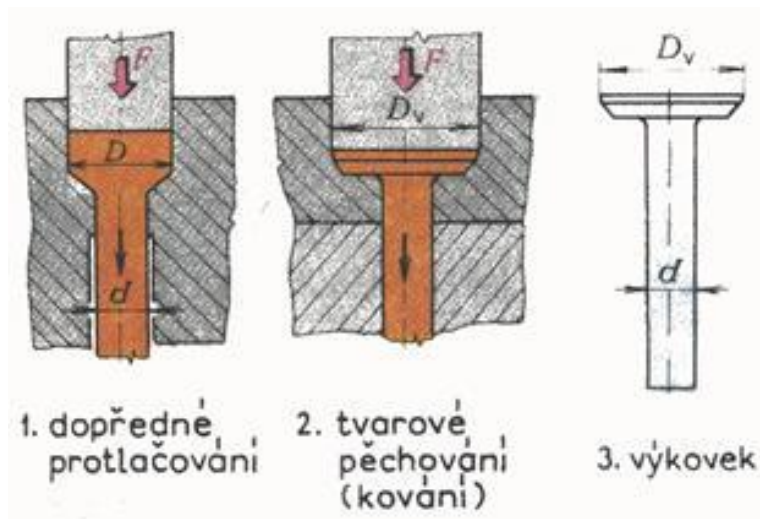


*Kování na vodorovných kovacíh strojích*

## 6.5. Kování protlačováním

- Dalším technologickým procesem je kování - **protlačování** za tepla, kdy tvářený materiál je v uzavřené zápustce stlačován průtlačníkem.
- Je to vlastně kombinace protlačování a kování. Tento způsob se používá pro slitiny hliníku a mědi, ale i pro ocel.
- Zvyšuje se tvárnost kovu, protože materiál je vystaven prostorové tlakové napjatosti.
- Může být řešeno jako dopředné, zpětné nebo sdužené. Je zde velký vliv tření a je potřeba brát v úvahu vysokou pevnost nástrojů a teplotní odolnost nástrojů.

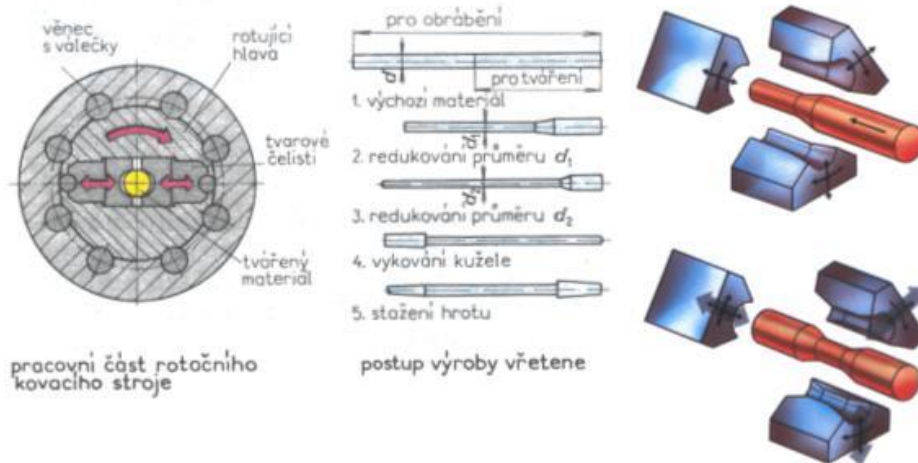




## 6.6. Kování za rotace

- Zvláštním případem kování je tzv. **kování za rotace**.
- Dochází při něm k redukci průřezu na menší průměr nebo k vykování válcové části na hranatém profilu. Na rozdíl od ostatních procesů kování se kování za rotace provádí za studena. Součásti větších průměrů (nad) se kovou za tepla.
- Mezi kování je řadíme hlavně proto, že deformace nastává opakovanými údery.
- Princip stroje: dvě kovadla s možností posuvu v radiálním směru se roztočí. Odstředivou silou jsou unášena směrem k obvodu, kde však narážejí na kalené válce, které jim udělují zpětný impuls. Tím vzniká opakovaný ráz.
- Polotovár se pomalu otáčí a osově posunuje do procesu tváření.

**Příklady rotačního kování a metody rotace jsou ukázány na obrázcích**



*Princip kování za rotace*

## 6.7. Vícecestné kování

- Posledním speciálním způsobem kování je **kování vícecestné**.
- Materiál je v uzavřené zápustce podroben tlaku lisovníků z několika stran.
- Výkovky jsou přesné s minimálními přídávky na obrábění.

