

Technologie tváření kovů

1. Objemové tváření

1.1 Pěchování, stanovení technologických parametrů

1) Vyhodnocení průběhu vláken pozorovaných vzorků



Obr.1 Nekovaná a kovaná součást

Nekovaná součást – vlákna jsou na ploše vzorku rovnoběžná. V místě přechodů příčných rozměrů jsou vlákna přerušena, což snižuje pevnostní hodnoty součástí.

Kovaná součást – průběh vláken u kované součásti, na rozdíl od obráběné, sleduje tvar součásti. V místech přechodů příčných rozměrů nedochází k přerušení vláken ani k přeložením vláken. Vhodným způsobem tváření je dosaženo nejvýhodnějšího usměrnění vláken v součásti vzhledem k provoznímu zatížení.

Popis práce při **vyvolání průběhu vláken na vzorku** – Vzorky vyrobené kováním a obráběním jsou vybroušeny a naleptány pomocí leptadla. Naleptaná vlákna fosfidových a siřičkových vycezenin jsou zbarvena hnědě na světlém pozadí železa.

Mechanismus vzniku vláken v oceli – Příčinou jevu vláken je přítomnost vměstků, u oceli hlavně sloučenin síry a fosforu. Protože tyto sloučeniny mají nižší teplotu tuhnutí než železo, tuhnou v tavenině naposled a tvoří obálku primárních zrn tuhnutí oceli. Tvářením se primární zrna deformují, zplošťují se ve směru toku materiálu. Následující rekrytalizací se přemění protažená zrna v nová – nedeformovaná. Ovšem vměstky, protože mají malou difusní rychlost, zůstanou v deformovaném stavu. Při značném stupni deformace jsou obálky zrn již zploštěny tak, že tvoří nesouvislé plošné útvary usměrněné ve směru toku materiálu a tyto se na vybroušeném řezu projeví jako vlákna.

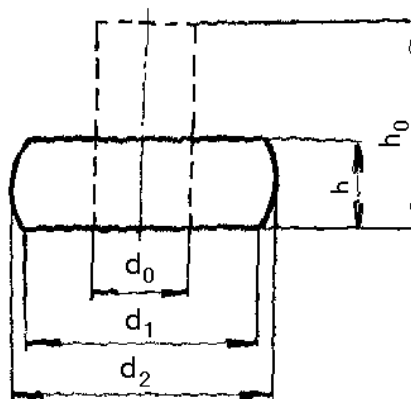
2) Experimentální ověření nerovnoměrnosti deformace při pěchování

Vyhodnocení soudečkovitosti a poměrného stlačení.

Výchozí hodnoty: $d_0 = 20 \text{ mm}$
 $h_0 = 40 \text{ mm}$

Konečné hodnoty: $d_{1\text{stř}} = 27,5 \text{ mm}$
 $d_{2\text{stř}} = 30,0 \text{ mm}$
 $h = 17,4 \text{ mm}$

Soudečkovitost: $\frac{d_1}{d_2} = \dots [-]$



Poměrné stlačení: $\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} = \dots [-], \text{ v } \% \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100\% = \dots [\%]$

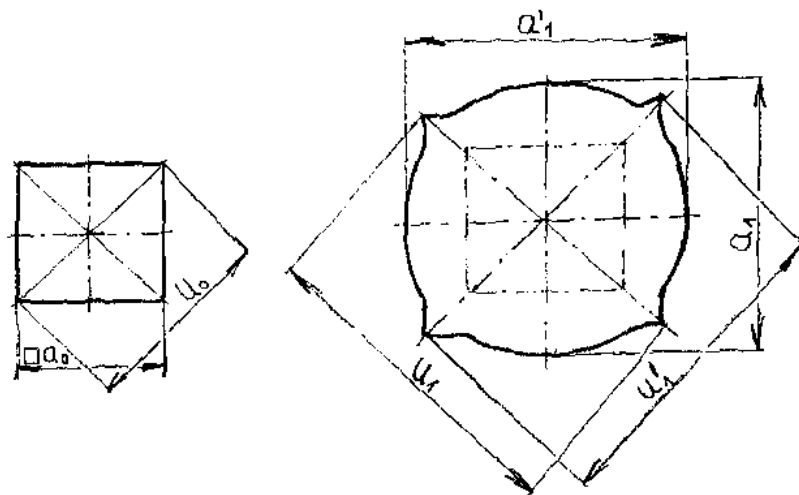
Logaritmické stlačení: $\varphi = \ln \frac{h_0}{h} = \dots [-]$

Vztah mezi logaritmickým a poměrným stlačením: $\varphi = \ln(1 + \varepsilon) = \dots [-]$

Vyhodnocení deformace vzorku čtvercového průřezu.

Vyhodnocení spočívá v proměření deformovaného průřezu a zhodnocení směru max. a min. přemístění materiálu po deformaci.

Výchozí hodnoty:	$a_0 = 20 \text{ mm}$	Konečné hodnoty:	$a_1 = 45,4 \text{ mm}$
	$h_0 = 40 \text{ mm}$		$a'_1 = 46,8 \text{ mm}$
	$u_0 = 27,5 \text{ mm}$		$u_1 = 51,5 \text{ mm}$
			$u'_1 = 51,2 \text{ mm}$
			$h = 9,3 \text{ mm}$



poměrné stlačení: $\varepsilon = \frac{h_0 - h}{h_0} = \dots [-], \text{ v } \% \frac{h_0 - h}{h_0} \cdot 100\% = \dots [\%]$

Logaritmické stlačení: $\varphi = \ln \frac{h_0}{h} = \dots [-]$

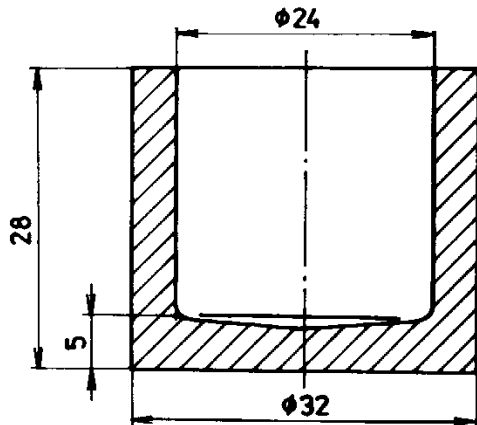
Vztah mezi logaritmickým a poměrným stlačením: $\varphi = \ln(1 + \varepsilon) = \dots [-]$

minimální poměrná deformace průřezu: $\frac{\frac{u_1 + u'_1}{2} - u_0}{u_0} = \dots [-]$

maximální poměrná deformace průřezu: $\frac{\frac{a_1 + a'_1}{2} - a_0}{a_0} = \dots [-]$

3) Protlačování

Vypočítejte základní technologické parametry pro součástku vyráběnou zpětným protlačováním. Materiál protlačku je ocel 11 320.



Obr.2 Protlaček pouzdra

Nejdříve provedeme výpočet objemu výchozího polotovaru z podmínky konstantního objemu, tj.

$$V_0 = V_V + V_P = \dots \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$\text{Objem protlačku: } V_V = \frac{\pi \cdot D^2}{4} \cdot H - \frac{\pi \cdot d^2}{4} \cdot h = \dots \text{ [mm}^3\text{]}$$

$$\text{Objem přídatku na zarovnání okraje protlačku: } V_P = 0,03 \cdot V_V = \dots \text{ [mm}^3\text{]}$$

Dále určíme rozměry výchozího polotovaru. Jako výchozí polotovar je vzhledem k rozměrům dutiny průtláčnice uvažována tyč o $\varnothing$ 30 mm (D). Uvedený průměr proto, aby šel špalík bez obtíží vložit do dutiny nástroje. Z uvedené podmínky se vypočítá výška špalíku $h = \frac{4 \cdot V_0}{\pi \cdot D^2} = \dots \text{ [mm]}$

Dalším úkolem bude spočítat stupeň deformace, přetvárný odpor materiálu a protlačovací sílu.

$$\text{Protlačovací síla } F = \sigma_d \cdot S_p = \dots \text{ [N]}$$

$$\text{Činná plocha nástroje } S_p = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \dots \text{ [mm}^2\text{]}$$

$$\text{Půdorysná plocha protlačku: } S_0 = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \dots \text{ [mm}^2\text{]}$$

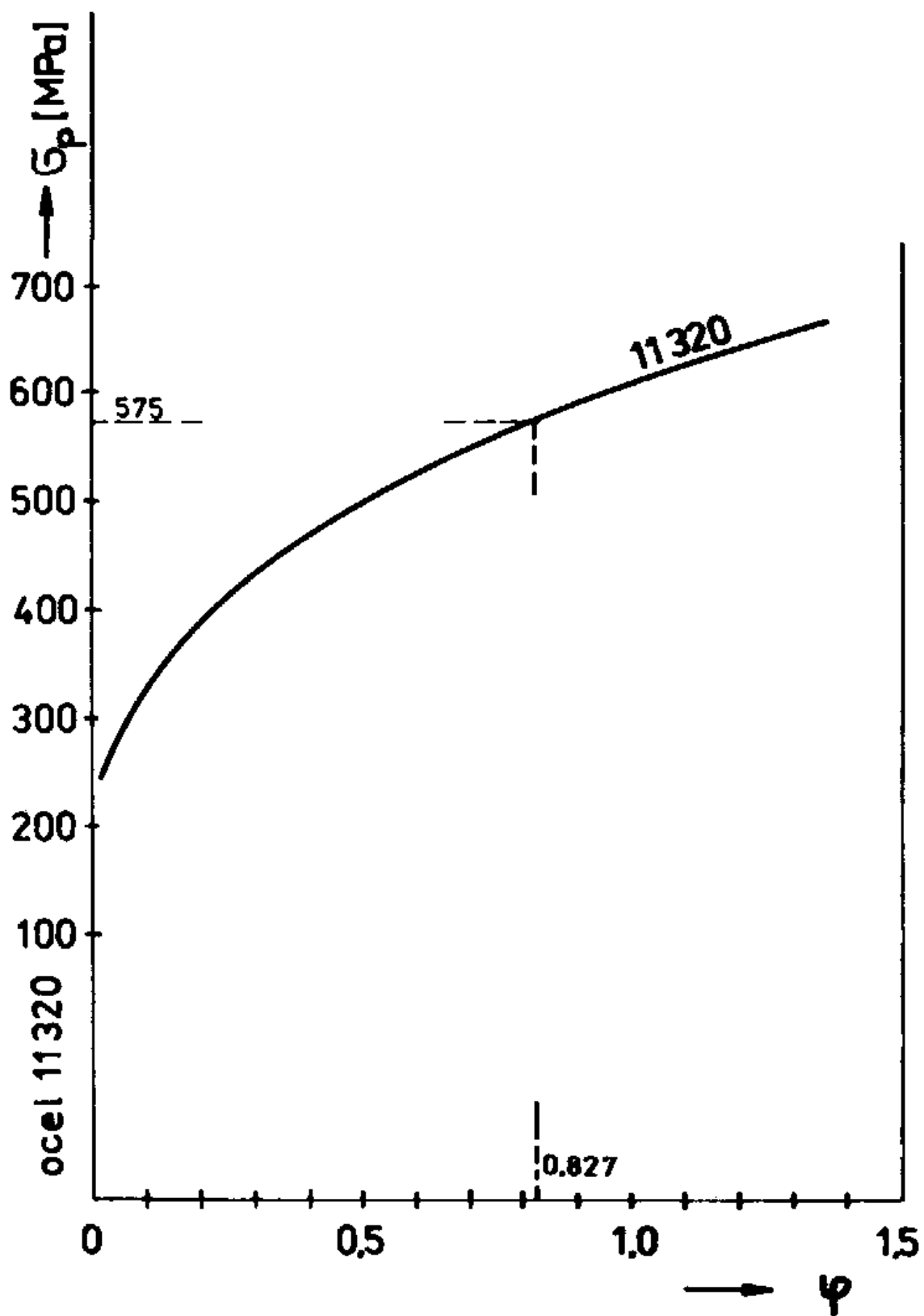
Přetvárný odpor materiálu se pro zpětné protlačování stanoví ze vztahu:

$$\sigma_d = 1,152 \cdot \sigma_p \cdot \frac{S_0}{S_p} \cdot \left(\log \frac{S_0}{S_0 - S_p} + \frac{S_0}{S_0 - S_p} \cdot \log \frac{S_0}{S_p} + \log \frac{S_p}{S_0 - S_p} \right) = \dots \text{ [MPa]}$$

$$\text{Logaritmický stupeň deformace: } \varphi = \ln \frac{S_0}{S_0 - S_p} = \ln \frac{D^2}{D^2 - d^2} = \dots [-]$$

σ_p je přirozený přetvárný odpor materiálu v závislosti na stupni deformace, odečteme ho z diagramu pro příslušnou hodnotu φ .

$$\text{Protlačovací síla } F = \sigma_d \cdot S_p = \dots \text{ [N]}$$



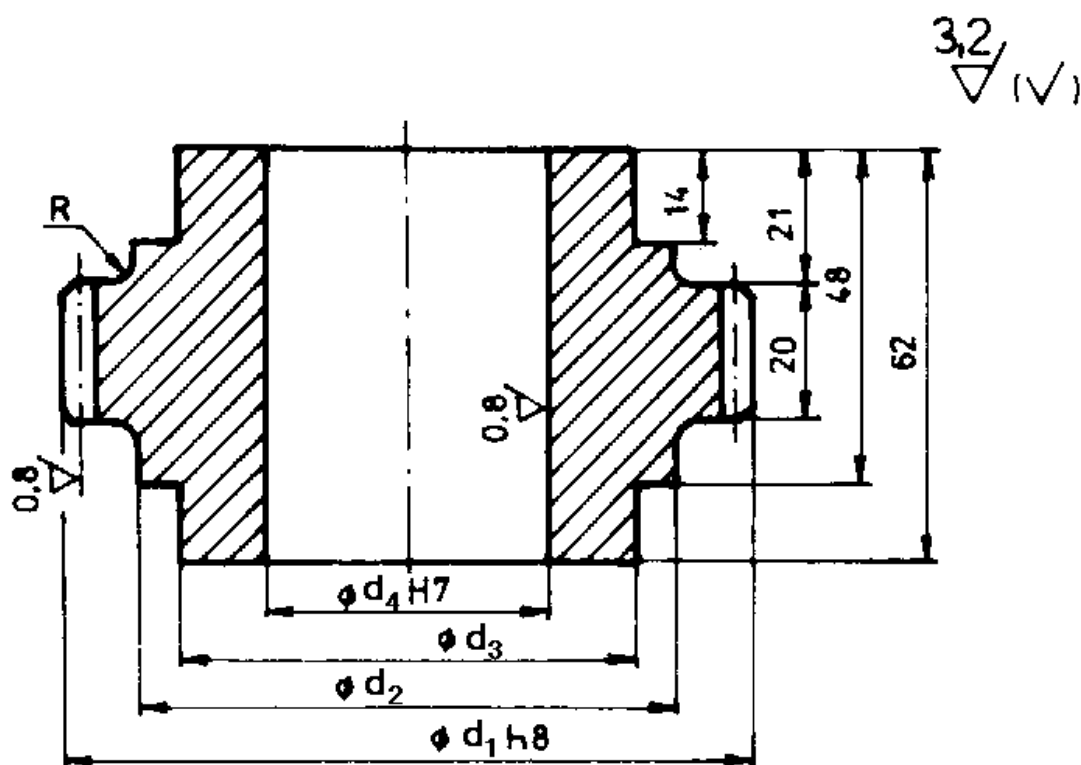
Obr.3 Diagram přetvárná pevnost – deformace

1.2 Výroba součásti zápustkovým kováním

Zápustkové kování patří do způsobů tváření, při kterém požadovaného tvaru dosahujeme výraznou změnou průřezu výchozího polotovaru působením vnějších sil a to zpracováním nad teplotou rekrystalizace tvářeného kovu. Zápustkové kování je charakteristické řízeným tečením kovu dle tvaru dutiny zápustky.

Návrh technologického postupu výroby zápustkového výkovku spočívá v několika následujících úkolech:

- vypracování výkresu výkovku
- vypracování výkresu předkovku
- určení výchozího polotovaru
- volba operačních úseků tváření (postup kování)
- návrh způsobu a zařízení pro ohřev polotovaru
- postup tepelného zpracování a způsob kontroly a přejímání výkovků.



Materiál výchozí: 12 050.0, $R_m = 540$ MPa, materiál konečný: 12 050.8, třída odpadu: 002

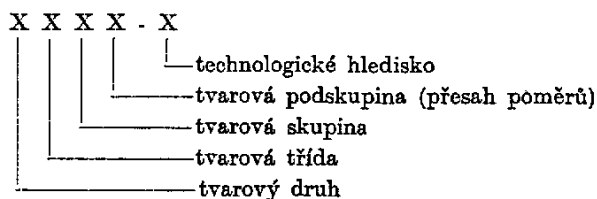
Obr.4 Výkres součásti

Zadání č.	ϕd_1 [mm]	ϕd_2 [mm]	ϕd_3 [mm]	ϕd_4 [mm]	R [mm]
1	104	82	64	44	4
2	108	84	66	46	4
3	112	86	68	48	4
4	116	88	70	50	4
5	122	90	72	52	4
6	125	95	75	55	5
7	130	100	78	58	5
8	135	108	80	60	5
9	140	112	83	63	5

Tab.1 Tabulka zadání

Zařazení výkovku podle složitosti tvaru dle ČSN 42 9002:

- tvarový druh: x —
- tvarová třída: x —
- tvarová skupina: x —
- technologické hledisko: x —



12. Tvarový druh — první číslice v číselném označení výkovku (X x x x - x).

X x x x - x

- 4 výkovky kruhového průřezu plné
- 5 výkovky kruhového průřezu duté
- 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 výkovky s ohnutou osou
- 9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou
- 0 výkovky s lomenou dělicí plochou

13. Tvarová třída — druhá číslice v číselném označení výkovku (x X x x - x)

Výkovky tvarového druhu 4, 5, 6, 7 a 8 se dále rozdělují do tvarových tříd:

x X x x - x

- 1 konstantní průřez
- 2 kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 jednostranně osazené
- 4 oboustranně osazené
- 5 osazené s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 6 prosazené
- 7 kombinované
- 8 kombinované s kuzelem (jehlanem, klínem)
- 9 členité (u tvarového druhu 8 — výkovky háků)
- 0 neobsazeno

16. Technologické hledisko — pátá číslice v číselném označení výkovku (x x x x - X)

x x x x - X

- 1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
s o u m ě r n ě
- 2 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
n e s o u m ě r n ě
- 3 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
s o u m ě r n ě
- 4 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
n e s o u m ě r n ě
- 5 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
s o z u b e n í m
- 6 výkovky zhotovené na vodorovných kovací lisech
s o u m ě r n ě
- 7 výkovky zhotovené na vodorovných kovací lisech
n e s o u m ě r n ě
- 8 výkovky zhotovené na vodorovných kovací lisech
s o z u b e n í m
- 9 výkovky s více dělicími plochami
- 0 neobsazeno

Určení stupně přesnosti podle ČSN 42 9030: obvyklé
Kovářské přídavky na obrábění ploch: mm

Tab. 1. PŘÍDAVKY NA OBRÁBĚNÍ PLOCH PRO OBVYKLÉ PROVEDENÍ

Rozměry v mm

Největší průměr, střední hodnota šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu		Největší výška hotového výrobku							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes	do	Přídavky na obrábění ploch							
	25	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0			
25	40	1,5	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5		
40	63	2,0	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5		
63	100	2,0	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	
100	160	2,0	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	
160	250	2,5	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5
250	400	2,5	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0
400	630	2,5	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5
630	1000	3,0	3,5	3,5	4,0	4,5	5,0	5,5	6,0

Tab. 7. STUPNĚ PŘESNOSTI PRO OBVYKLÉ, PŘESNÉ
A VELMI PŘESNÉ PROVEDENÍ

Tvarový druh	Tvarová třída	Tvarová skupina	Tvarová podskupina	Technolo- gické hledisko	Stupeň přesnosti pro provedení					
					1		2		3	
					obvyklé		přesné		velmi přesné	
					⊥		⊥		⊥	
4; 6; 7	*	1; 5	*	1 až 2	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 6; 7			5	6	4	5	3	4
		4; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5 9	1; 5	*	3; 4; 5	5	5	4	4	3	3
		2; 3; 4			5	6	4	5	3	4
		6; 7; 8			6	7	5	6	4	5
4; 5; 6; 7	1 až 5; 9	*	*	6; 7; 8; 9	6	7	5	6	4	5
	6 až 8				7	7	6	6	5	5
8	1 až 8	1; 2; 3; 4	*	*	6	7	5	6	4	5
		5; 6			7	7	6	6	5	5
8	9	1; 2	*	*	6	7	5	6	4	5
		3; 4; 5; 6; 7			7	7	6	6	5	5
9; 0	*	1; 2; 3; 4	*	*	6	6	5	5	4	4
		5; 6; 7; 8			7	7	6	6	5	5

Mezní úchytky a tolerance rozměrů: kolmo k rázu $\perp$ mezní úchytky
 tolerance

**Tab. 10. MEZNÍ ÚCHYLKY A TOLERANCE ROZMĚRŮ VÝKOVKŮ
 PRO STUPEŇ PŘESNOSTI: 5**

Rozměry v mm

Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes do 25	Mezní úchytky	+0,6 -0,3	+0,6 -0,4	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+1,0 -0,4			
	Tolerance	0,9	1,0	1,1	1,2	1,4			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+0,7 -0,4	+0,8 -0,4	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6		
	Tolerance	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,8		
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+0,9 -0,4	+1,0 -0,4	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6		
	Tolerance	1,3	1,4	1,5	1,6	1,8	2,0		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,7 -0,8	
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,8	2,0	2,2	2,5	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,6	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,9	
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,0	2,2	2,4	2,7	
přes 160 do 250	Mezní úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,5 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,9	+2,0 -1,0	+2,3 -1,2
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,3	2,5	2,7	3,0	3,5
přes 250 do 400	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,8 -0,9	+1,9 -1,0	+2,1 -1,0	+2,3 -1,1	+2,6 -1,3
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,7	2,9	3,1	3,4	3,9
přes 400 do 630	Mezní úchytky	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,6 -1,3	+3,0 -1,4
	Tolerance	2,9	3,0	3,1	3,2	3,4	3,6	3,9	4,4
přes 630 do 1000	Mezní úchytky	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,7 -1,4	+2,9 -1,4	+3,0 -1,5	+3,2 -1,6	+3,5 -1,8
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,1	4,3	4,5	4,8	5,3

rovnoběžně s rázem //

mezní úchytky

tolerance

Tab. 11. MEZNÍ ÚCHYLKY A TOLERANCE ROZMĚRŮ VÝKOVKŮ
PRO STUPEŇ PŘESNOSTI: 6

Rozměry v mm

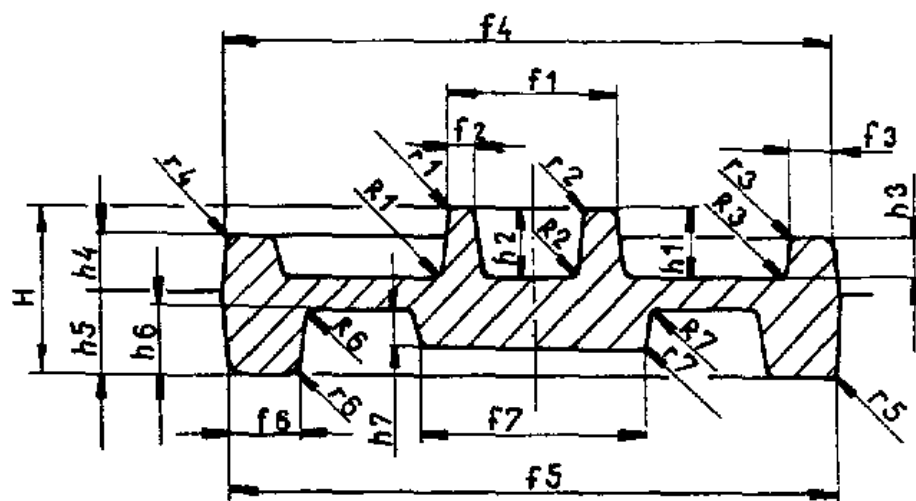
Největší průměr výkovku D nebo $0,5 \cdot (L+B)$ ve směru kolmo k rázu		Rozměr výkovku ve směru rázu (H)							
		přes	25	40	63	100	160	250	400
		do 25	40	63	100	160	250	400	630
přes do 25	Mezní úchytky	+1,0 -0,5	+1,1 -0,5	+1,1 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7			
	Tolerance	1,5	1,6	1,7	1,9	2,1			
přes 25 do 40	Mezní úchytky	+1,1 -0,6	+1,2 -0,6	+1,3 -0,6	+1,4 -0,7	+1,6 -0,7	+1,8 -0,8		
	Tolerance	1,7	1,8	1,9	2,1	2,3	2,6		
přes 40 do 63	Mezní úchytky	+1,4 -0,6	+1,4 -0,7	+1,5 -0,7	+1,6 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -1,0		
	Tolerance	2,0	2,1	2,2	2,4	2,6	2,9		
přes 63 do 100	Mezní úchytky	+1,6 -0,8	+1,7 -0,8	+1,8 -0,8	+1,9 -0,9	+2,0 -1,0	+2,2 -1,1	+2,5 -1,2	
	Tolerance	2,4	2,5	2,6	2,8	3,0	3,3	3,7	
přes 100 do 160	Mezní úchytky	+1,9 -0,9	+1,9 -1,0	+2,0 -1,0	+2,1 -1,1	+2,3 -1,1	+2,5 -1,2	+2,7 -1,4	
	Tolerance	2,8	2,9	3,0	3,2	3,4	3,7	4,1	
přes 160 do 250	Mezní úchytky	+2,1 -1,1	+2,2 -1,1	+2,3 -1,1	+2,4 -1,2	+2,5 -1,3	+2,7 -1,4	+3,0 -1,5	+3,4 -1,7
	Tolerance	3,2	3,3	3,4	3,6	3,8	4,1	4,5	5,1
přes 250 do 400	Mezní úchytky	+2,5 -1,3	+2,6 -1,3	+2,7 -1,3	+2,8 -1,4	+2,9 -1,5	+3,1 -1,6	+3,4 -1,7	+3,8 -1,9
	Tolerance	3,8	3,9	4,0	4,2	4,4	4,7	5,1	5,7
přes 400 do 630	Mezní úchytky	+3,1 -1,5	+3,1 -1,6	+3,2 -1,6	+3,3 -1,7	+3,5 -1,7	+3,7 -1,8	+3,9 -2,0	+4,3 -2,2
	Tolerance	4,6	4,7	4,8	5,0	5,2	5,5	5,9	6,5
přes 630 do 1000	Mezní úchytky	+4,1 -2,1	+4,2 -2,1	+4,2 -2,2	+4,4 -2,2	+4,5 -2,3	+4,7 -2,4	+5,0 -2,5	+5,4 -2,7
	Tolerance	6,2	6,3	6,4	6,6	6,8	7,1	7,5	8,1

Boční úkosy: vnější°
vnitřní°

Tab. 6. ÚKOSY

	vnější	vnitřní
Zápustkové výkovky se běžně vyrábějí s úkosy	3°	7°
Vzhledem k rozdílné úrovni technologického zařízení výrobců výkovků se dovolují úkosy – pro buchary a lisy bez vyhazovače	7°	10°
– lisy s vyhazovačem	2° až 3°	3° až 5°
– vodorovné kovací stroje	0 až 5°	0 až 5°

Zaoblení hran a rohů: $r = \dots\dots$ mm
 $R = \dots\dots$ mm



Tab. 4. ZAOBLNÍ HRAN r A PŘECHODŮ R VÝKOVKŮ

Rozměry v mm

Výška (hloubka) h		Poloměry zaoblení hran a přechodů při poměru					
		$\frac{h}{f}$ do 2		$\frac{h}{f}$ přes 2 do 4		$\frac{h}{f}$ přes 4	
přes	do	r	R	r	R	r	R
	25	2	6	2	8	3	10
25	40	3	8	3	10	4	12
40	63	4	10	4	12	5	20
63	100	5	12	6	20	8	25
100	160	8	20	8	25	16	40
160	250	12	30	16	45	25	65
250	400	20	50	25	75	40	100
400	630	30	80	40	120	65	150

Úchylky poloměrů: R
 r

Tab. 13. MEZNÍ ÚCHYLKY ZAOBLENÍ PŘECHODŮ R A HRAN r

Rozměry v mm

Poloměr zaoblení		Mezní úchylky			
přes	do				
	10	+0,50 -0,25	R	+0,25 -0,50	r
10	32	+0,40 -0,20		+0,20 -0,40	
32	100	+0,30 -0,15		+0,15 -0,30	
100		+0,25 -0,10		+0,10 -0,25	

Nejmenší tloušťka blány: $H_1 = \dots\dots$ mm

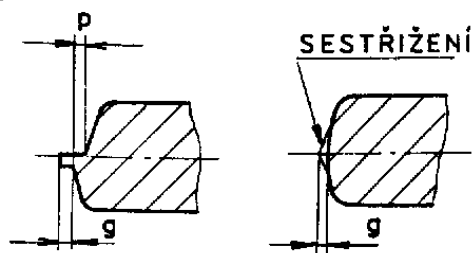
Tab. 5. NEJMENŠÍ TLOUŠŤKA DŇA, BLÁNY, DISKU H_1
A STĚNY s VÝKOVKU

Rozměry v mm

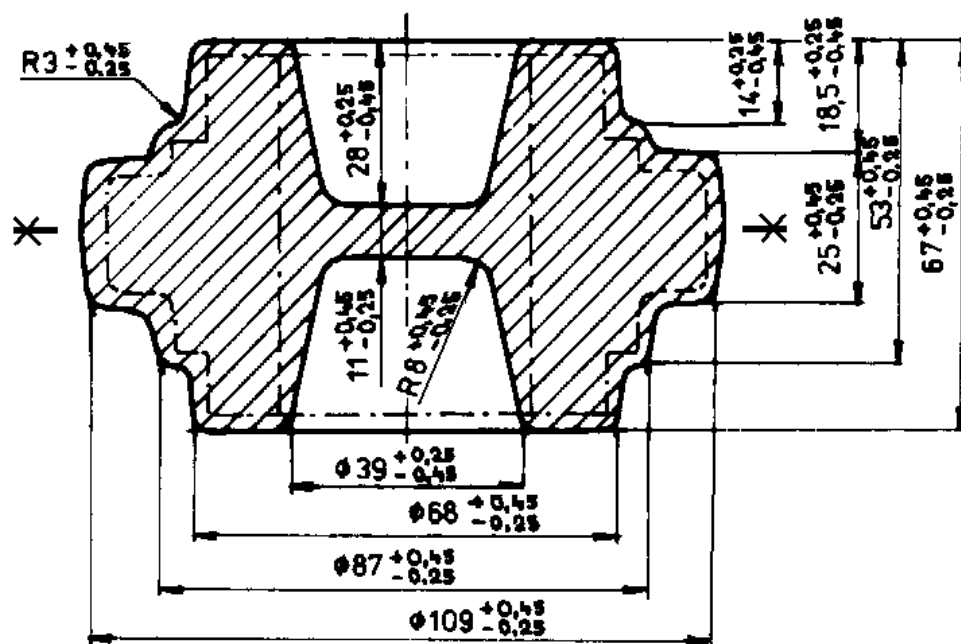
Největší rozměr výkovku ve směru kolmo k rázu (B, D)		Největší výška výkovku H							
		přes	10	25	40	63	100	160	250
		do 10	25	40	63	100	160	250	400
přes	do	Nejmenší tloušťka dna, disku H_1 a stěny s							
	40	4	5	6	7	9			
40	63	5	5	6	7	9	11		
63	100	5	6	7	9	11	13	15	
100	160	6	7	9	11	13	15	17	20
160	250	8	9	11	13	15	17	20	25
250	400	10	13	15	17	20	25	30	35
400	630			20	25	30	35	40	50
630	1000			25	30	35	40	50	60

Dovolené přesazení $p = \dots\dots$ mm, dovolený otřep a sestřizení $g = \dots\dots$ mm

34. Hodnota dovoleného přesazení p , dovoleného otřepu a sestřizení g je rovna minusové mezní úchylce stanovené pro daný výkovek a daný rozměr z úchylek kolmo k rázu



Z uvedených hodnot je vypracován výkres výkovku:



Vnitřní úkosy°, vnější úkosy°
Vnitřní poloměry $r \dots \pm \dots$, vnější poloměry $R \dots \pm \dots$

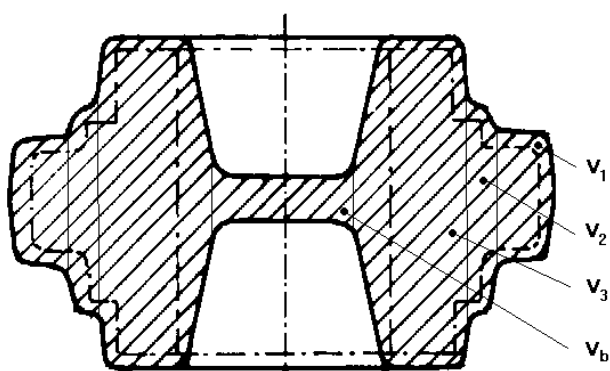
Obr.5 Výkres výkovku

Pro stanovení rozměrů výchozího polotovaru potřebujeme zjistit celkový objem polotovaru, který zahrnuje objem výkovku s výronkem a přídavkem na ztrátu opalem:

$$V_c = V_v + V_{výr} + V_{op} = \dots \text{ [mm}^3\text{]}$$

Objem výkovku V_v vypočítáme ze součtů objemů elementárních tvarů:

$$V_v = V_1 + V_2 + V_3 + V_b = \dots \text{ [mm}^3\text{]}$$



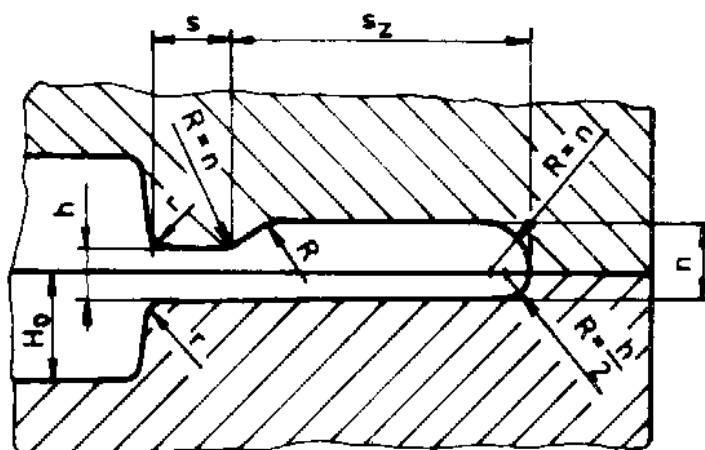
Obr.6 Rozdělení na elementární tvary

$$V_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (D^2 - d^2) \cdot h = \dots \text{ [mm}^3\text{]}$$

...

...

Objem výronku je závislý na tvaru **výronkové drážky** dle ČSN 22 8308.



Obr. 7 Tvar a rozměry výronkové drážky pro buchar

Rozměry výronkové drážky jsou určovány tloušťkou výronku h , která se vypočte ze vztahu $h = 0,015 \cdot \sqrt{S_D}$ [mm], kde S_D je plocha průměru výkovku do dělicí roviny.

$$S_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Po vypočtení tloušťky výronku volíme jeho nejbližší vyšší hodnotu z normy.

Čís.	h	n	Pěchování			Protlačování					
											
			s	s_z	$F_{výr}$	s	s_z	$F_{výr}$	s	s_z	$F_{výr}$
1	0,6	3	6	18	0,52	6	20	0,61	8	22	0,74
2	0,8	3	6	20	0,69	7	22	0,77	9	25	0,88
3	1,0	3	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
4	1,6	3,5	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
5	2,0	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
6	3,0	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
7	4,0	6	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85
8	5,0	7	12	32	3,43	15	40	4,34	18	46	5,06
9	6,0	8	13	35	4,35	16	42	5,30	20	50	6,42
10	8,0	10	14	38	6,01	18	46	7,45	22	55	9,03
11	10,0	12	15	40	7,68	20	50	9,88	25	60	12,08

Následně stanovíme ostatní rozměry výronkové drážky:

$h = \dots \text{ mm}$
 $n = R = \dots \text{ mm}$
 $s = \dots \text{ mm}$
 $s_z = \dots \text{ mm}$
 $S_{výr} = \dots \text{ mm}^2$

Přechod tvaru dutiny zápustky do dělicí roviny $r = \frac{\sqrt{S_D}}{200} + 0,04 \cdot H_D$ [mm], kde H_D je polovina výšky výkovku. Poloměr přechodu r zaokrouhlíme na nejbližší vyšší celé číslo.

Vlastní objem výronku spočítáme podle Guldinovy věty:

$$V_{výr} = S_{výr} \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot D_t \quad [\text{mm}^3]$$

D_t je průměr vztažený k těžišti plochy výronku, $D_t = D + 2 \cdot s + \frac{s_z}{2}$ [mm]

Pro určité složitosti tvaru se uvažuje zaplnění prostoru výronkové drážky na $(50 \div 70) \%$. Volíme 50 %.

Objem přídavku na opal V_{op} bývá obvykle $(3 \div 5) \%$ objemu výkovku.

$$V_{op} = (V_v + V_{výr}) \cdot 0,03 = \dots \text{ mm}^3$$

Celkový objem polotovaru $V_c = V_v + V_{výr} + V_{op} = \dots \text{ [mm}^3]$

Vlastní **rozměry polotovaru** musí respektovat pravidlo přechování, tj. štíhlostní poměr λ (poměr délky polotovaru k jeho průměru), vzhledem k nekontrolovatelnému vybočení do strany v počátku přechování (ztráta stability).

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 2,8 \div 1,5$$

Vypočítaný průměr polotovaru

$$D_0' = 1,08 \cdot \sqrt[3]{\frac{V_c}{\lambda}} \quad [\text{mm}], \text{ kde } \lambda \text{ volíme rovno } 2$$

Skutečný průměr volíme nejbližší podle rozměrové normy ČSN 42 6510, tj. $D_0 = \dots \text{ mm}$.

Výběr z ČSN 42 6510

Jmeno- vitý rozměr d (mm)	Mezní úchylka průměru (mm)	Plocha průřezu S (mm ²)	Hmotnost 1 m (kg)
38	$\pm 0,8$	1 134	8,9
40		1 257	9,87
42		1 385	10,9
45		1 590	12,5
48		1 809	14,2
50		1 964	15,4
52	± 1	2 124	16,7
55		2 376	18,7
58		2 642	20,7
60		2 827	22,2
63		3 117	24,5
65		3 318	26
68		3 632	28,5
70		3 848	30,2
75		4 418	34,7
80		5 027	39,5

Délka polotovaru

$$L_0 = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} \quad [\text{mm}]$$

Kontrola štíhlosti polotovaru $\lambda = \frac{L_0}{D_0} = \dots \Rightarrow$ vyhovuje (nevyhovuje), je v mezích $(2,8 \div 1,5)$.

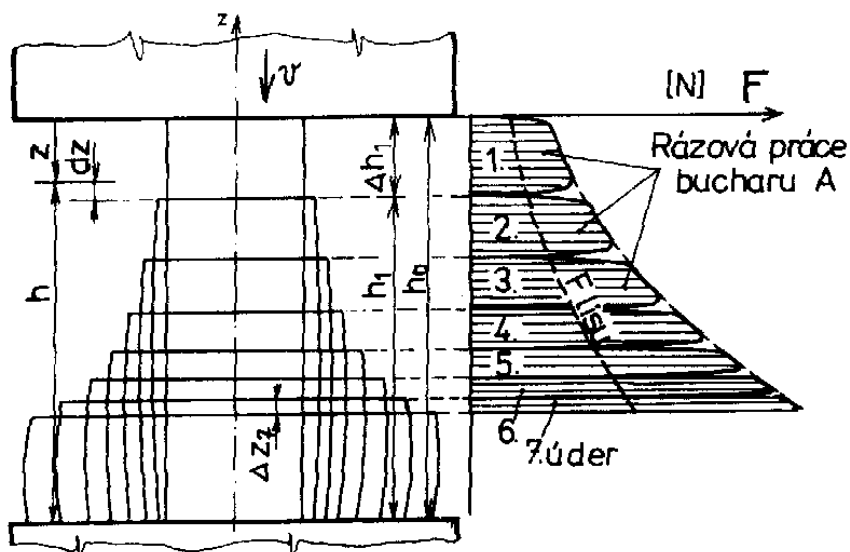
Výpočet práce pro kruhový výkovek:

K volbě vhodného tvářecího stroje zapotřebí stanovit sílu (u lisů) nebo práci (u bucharů).

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_s \quad [\text{J}]$$

σ_s je pevnost materiálu za kovací teploty [MPa]

D_D je průměr výkovku s výronkem, $D_D = D + 2 \cdot s$ [cm]



Tab. 2. PEVNOST OCELI ZA KOVACÍ TEPLITY σ_s [MPa]

$T\text{ }^{\circ}\text{C}$	Pevnost oceli R_m [MPa]				Ložiskový materiál
	400	600	800	1000	
	Pevnost oceli za kovací teploty σ_s [MPa]				
1300	14	20	24	30	—
1200	18	22	36	50	—
1100	22	36	51	68	35
1000	30	54	75	109	60
900	45	75	115	159	90
800	66	111	155	230	140
700	95	150	250	330	—

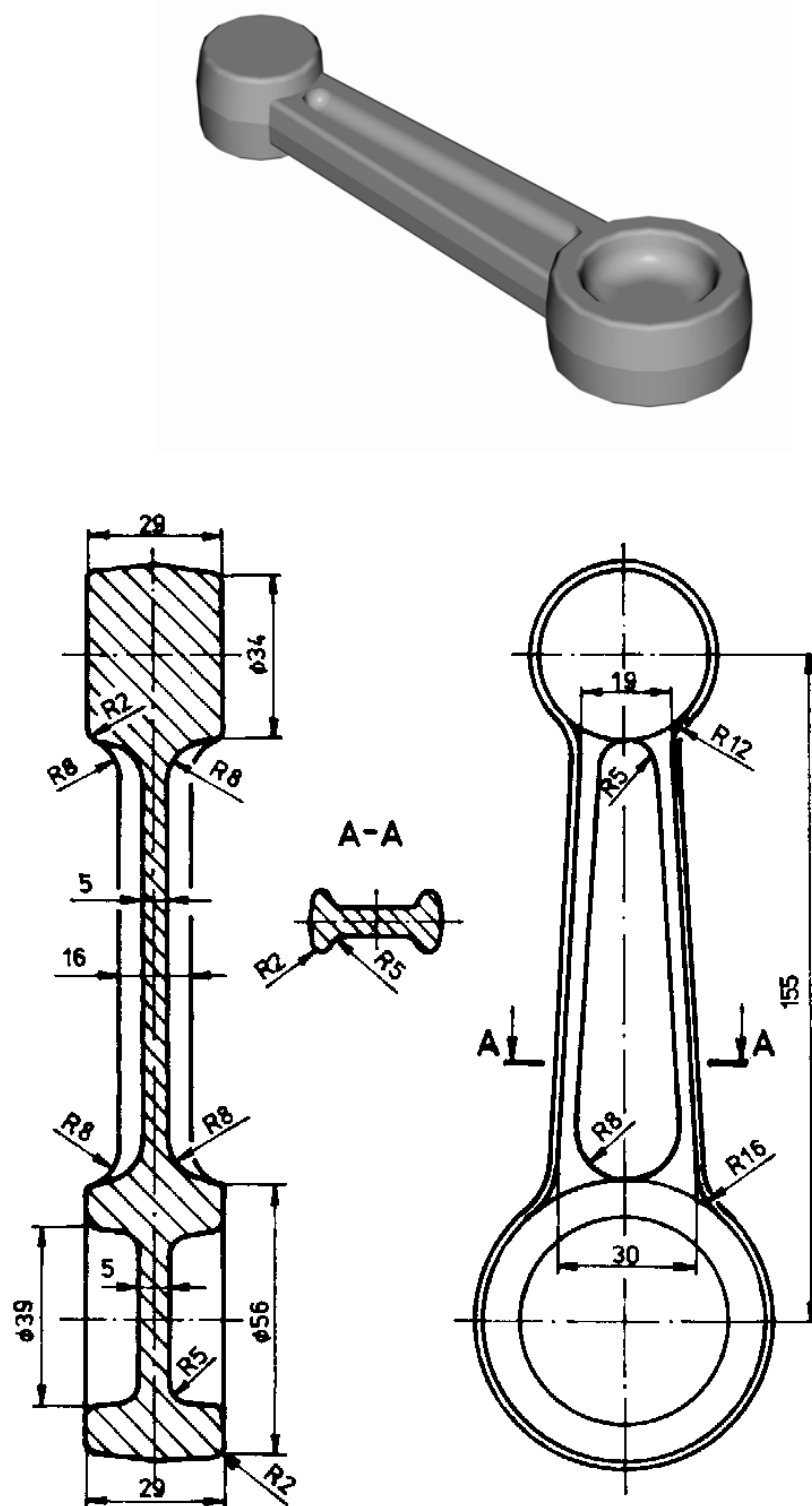
Určení velikosti bucharu

Navrhnete buchar, který má jmenovitou energii úderu vyšší než je hodnota Vámi vypočtené práce.

K dispozici jsou buchary

KHZ – 2	o jmenovité energii úderu 20 kJ
KHZ – 4	40 kJ
KHZ – 6	60 kJ

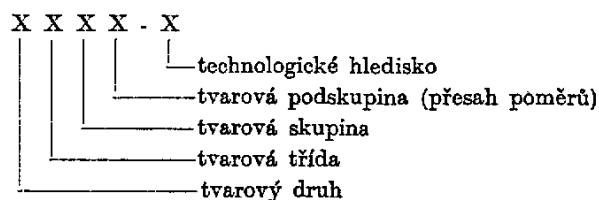
1.3 Výroba součásti zápustkovým kováním – výkovek nerotačního tvaru



Obr.8 Ojnice

Zařazení výkovku podle složitosti tvaru dle ČSN 42 9002:

- tvarový druh: x —
- tvarová třída: x —
- technologické hledisko: x —



12. Tvarový druh — první číslice v číselném označení výkovku (X x x x - x).

X x x x - x

- 4 výkovky kruhového průřezu plné
- 5 výkovky kruhového průřezu duté
- 6 výkovky hranolovitých tvarů plné i duté
- 7 výkovky kombinovaných tvarů plné i duté
- 8 výkovky s ohnutou osou
- 9 výkovky složitých tvarů s přímou dělicí plochou
- 0 výkovky s lomenou dělicí plochou

13. Tvarová třída — druhá číslice v číselném označení výkovku (x X x x - x)

Výkovky tvarového druhu 4, 5, 6, 7 a 8 se dále rozdělují do tvarových tříd:

x X x x - x

- 1 konstantní průřez
- 2 kuželovité (jehlanovité, klínovité)
- 3 jednostranně osazené
- 4 oboustranně osazené
- 5 osazené s kuželem (jehlanem, klínem)
- 6 prosazené
- 7 kombinované
- 8 kombinované s kuželem (jehlanem, klínem)
- 9 členité (u tvarového druhu 8 — výkovky háků)
- 0 neobsazeno

16. Technologické hledisko — pátá číslice v číselném označení výkovku (x x x x - X)

x x x x - X

- 1 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
s o u m ě r n ě
- 2 výkovky s dělicí plochou ve směru hlavní osy
n e s o u m ě r n ě
- 3 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
s o u m ě r n ě
- 4 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
n e s o u m ě r n ě
- 5 výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu
s o z u b e n í m
- 6 výkovky zhotovené na vodorovných kovací lisech
s o u m ě r n ě
- 7 výkovky zhotovené na vodorovných kovací lisech
n e s o u m ě r n ě
- 8 výkovky zhotovené na vodorovných kovací lisech
s o z u b e n í m
- 9 výkovky s více dělicími plochami
- 0 neobsazeno

Objem výchozího polotovaru pro výkovek složitějšího tvaru lze snadno zjistit vypracováním průřezového obrazce a z něj pak dále určit i tvar ideálního předkovku.

Průřezový obrazec:

Pro charakteristické průřezy výkovku (viz. obr.2) vypočítáme velikost příslušné plochy průřezu výkovku včetně výronku.

Vypočteme tloušťku výronku $h = 0,015 \cdot \sqrt{S_D}$ [mm], kde S_D je plocha průměru výkovku do dělicí roviny.

$$S_D = \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

Po vypočtení tloušťky výronku volíme jeho nejbližší vyšší hodnotu z normy.

Čís.	h	n	Pěchování			Protlačování					
						jednoduché			složené		
			s	s _z	F _{výr}	s	s _z	F _{výr}	s	s _z	F _{výr}
1	0,6	3	6	18	0,52	6	20	0,61	8	22	0,74
2	0,8	3	6	20	0,69	7	22	0,77	9	25	0,88
3	1,0	3	7	22	0,80	8	25	0,91	10	28	1,04
4	1,6	3,5	8	22	1,02	9	25	1,13	11	30	1,55
5	2,0	4	9	25	1,36	10	28	1,53	12	32	1,77
6	3,0	5	10	28	2,01	12	32	2,33	14	38	2,78
7	4,0	6	11	30	2,68	14	38	3,44	16	42	3,85
8	5,0	7	12	32	3,43	15	40	4,34	18	46	5,06
9	6,0	8	13	35	4,35	16	42	5,30	20	50	6,42
10	8,0	10	14	38	6,01	18	46	7,45	22	55	9,03
11	10,0	12	15	40	7,68	20	50	9,88	25	60	12,08

Následně stanovíme ostatní rozměry výronkové drážky:

h = mm

n = R = mm

s = mm

s_z = mm

S_{výr} = mm²

Plochu výronku v každém průřezu volíme mm².

Ideální předkovek a volba polotovaru:

Rozměr výchozího polotovaru je určen pomocí ideálního předkovku.

Ideální předkovek je odvozen z průřezového obrazce tak, že jednotlivé plochy ve zvolených řezech se převedou na kruhový průřez:

$$D_i = \sqrt{\frac{4 \cdot S_i}{\pi}} = \text{..... [mm]}$$

S_i jsou obsahy jednotlivých ploch průřezového obrazce.

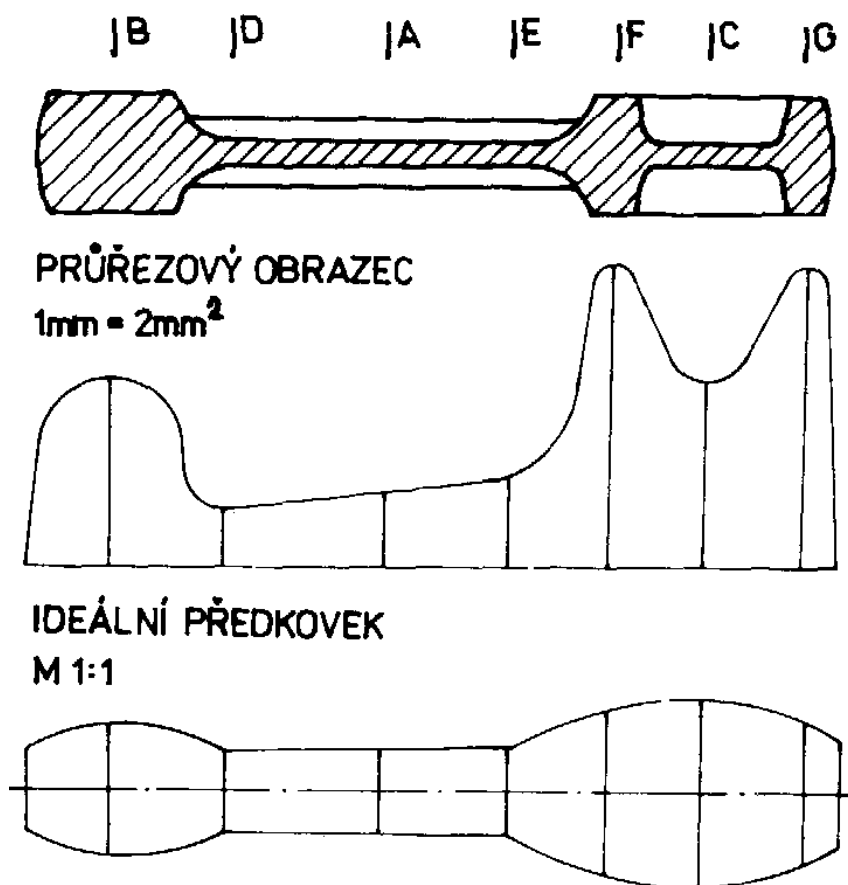
Maximální průměr ideálního předkovku orientačně určuje průřez výchozího polotovaru. Upřesnění výchozího průřezu se provede podle volby předkovacích dutin nebo jiného způsobu výroby předkovku (např. příčným klínovým válcováním).

Při určování objemu výchozího polotovaru musíme počítat s 2 % přídavku na propal.

Pozice průřezu	Vzdálenost průřezu [mm]	Plocha průřezu [mm ²]	Plocha průřezu s výronkem [mm ²]	Plocha průřezu s výronkem a propalem S_i [mm ²]	Odpovídající kruhový průřez $D_i \phi$ [mm]
A	74	314			
B	0	1030			
C	155	801			
D	24	274			
E	120	362			
F	136	1190			
G	178	995			

Tab.1 Velikost průřezových ploch výkovku

Vynesením hodnot odpovídajících obsahu jednotlivých ploch od jedné osy a hladkým spojením koncových bodů získáme průřezový obrazec výkovku.



Obr.9 Výkovek, průřezový obrazec a ideální předkovek

Přibližný výpočet potřebné energie bucharu:

Volba vhodné velikosti zápustkového bucharu pro výrobu určitého výkovku vyžaduje použití všeobecných zkušeností. K výpočtu jsou používány metody, které přihlíží k faktorům, ovlivňujícím průběh tváření, jako jsou např. plocha, tvar a složitost výkovku, přetvárný odpor materiálu, rozložení napětí v průřezu výkovku a další.

Často se uplatňuje rychlý orientační výpočet, vycházející ze součinu plochy průmětu výkovku S_v , včetně výronkového můstku, a koeficientu měrné energie a , který je různý podle druhu materiálu a složitosti výkovku. Lehké výkovky, které mají snahu rychle chladnout a výkovky se složitým příčným řezem mají tento koeficient nejvyšší (viz. tabulka).

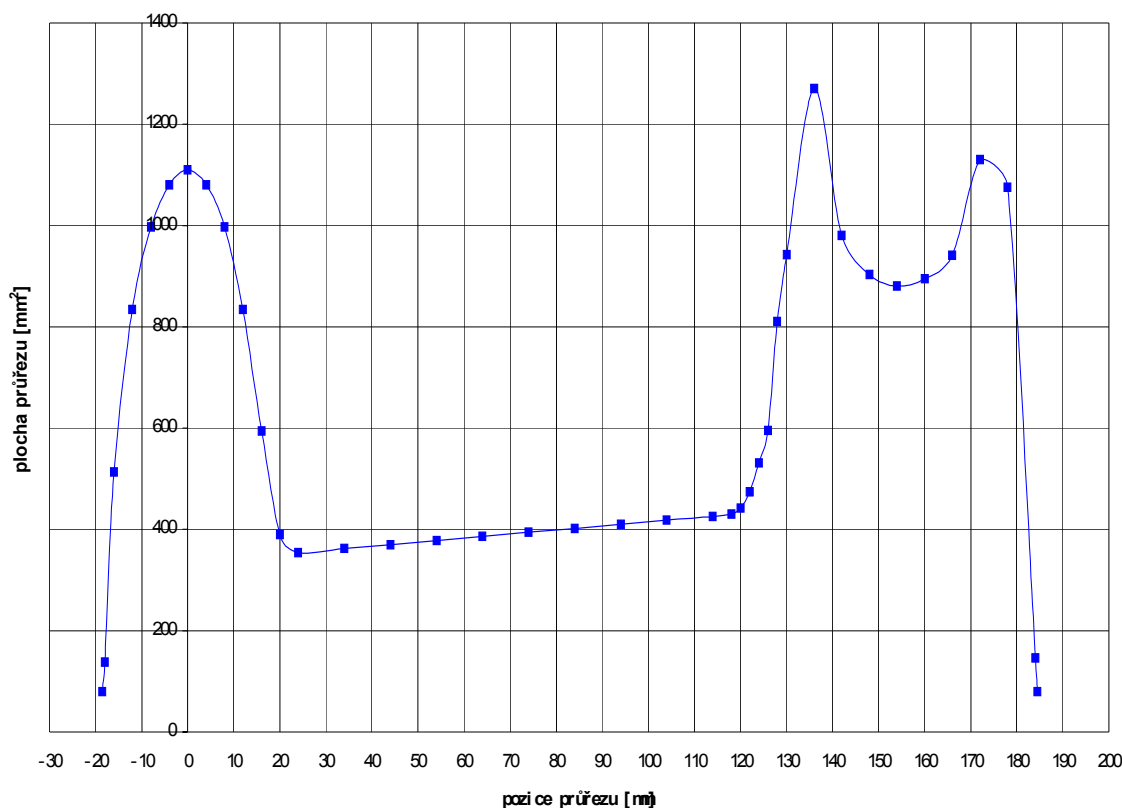
Materiál	Koeficient měrné energie a [J.mm ⁻²]
Hliníkové slitiny	0,47 - 0,68
Uhlíkové oceli	0,52 - 0,73
Slitinové oceli	0,73 - 1,05
Nerezové oceli	0,84 - 1,47
Titanové slitiny	1,26 - 1,89
Žáruvzdorné slitiny	1,26 - 1,89

Pak potřebná energie úderu bucharu je :

$$E = S_v \cdot a = \dots\dots \text{ [J]}$$

Po zvolení potřebné velikosti bucharu je třeba prověřit také jeho pracovní prostor – upínací možnosti pro umístění zápustky. Rozměry vlastní zápustky musí respektovat pravidla rozmístění dutin, minimální „vytloukáci plochu“, přes kterou se přenáší a rozkládá maximální úderová energie bucharu, úkosy pro upevňovací klíny a další náležitosti podle ČSN 22 8308 a další.

Průřezový drazec



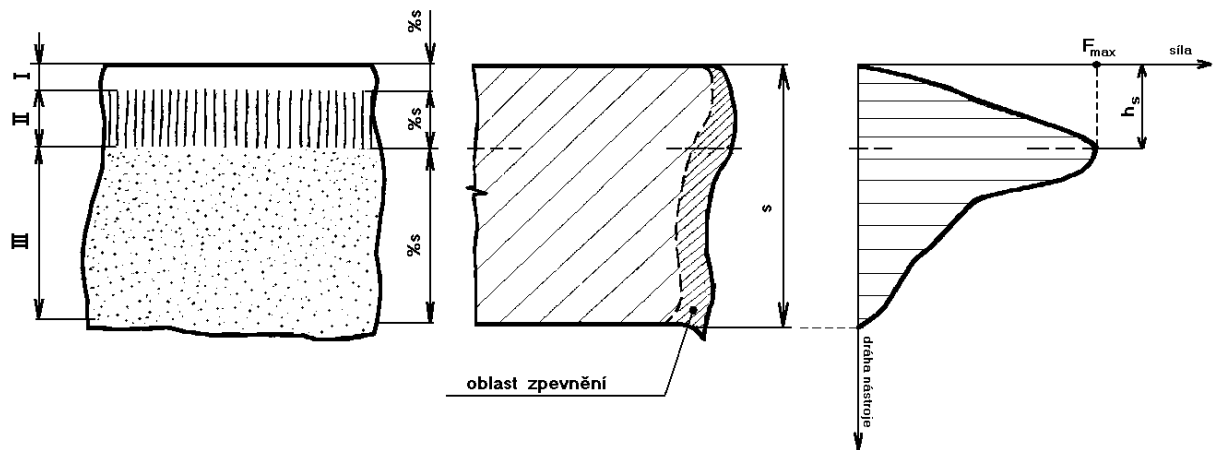
2. Plošné tváření

2.1 Výroba součástí postupovým stříháním

Obecné seznámení s problematikou stříhání [5,3]

Stříhání je základní operací dělení materiálu, která je u kovů zakončena porušením – lomem v ohnisku deformace. K oddělování materiálu dochází pohybem dvou protilehlých břitů nožů.

Kvalita střížné plochy závisí zejména na těchto faktorech: velikosti střížné mezery, vlastnostech stříhaného materiálu, kvalitě střížného nástroje, způsobu stříhání, aj. .

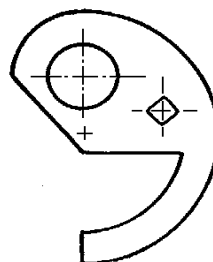


Obr.10 Tvar střížné plochy [5]

- Oblast I: pásmo pružné deformace vzniklé při vnikání střížníku do materiálu
- Oblast II: hladká a lesklá část střížné plochy, je vytvořena plasticou deformací – plasticým stříhem
- Oblast III: pásmo lomu – probíhá samovolné oddělování stříhané části pod smykovým napětím
- h_s : hloubka vniku střížné hrany nástroje do materiálu v okamžiku oddělení
 (tvrdý a křehký materiál : $h_s \cong 10\% \cdot s$)
 (měkký a houževnatý materiál : $h_s \cong 60\% \cdot s$)

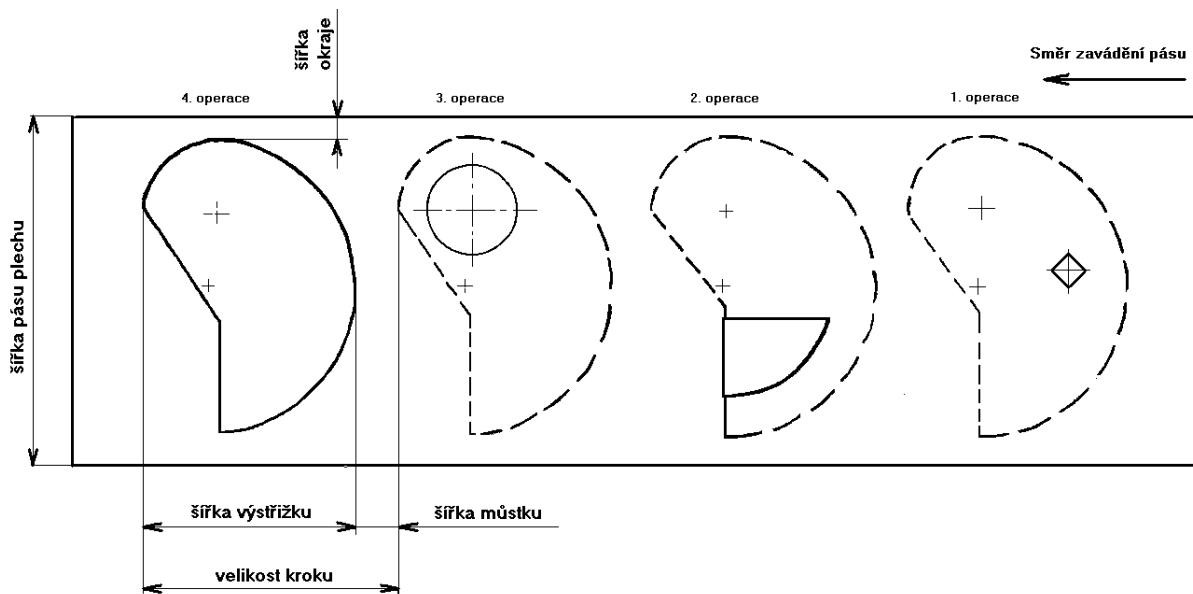
Příklad vypracování nástřihového plánu

- Obr. 11 Zadaný tvar výstřižku :

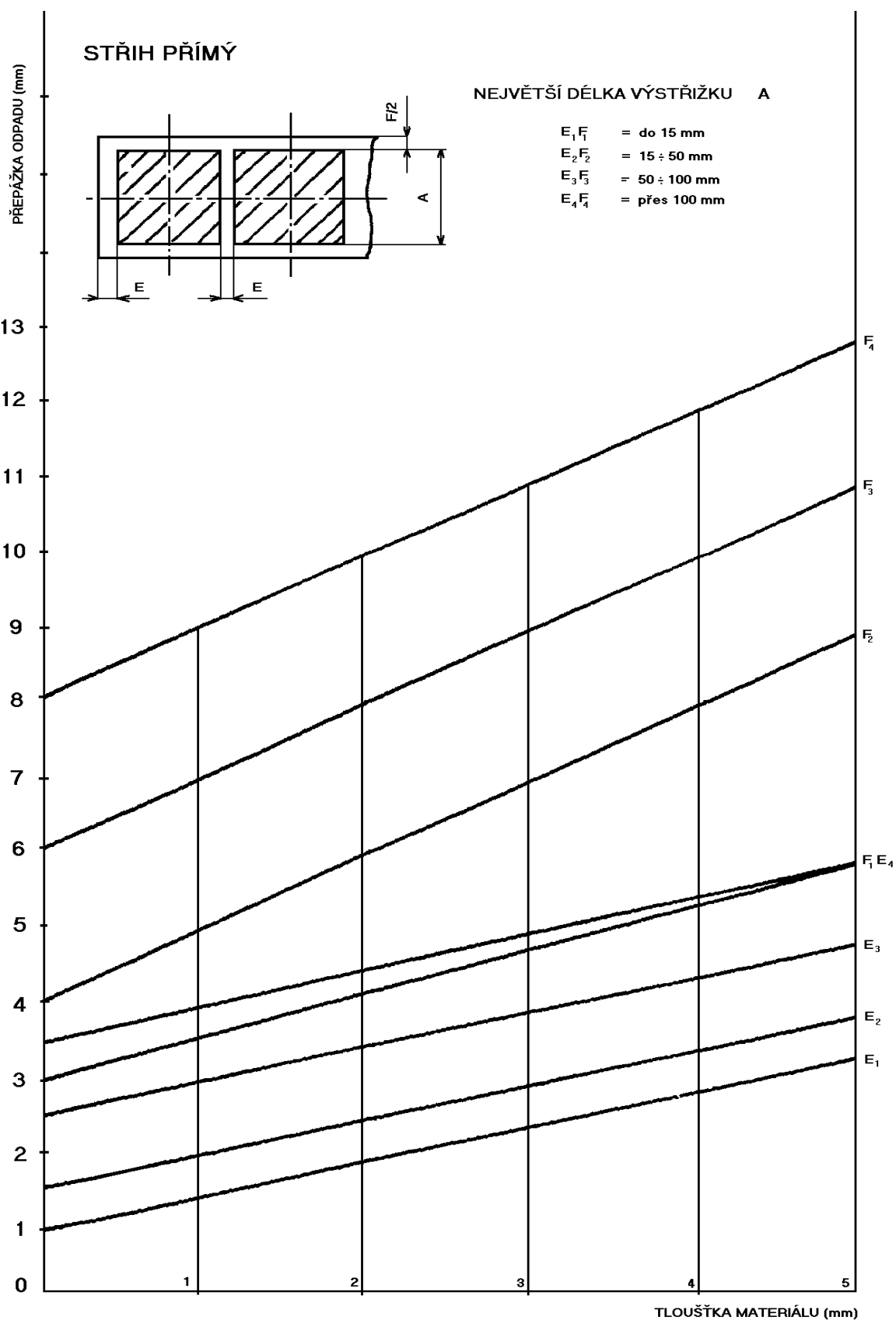


- postup vystřihování ve stříhadle:

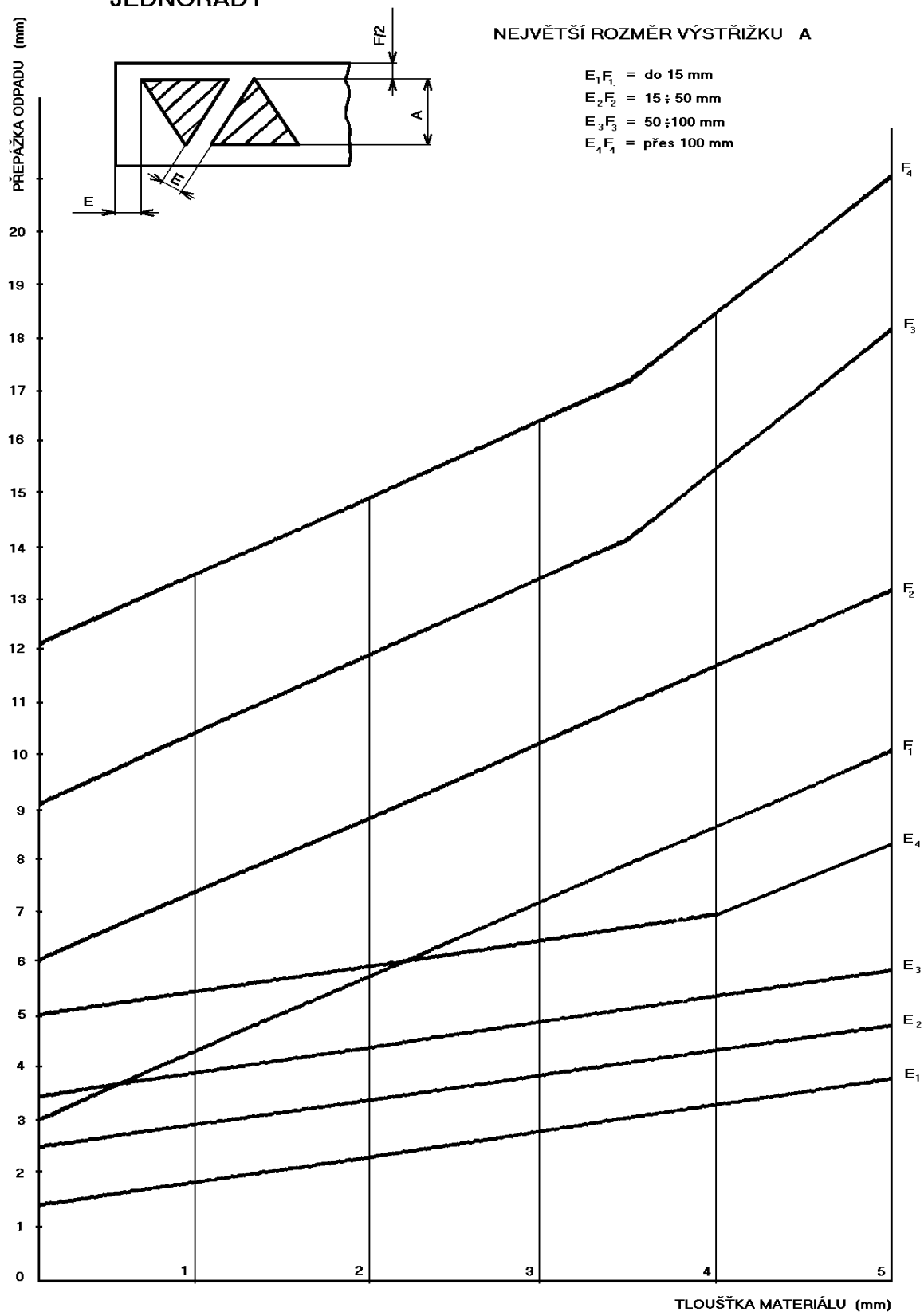
Obr. 12 Půdorys střížnice



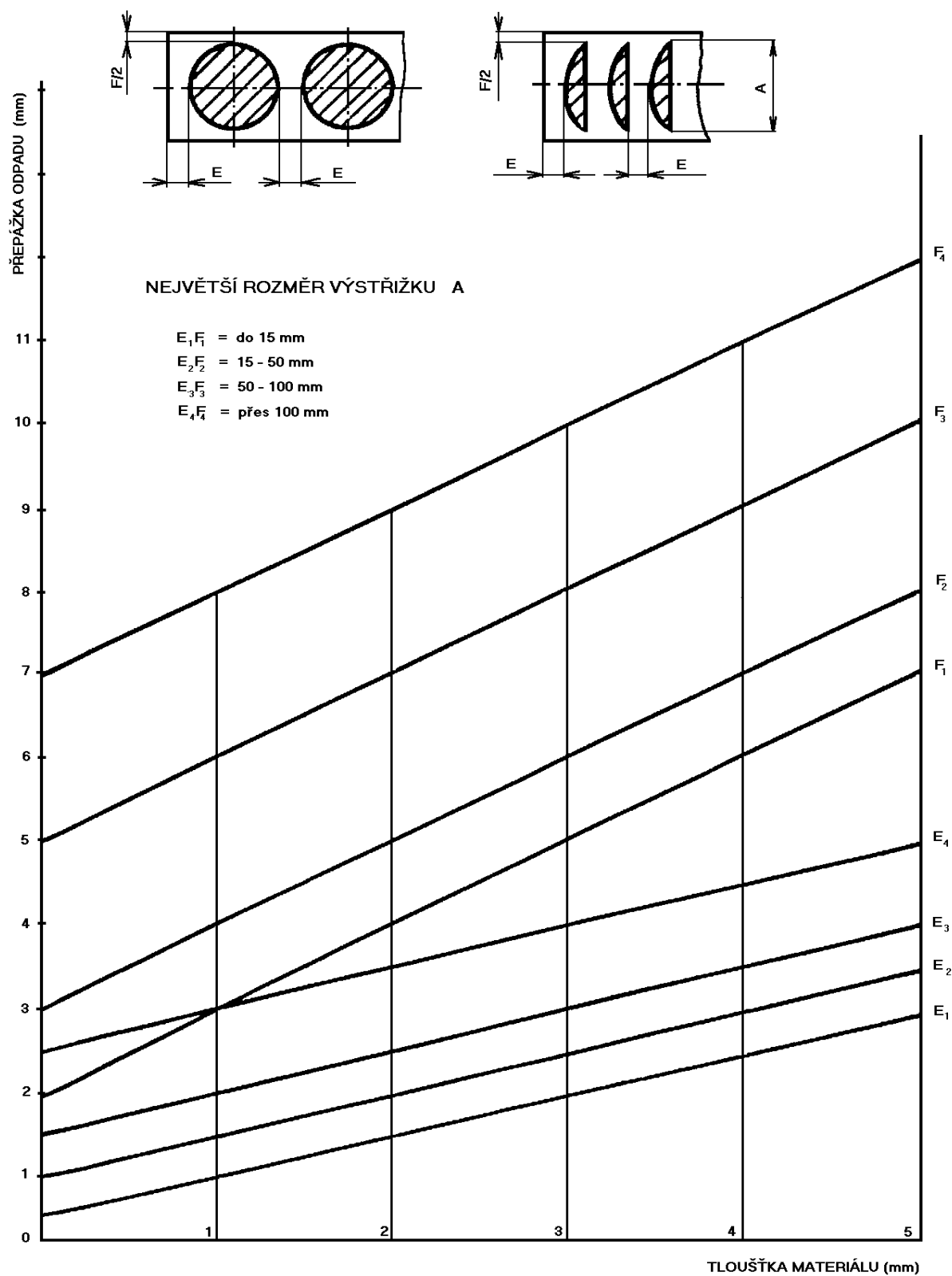
K	velikost kroku	[mm]
Š	šířka pásu plechu	[mm]
E	velikost můstku	[mm]
F/2	velikost okraje	[mm]



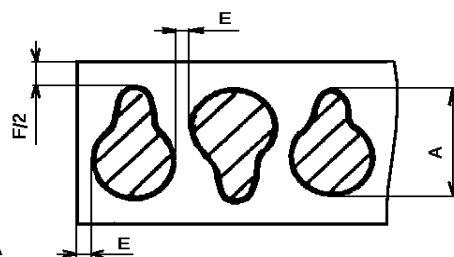
STŘIH PŘÍMÝ JEDNOŘADÝ



STŘIH PŘÍMÝ

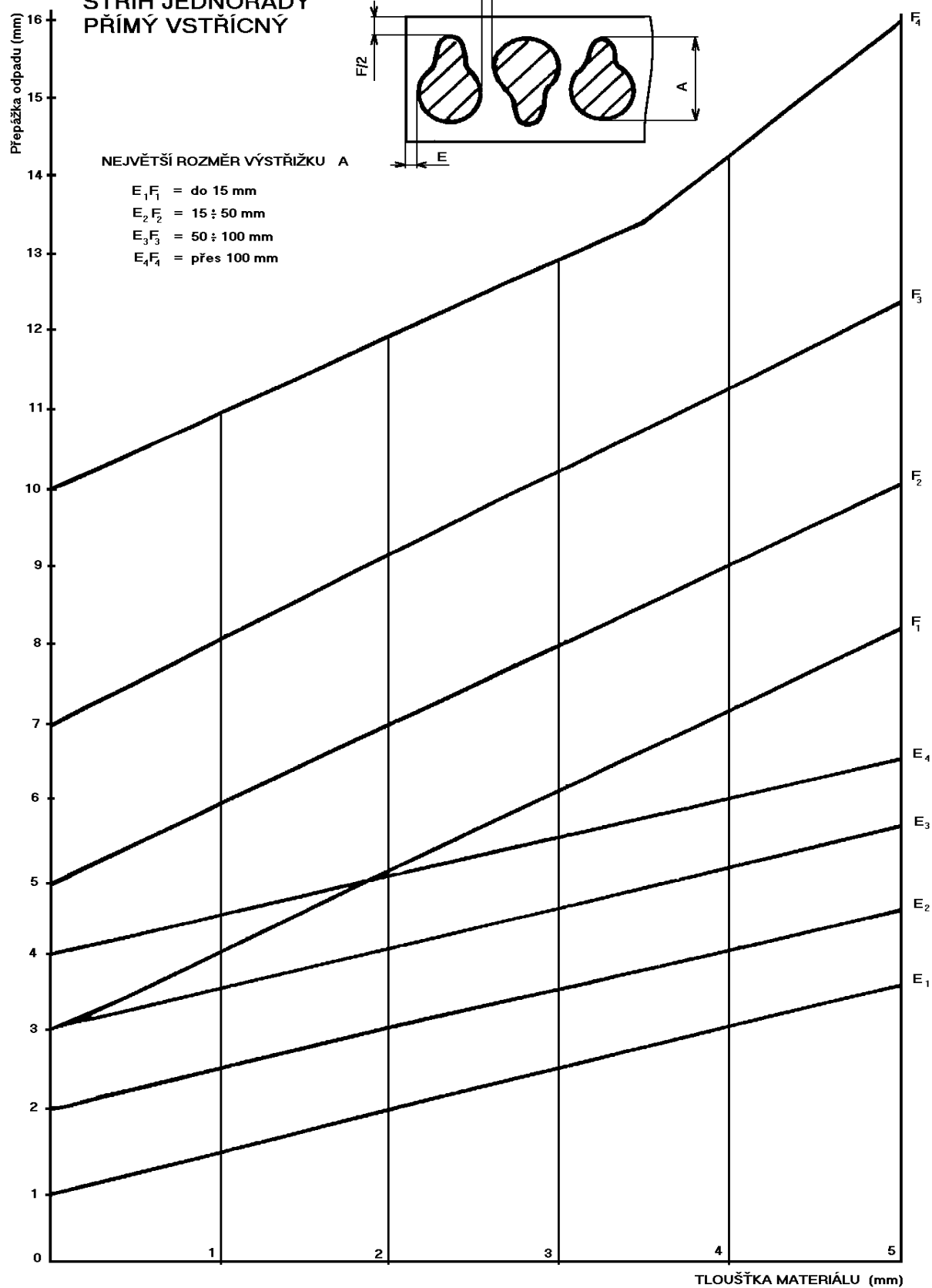


STŘIH JEDNOŘADÝ PŘÍMÝ VSTŘICNÝ



NEJVĚTŠÍ ROZMĚR VÝSTŘIŽKU A

- $E_1 F_1$ = do 15 mm
- $E_2 F_2$ = 15 ÷ 50 mm
- $E_3 F_3$ = 50 ÷ 100 mm
- $E_4 F_4$ = přes 100 mm



ZADÁNÍ:

Část 1 : Vyhodnocení střížné plochy

- A) Proměřte a pomocí dílenského mikroskopu vyhodnoťte kvalitu střížné plochy na zhotovených vzorcích .

Nakreslete a popište tvar střížné plochy daného vzorku a procentuelně vyhodnoťte velikosti oblastí I, II a III .

Oblast I (pásmo pružné deformace) zaujímá% tloušťky plechu.

Oblast II (pásmo plastického stříhu) zaujímá% tloušťky plechu.

Oblast III (pásmo lomu) zaujímá% tloušťky plechu.

- B) Proměřte a pomocí dílenského mikroskopu vyhodnoťte velikost hloubky vniku střížných hran do materiálu h_s u vzorků zhotovených s použitím nástrojů s velkou a malou střížnou vůlí. Porovnejte vzhled střížné plochy a popište rozdíly.

Část 2 : Zhotovení výstřížku z plechu

Na základě zadané součásti navrhnete postup její výroby v postupovém stříhadle.

Výchozí materiál: tabule ocelového plechu tř. 11 320 o rozměrech 2000x1000 mm,
 $R_m = 400 \text{ MPa}$.

Výrobní série : 20 000 ks

- Nakreslete ve vhodném měřítku tvar zadané součásti a okótuje ji.
- Navrhnete nejvhodnější uspořádání výstřížku v pásu plechu a nakreslete nástříhový plán. Stanovte velikost kroku, můstku a okraje pásu plechu.
- Vypočítejte potřebnou střížnou sílu pro vystřížení dané součásti

$$\text{Střížná síla: } F_s = n \cdot S \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot s \cdot 0,8 \cdot R_m \quad [\text{N}]$$

kde: S [mm²] plocha stříhu ($S = l \cdot s$)
 l [mm] délka stříhu (obvod všech stříhaných částí)
 s [mm] tloušťka stříhaného materiálu
 τ_s [MPa] střížný odpor ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$)
 $n = (1,2 \div 1,55)$ koeficient zahrnující opotřebení nástroje

- Vypočítejte střížnou vůli mezi střížníkem a střížnicí. Pro běžné stříhání se střížná vůle volí: $v = (4\% \div 10\%) \cdot s$ [mm] .
- Vypočítejte ekonomické využití výchozího materiálu
 - Výpočet šířky pásu plechu
 - Počet pásů z tabule
 - Počet kusů výstřížků z jednoho pásu a z jedné tabule plechu

- Výpočet množství potřebného materiálu (tabulí) ke zhotovení požadované série výrobků
- Procentuální využití tabule :

$$\frac{\text{celková plocha výrobků z 1 tabule}}{\text{plocha tabule}} \cdot 100 \quad [\%]$$
- Skutečná spotřeba materiálu a množství odpadu v kg pro danou sérii

f) Nakreslete schéma postupového střížného nástroje

2.2 Přesné stříhání a ohýbání

Obecné seznámení s problematikou přesného stříhání [2,3,6,7,8]

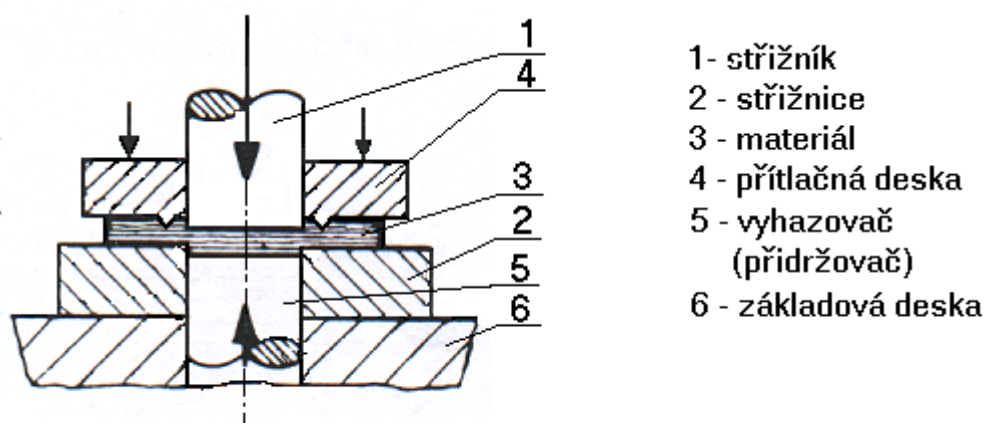
Technologie přesného stříhání zahrnuje několik metod stříhání plechů ve stříhadlech, jimiž lze dosáhnout kvalitní střížné plochy, kolmé k rovině plechu. Součásti vyrobené touto technologií se vyznačují velkou rozměrovou přesností.

Metody technologie přesného stříhání:

- a) Vystřihování se zaoblenými střížnými hranami
- b) Stříhání se zkoseným přidržovačem
- c) Přistřihování
- d) Přesné stříhání s tlačnou hranou

Princip nástroje pro přesné stříhání s tlačnou hranou

Pro přesné stříhání se používá nástroj, který se skládá ze čtyř základních funkčních částí (střížníku, střížnice, přidržovače s tlačnou hranou, vyhazovače).

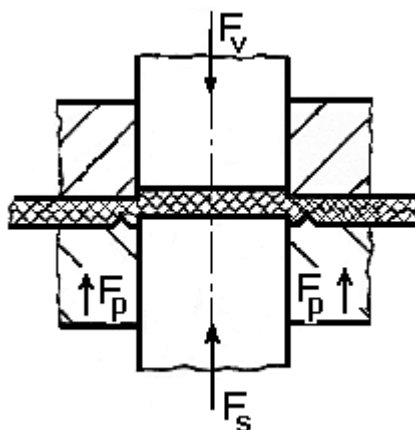


Obr.13 Princip nástroje [8]

Dříve než dojde k vlastnímu stříhu se do materiálu procházejícího nástrojem zatlačí tlačná hrana, která je zhotovena na čelní ploše tlačné desky podél stříhaného obvodu. Při procesu stříhání je stříhaný materiál sevřen mezi střížník a vyhazovač a současně je vně obrysu stříhu sevřen tlačnou deskou a střížnicí. Toto důkladné sevření zabrání vzniku ohybového momentu a tím prohnutí stříhaného plechu.

Síly působící na střížném nástroji

Každá hlavní pohyblivá funkční část nástroje vyvozuje sílu, jejíž směr je uveden na obr.14. Velikost těchto sil se určuje s ohledem na druh a tloušťku stříhaného materiálu a tvar stříhané součásti.



Obr. 14 Síly působící na nástroji [6]

Celková síla potřebná pro určení velikosti lisu je dána vztahem:

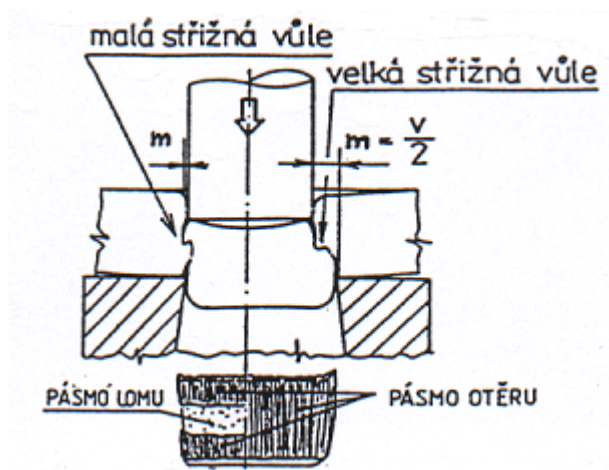
$$F_c = F_s + F_p + F_v \quad [\text{N}]$$

kde F_s - je síla střížníku, která vykonává vlastní střížnou práci.

F_p - je síla na přitlačné desce, která způsobuje zatlačení tlačné hrany do stříhaného materiálu. Způsobuje sevření materiálu vně křivky stříhu mezi přitlačnou deskou a střížnicí.

F_v - je síla na vyhazovači. Vyvozuje tlak proti střížné síle a spolu s ní svírá materiál uvnitř křivky stříhu.

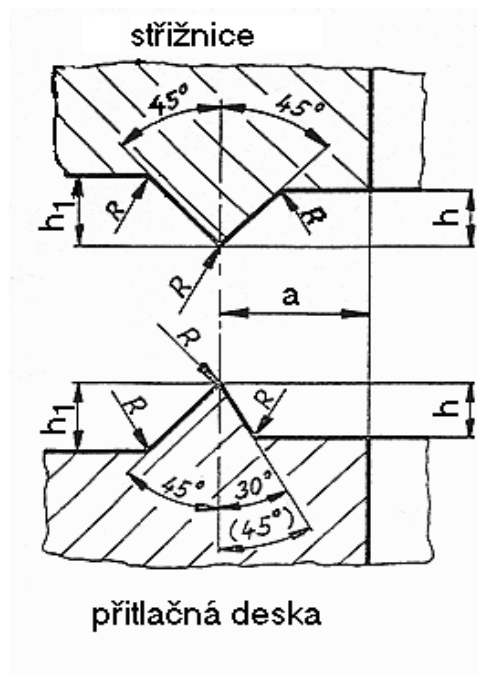
Střížná vůle má největší vliv na kvalitu střížné plochy a na rozměry budoucího výstřížku, neboť přímo ovlivňuje směr smykového napětí, které způsobuje oddělení materiálu. Malá vůle způsobuje, že smykové napětí působí kolmo na stříhaný materiál. Střížná vůle je u přesného stříhání asi 10x menší než u běžného stříhání. Velikost střížné vůle závisí na pevnosti stříhaného materiálu a jeho tloušťce. Pro běžnou praxi lze brát střížnou vůli přibližně 0,5% tloušťky materiálu.



Obr. 15 Velikost střížné vůle

[3]

Tlačná hrana a její umístění vzhledem k obrysu součásti



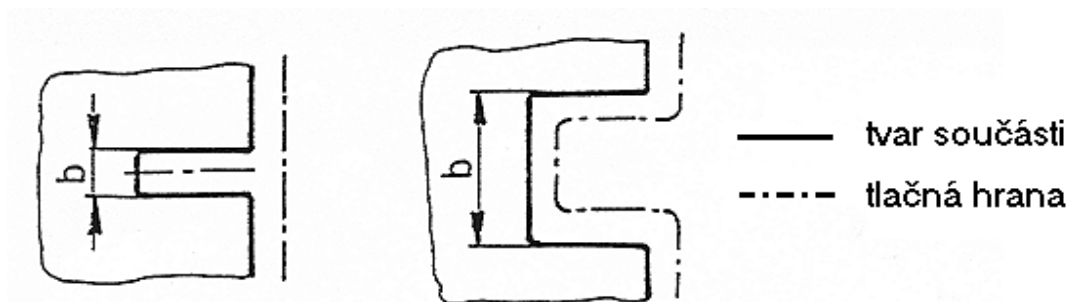
Tloušťka mat./mm/	a	h	h ₁	R
0,5	0,5	0,2	0,25	0,04
0,8	0,6	0,25	0,3	0,05
1,0	0,7	0,3	0,35	0,06
1,2	0,8	0,3	0,35	0,06
1,5	1,0	0,35	0,4	0,07
1,8	1,2	0,4	0,45	0,08
2,0	1,4	0,4	0,45	0,08
2,2	1,5	0,4	0,45	0,08
2,5	1,75	0,4	0,45	0,08
3,0	2,1	0,45	0,5	0,09
3,5	2,5	0,45	0,5	0,09
4,0	2,8	0,5	0,55	0,1
4,5	3,2	0,5	0,55	0,1
5,0	3,7	0,55	0,6	0,11
5,5	4,0	0,6	0,65	0,12
6,0	4,2	0,6	0,65	0,12
6,5	4,4	0,65	0,7	0,13
7,0	4,6	0,65	0,7	0,13
7,5	4,8	0,7	0,75	0,14
8,0	5,0	0,7	0,75	0,14
8,5	5,25	0,7	0,75	0,14
9,0	5,5	0,8	0,85	0,16
9,5	5,75	0,8	0,85	0,16
10,0	6,0	0,85	0,9	0,17

Obr. 16 Tvar tlačné hrany [8]

Tab. 2 Tabulka hodnot pro tlačnou hranu [8]

Pro komplikované tvary je nutno dodržet následující podmínky:

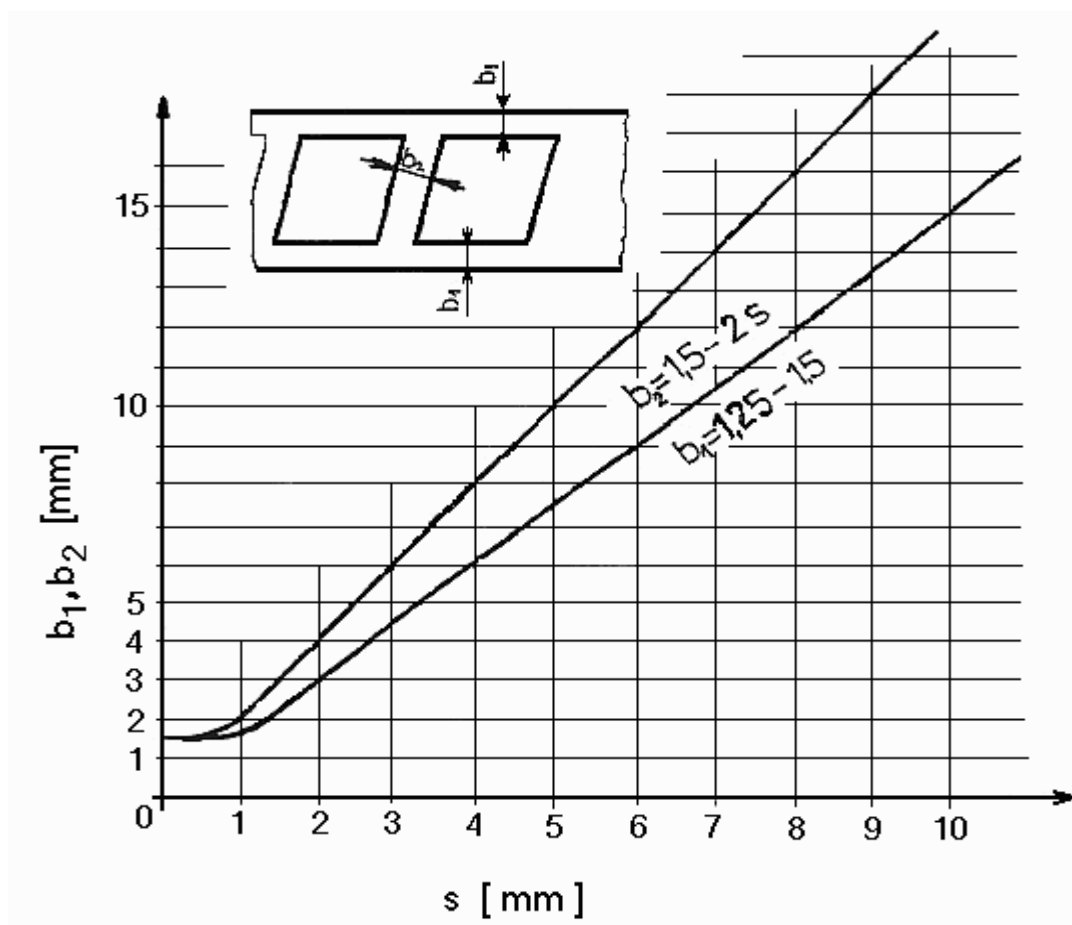
- pro zářezy o šířce $b \leq 15 \cdot h$ není tlačná hrana vedena podél obrysu stříhu
- pro zářezy o šířce $b \geq 15 \cdot h$ tlačná hrana je vedena podél stříhaného obrysu



Obr. 17. Poloha tlačné hrany [8]

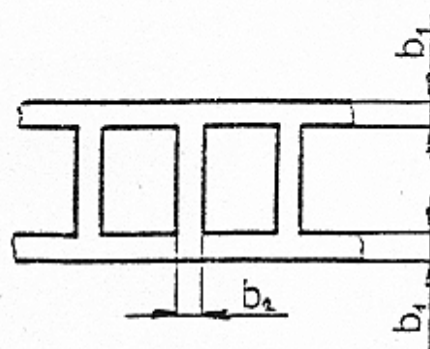
Velikost postranního odpadu a šířky můstku

Při přesném vystřihování musí být postranní odpad (b_1) a šířka můstku (b_2) větší než při běžném vystřihování. Důvodem je nutný prostor pro zatlačení tlačné hrany do materiálu.



Obr. 18 Velikost můstků a postranních odpadů podle firmy Feintool [8]

Tloušťka materiálu [mm]	b_2 [mm]	b_1 [mm]
0,5	2	1,5
1	3	2
1,5	4	2,5
2	4,5	3
2,5	5	4
3	5,5	4,5
3,5	6	5
4	6,5	6
5	7	7
6	8	7,5
8	10	9
10	12	10
12,5	15	11
15	18	14



Obr. 19 Velikost můstků a postranních odpadů podle firmy Hydrel [8]

ZADÁNÍ

Část A) PŘESNÉ STŘÍHÁNÍ

Na základě zadané součásti navrhnete postup její výroby s využitím metody přesného střihání s tlačnou hranou.

Výchozí materiál: tabule ocelového plechu tř. 11 320 o rozměrech 2000x1000 mm, $R_m = 400 \text{ MPa}$.

Výrobní série : 40 000 ks

- Nakreslete ve vhodném měřítku zadanou součást a okótujte ji.
- Navrhnete nejvhodnější uspořádání výstřižku v pásu plechu a stanovte polohu tlačné hrany, šířku pásu plechu, velikost kroku, můstku a postranního odpadu
K vypracování tohoto bodu využijte informace z úvodu cvičení.
- Stanovte velikost střížné vůle.
Výpočtem lze stanovit hodnotu střížné vůle podle vzorců sestavených na základě praktických zkušeností:

- pro plechy tloušťky $s \leq 3 \text{ mm}$
$$v = 2 \cdot m = c \cdot s \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}]$$

- pro plechy tloušťky $s > 3 \text{ mm}$
$$v = 2 \cdot m = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,0015) \cdot 0,32 \cdot \sqrt{\tau_s} \quad [\text{mm}]$$

v - střížná vůle $[\text{mm}]$

m - střížná mezera $[\text{mm}]$

s - tloušťka stříhaného materiálu $[\text{mm}]$

τ_s - střížný odpor $(0,8 \div 0,86) \cdot R_m$ $[\text{MPa}]$

c - koeficient závislý na druhu střihání, jeho hodnota pro přesné střihání je $7 \cdot 10^{-4}$

Pro běžnou praxi lze brát střížnou vůli asi 0,5% tloušťky materiálu:

$$v = 5 \cdot s / 1000 \quad [\text{mm}]$$

- Vypočítejte jednotlivé síly působící na nástroj a následně celkovou sílu potřebnou k určení typu stroje.

Síla na střížníku F_s :

$$F_s = n \cdot S_1 \cdot \tau_s = n \cdot l \cdot s \cdot \tau_s \quad [\text{N}]$$

S_1 - plocha stříhu, $S_1 = l \cdot s$ $[\text{mm}^2]$

l - délka stříhu $[\text{mm}]$

s - tloušťka stříhaného materiálu $[\text{mm}]$

τ_s - střížný odpor ($\tau_s = 0,8 \cdot R_m$) $[\text{MPa}]$

Síla na přitlačné desce F_p :

$$F_p = k \cdot L_n \cdot h \quad [\text{N}]$$

L_n - délka tlačné hrany [mm]

h - výška tlačné hrany [mm]

k - odpor materiálu proti vtlačení tlačné hrany [MPa]

(pro přibližný výpočet: $k = 4 \cdot R_m$)

Síla na vyhazovači F_v

$$F_v = S \cdot p \quad [\text{N}]$$

S - plocha přesně stříhané součásti [mm²]

p - měrný tlak [MPa]

(volí se $p = 30$ až 70 MPa)

Celková síla F_c

$$F_c = F_s + F_p + F_v \quad [\text{N}]$$

e) Nakreslete princip nástroje pro přesné stříhání

ZADÁNÍ

Část B) OHÝBÁNÍ [1,2]

Na základě uvedených hodnot vypočtete:

- 1) Velikost odpružení, maximální a minimální poloměr ohybu
- 2) Rozvinutou délku polotovaru pro vybranou součást

Tab.3

Zkušební vzorek	s [mm]	b [mm]	R [mm]	Re [MPa]	E [MPa]	l [mm]	l _m [mm]
Ocel. plech ČSN 11 320	2	15	10	240	$2,1 \cdot 10^5$	50	20
Al plech ČSN 424005	2	15	10	100	$7 \cdot 10^4$	50	20

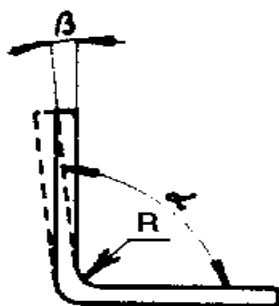
ad 1) Výpočet velikosti odpružení:

Při ohýbání polotovaru má materiál po odlehčení snahu vrátit se do původního tvaru, a to o úhel odpružení β .

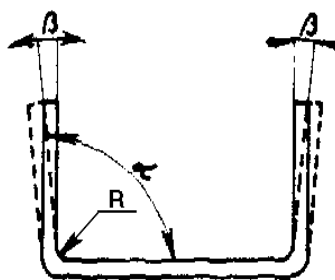
pro ohýbání do tvaru V
$$\operatorname{tg} \beta = 0,375 \cdot \frac{l}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \Rightarrow \beta$$

pro ohýbání do tvaru U
$$\operatorname{tg} \beta = 0,75 \cdot \frac{l_m}{k \cdot s} \cdot \frac{Re}{E} \Rightarrow \beta$$

kde: β [°]..... úhel odpružení
 l [mm] vzdálenost ohýbacích hran
 l_m [mm] rameno ohybu
 E [MPa] modul pružnosti v tahu
 Re [MPa] mez kluzu
 k součinitel



odpružení při ohybu do V



odpružení při ohybu do U

Výpočet součinitele k :

$$k = 1 - x$$

kde: x posunutí neutrální plochy napětí

Tab.4

R/s	0,10	0,25	0,50	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
x	0,32	0,35	0,38	0,42	0,445	0,47	0,475	0,478	0,48	0,483	0,486

Výpočet maximálního a minimálního poloměru ohybu:

a) Minimální poloměr ohybu je takový poloměr, při jehož překročení by na vnější tahové straně ohybu došlo k porušení.

$$R_{\min} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right) = c \cdot s \quad [\text{mm}]$$

kde: s [mm].....tloušťka ohýbaného materiálu

$$\varepsilon_c = \frac{s}{2R_{\min} + s} \quad [\text{mm}].....\text{mezní prodloužení}$$

c koeficient

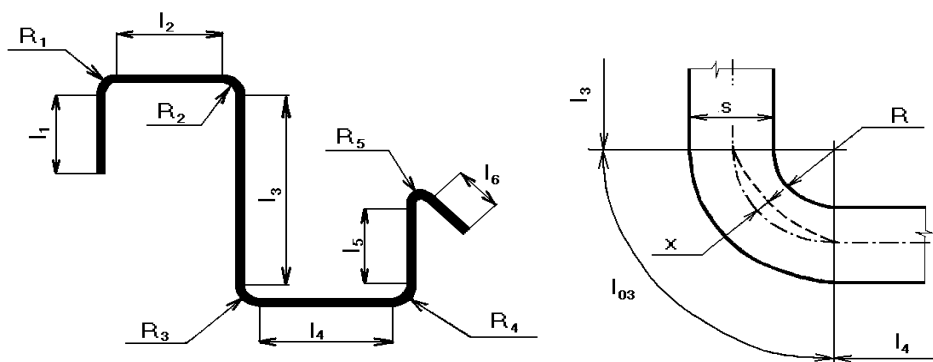
měkká ocel $c = 0,5 \div 0,6$ dural $c = 3 \div 6$
 měkká mosaz..... $c = 0,3 \div 0,4$ měkká měď $c = 0,25$
 hliník $c = 0,35$

b) Maximální poloměr ohybu je takový poloměr, při němž v krajních vláknech na tahové straně dojde k trvalé deformaci.

$$R_{\max} = \frac{s}{2} \cdot \left(\frac{E}{R_e} - 1 \right) \quad [\text{mm}]$$

ad 2) Výpočet rozvinuté délky polotovaru

zadaná součást:



Tab.5

vzorek	l_1	l_2	l_3	l_4	l_5	l_6	R_1	R_2	R_3	R_4	R_5	s	α_{1+4}	α_5
č.1	10	20	50	60	40	20	3	6	5	10	10	3	90°	135°
č.2	15	20	60	60	50	15	4	8	10	10	5	4	90°	135°
č.3	15	20	80	60	60	15	5	8	10	10	5	5	90°	135°

Zkrácená délka oblouku: $l_0 = \frac{\pi \cdot \alpha}{180} \cdot (R + x \cdot s) \quad [\text{mm}]$

Výchozí délka polotovaru: $L_c = \sum_{i=1}^6 l_i + \sum_{j=1}^5 l_{0j} \quad [\text{mm}]$

2.3 Tažení válcového výtažku

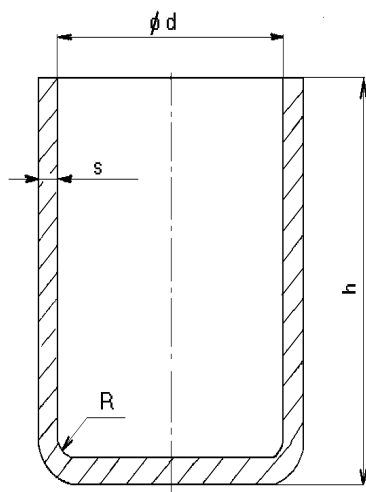
HLUBOKÉ TAŽENÍ VÁLCOVÉHO VÝTAŽKU [5,2,1]

Zadání:

Vypočítejte velikost výchozího polotovaru, stanovte počet tažných operací a tažnou sílu při výrobě válcové nádoby hlubokým tažením ocelového plechu dle obr.20:

Tab.6

vzorek	č.1	č.2	č.3	č.4	č.5
Ød [mm]	45	80	100	150	200
h [mm]	70	120	160	300	180
s [mm]	2	2	2	2	2
R _m [MPa]	360	360	360	360	360



Obr. 20 Válcový výtažek [5]

Tažení plechu je proces, při kterém se z rovinného přístřihu plechu (rondelu) zhotovují v jedné nebo více operacích dutá tělesa jednoduchého tvaru (rotační, popř. nerotační tělesa).

1. Výpočet velikosti výchozího polotovaru

Pozn.: Základní podmínkou pro řešení je zákon rovnosti objemu kovu před a po tváření: $V_0 = V_1$ [mm³]

Za předpokladu, že se tloušťka plechu s při tažení nemění, platí rovnost ploch:

$$S_0 = S_1 \quad [\text{mm}^2] \text{ . Plocha zhotovené nádoby (bez ostřížení}$$

okraje) se rovná ploše výchozího polotovaru (rondelu).

a) Výpočet plochy přístřihu S_0 :

$$S_0 = S_d + S_p + S_c \quad [\text{mm}^2]$$

kde: S_d [mm²] plocha dna výlisku
 S_p [mm²] plocha pláště
 S_c [mm²] plocha přídatku na ostřížení okraje
(volí se 3% ÷ 5% z plochy dna a pláště)

b) Výpočet průměru přístřihu D_0 :

$$D_0 = \sqrt{\frac{4 \cdot S_0}{\pi}} \quad [\text{mm}]$$

2. Potřebný počet tažných operací

Z přístřihu plechu o určitém průměru lze v jedné tažné operaci zhotovit pouze výtažek o určitém minimálním průměru. Je-li třeba zhotovit finální výtažek s průměrem menším, je třeba víceoperačního tažení.

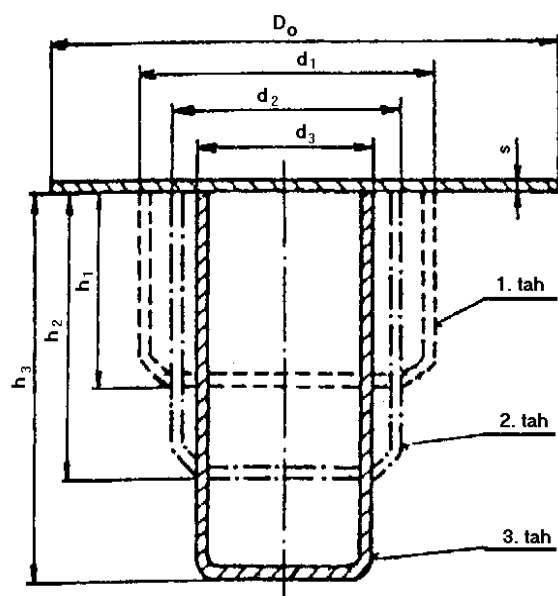
Potřebný počet tažných operací se stanoví pomocí součinitelů tažení m_i pro poměrnou tloušťku přístřihu $[(s/D_0) \cdot 100]$ platných pro ocelový hlubokotažný plech, viz. Tab.7.

Tab.7 [5]

$\frac{s}{D_0} \cdot 100$		2,0 ÷ 1,5	1,5 ÷ 1,0	1,0 ÷ 0,6	0,6 ÷ 0,3	0,3 ÷ 0,15	0,15 ÷ 0,08
Součinitel tažení	m_1	0,49	0,52	0,54	0,57	0,59	0,62
	m_2	0,74	0,76	0,77	0,78	0,80	0,81
	m_3	0,77	0,79	0,80	0,81	0,82	0,84
	m_4	0,79	0,81	0,82	0,83	0,84	0,86
	m_5	0,81	0,83	0,85	0,86	0,87	0,88

Výpočet průměrů výtažku v jednotlivých operacích:

- víceoperační tažení provádíme dle postupu na obr.21 a cílem je stanovit nejmenší počet operací.



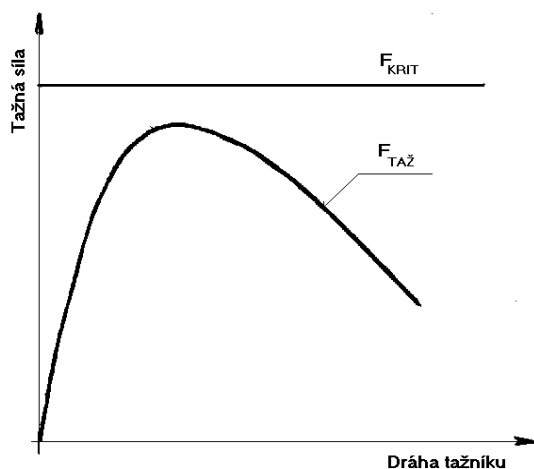
první operace $d_1 = m_1 \cdot D_0$
druhá operace $d_2 = m_2 \cdot d_1$
třetí operace $d_3 = m_3 \cdot d_2$
čtvrtá operace $d_4 = m_4 \cdot d_3$
i-tá operace $d_i = m_i \cdot d_{i-1}$

Obr. 21 Schéma tažení výtažku na 3 operace [2]

- výška výtažku pro příslušný průměr se vypočítá z rovnosti ploch

Výpočet tažné síly

Musí platit $F_{\text{taž}} < F_{\text{krit}}$, kde F_{krit} je síla, při níž dochází k utržení dna výtažku.



Obr. 22 Průběh tvářecí síly [2]

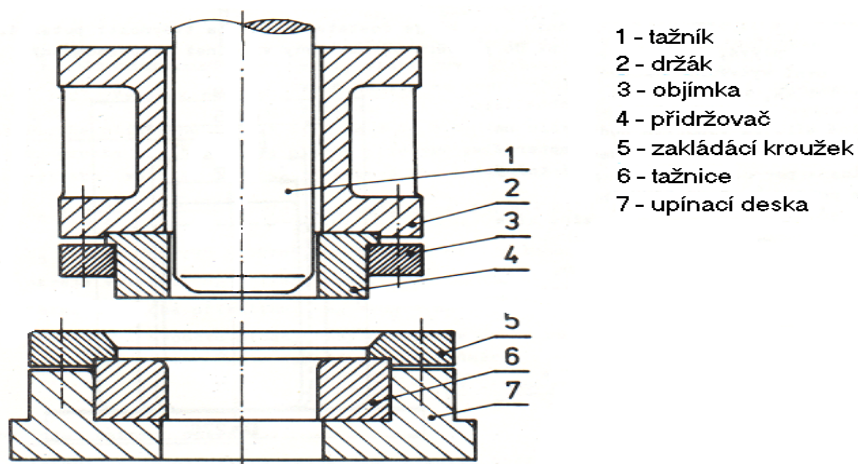
$$F_{\text{taž}} = \pi \cdot d_s \cdot s \cdot R_m \cdot n \quad [\text{N}]$$

kde: s [mm] tloušťka plechu
 R_m [MPa] mez pevnosti materiálu
 d_s [mm] střední průměr výtažku
 n (viz. Tab.3)... koeficient závislý na součiniteli tažení m

Tab.8 Hodnoty koeficientu n [1]

$m = \frac{d}{D_0}$	0,55	0,575	0,60	0,625	0,65	0,675	0,70	0,75	0,80
n	1,0	0,93	0,86	0,79	0,72	0,66	0,60	0,50	0,40

3. Nakreslete schéma tažného nástroje.



Obr. 23 Schéma tažného nástroje [5]

Funkce přidržovače

Pro výrobu součástí technologií hlubokého tažení se používá nástroj, jehož jednou z hlavních částí je přidržovač. Optimální síla přidržovače zamezuje tvoření vln a záhybů na výtažku. Kromě toho u druhého a dalších tahů přidržovač ustředuje výtažek proti tažnici. Síla přidržovače musí být tak velká, aby zamezila tvoření vln na výtažku, ale nesmí dojít k utržení dna výtažku.

Použití přidržovače je možno určit výpočtem:

Součinitel určující nutnost použití přidržovače se vypočítá ze vztahu

$$k_p = 50 \cdot \left(Z - \frac{\sqrt{s}}{\sqrt[3]{D}} \right)$$

$$k_p \geq \frac{100 \cdot d_1}{D} \quad \text{je nutno použít přidržovače}$$

$$k_p < \frac{100 \cdot d_1}{D} \quad \text{není nutné přidržovač použít}$$

kde:

k_p - součinitel určující nutnost použití přidržovače

s - tloušťka plechu

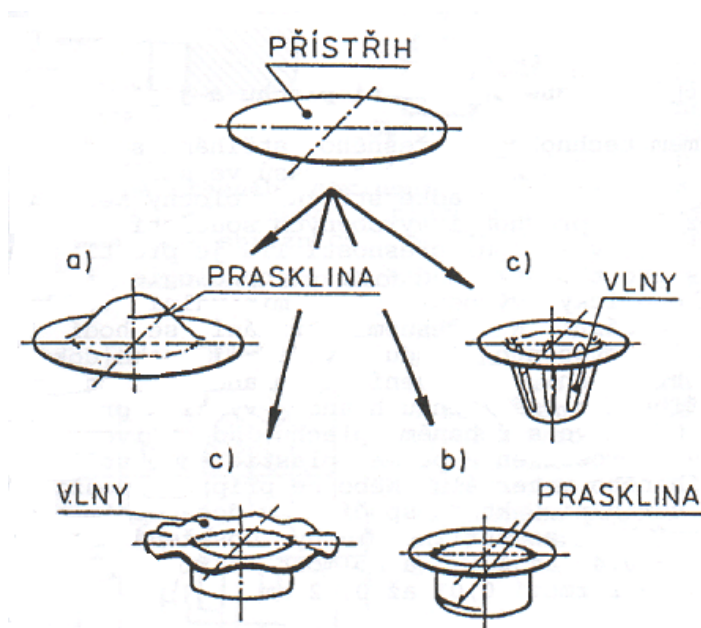
D - průměr přístřihu

d_1 - vnitřní průměr výtažku

Z - materiálová konstanta

(pro ocelový hluboko tažený plech $Z = 1,9$)

Některé vady výtažků



Obr. 24

Vady výtažků

[2]

Vady výtažků se mohou projevit např. v těchto podobách:

- v nejvíce deformované oblasti výtažku dojde k tvárnému lomu v důsledku vyčerpání zásoby plasticity materiálu (obr. 24a)
- porušení výtažku vznikem praskliny, která byla způsobena překročením meze pevnosti plechu v tahu (obr. 24b)
- zvlnění plechu na plášti resp. na přírubě výtažku jako projev nestability procesu plastické deformace při působení tlakových napětí (obr. 24c,d)

LITERATURA

- [1] NOVOTNÝ,K.: Tvářecí nástroje, Vysoké učení technické v Brně, 1. vyd. ISBN 80 -214 - 0401 – 9, Brno, Nakladatelství Vysokého učení technického v Brně, 1992, 186 str.
- [2] DVOŘÁK,M. – GAJDOŠ,F. – NOVOTNÝ,K.: Technologie tváření – Plošné a objemové tváření; Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojní; 1.vyd. ISBN 80-214-0771-7; Brno; WELCO, spol. s.r.o.; 1996; 169 str..
- [3] FOREJT,M.: Teorie tváření a nástroje; Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojní; 1. vyd. ISBN 80-214-0294-6; Brno; Nakladatelství vysokého učení technického v Brně; 1991; 187 str..
- [4] GAJDOŠ,F.: Teorie tváření – Návodů do cvičení, Vysoké učení technické v Brně, 1. vyd. ISBN 80 – 214 – 1032 – 9, Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1989, 60 str..
- [5] AMBROŽ,O. – HORÁČEK,M. – MACHÁČEK,Z.: Technologie slévání, tváření a spojování – Laboratorní cvičení, Vysoké učení technické v Brně, 1. vyd. ISBN 80 – 214 – 0043 – 9, Brno, Rektorát Vysokého učení technického v Brně, 1989, 92 str..
- [6] NOVOTNÝ, J. – LANGER,Z.: Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů; Redakce báňské a strojírenské literatury; 1. vyd. L 13–B3-IV- 41/22674; SNTL – Nakladatelství technické literatury, n. p.; 1980; 216 str..
- [7] ČSN 20 6015: Stříhadla a střížné vřetěna; směrnice pro výpočet a konstrukci; Praha; Vydavatelství úřadu pro normalizaci a měření; 1977; 23 str..
- [8] VYSKOČIL,O. – BARTOŠ,P.: Směrnice pro konstrukci nástrojů pro přesné stříhání; Zbrojovka Brno n. p.; 1. vyd.; Brno; 1977; 88 str..