

**VYSOKÁ ŠKOLA BÁŇSKÁ – TECHNICKÁ
UNIVERZITA OSTRAVA
FAKULTA METALURGIE A MATERIÁLOVÉHO
INŽENÝRSTVÍ**

STUDIJNÍ OPORA

Název opory/předmětu: Kování

Číslo předmětu: 633-0805

Autor/Autoři: Miroslav Greger

Katedra: Katedra tváření materiálu

**Tato studijní opora vznikla v rámci rozvojového projektu Tvorba elektronických
studijních opor pro studijní programy FMMI v r. 2008**

1. ČESKÝ KOVÁRENSKÝ PRŮMYSL

Členění kapitoly :

- Výrobní sortiment kovárenského průmyslu v ČR
- Kovárny v ČR
- Postavení kovárenského průmyslu ČR v EU



Čas potřebný ke studiu : 90 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Získáte základní představu o sortimentu vyráběných výkovků
- Poznáte význam kovárenského průmyslu
- Seznámíte se s významnými kovárnami v ČR
- Uděláte si představu o postavení kovárenského průmyslu v ČR a v EU



Výklad

1. Úvod

Výroba výkovků z oceli a neželezných kovů má v Čechách a na Moravě staletou tradici. Výkovek jako nezastupitelný polotovár byl zcela nezbytný pro rozvoj strojírenského průmyslu. Spolu s rozvojem průmyslu docházelo i k rozvoji kovárenství a jeho specializaci. Celý kovárenský průmysl zahrnuje všechny kategorie výrob, které jsou členěny dle kovárenských technologií a druhu zpracovávaného materiálu. V rámci českého kovárenského průmyslu jsou výkovky vyráběny z ocelí třídy 11 - 19:

- volné výkovky
- zápusťkové výkovky
- výkovky kované za studena
- kované tyče
- kované zápusťkové bloky
- příruby
- tvarovky pro potrubí
- válcované kruhy
- železniční nápravy, obruče, kotouče a železniční celistvá kola

Z neželezných kovů jsou vyráběny:

- zápusťkové výkovky
 - a) z hliníku a slitin hliníku
 - b) z mědi a slitin mědi
 - c) z mosazi a titanu
 - d) z niklu a slitin niklu
- volné výkovky
 - a) z hliníku a slitin hliníku
 - b) z mědi a slitin mědi.

Český kovárenský průmysl (ČKP) je rozvinutý průmyslový obor, schopný uspokojit potřeby strojírenského průmyslu ve všech jeho oborech. V oblasti jaderného strojírenství se řadíme po bok nejvyspělejších zemí Evropy.

2. Hmotnostní a rozměrové možnosti kováren v ČR

Kovářny disponují výrobním zařízením, které umožňuje vyrábět výkovky v široké škále tvarů a hmotností. Možnosti jsou uvedeny v následující tabulce:

Tabulka 1. Výrobní možnosti výkovků kováren v české republice

Kategorie	Max. hmotnost Materiál	Max. průměr [kg]	Max. délka [mm]	Max. výška.
Zápusťkové výkovky				
Ocel	500 800	1 900	-	
Zápusťkové výkovky				
Al slitiny	200 800	1 900		
Bronz,	350 800	1 900		-
Mosaz	350 800	1900		
Volné výkovky				
kroužky a kotouče	Ocel	123 000 6 000	-	2 800
Volné výkovky				
podélné	Ocel	123 000 2 800	25 000	
Válcované kruhy				
Ocel	750 1 800			
Volné výkovky				
Al slitiny	500 1 800	4 000		
Bronz	2 000 1 650	4 000		
Měď	300 1 650	4 000		
Kované tyče a sochory:				
Ocel				
- kruhové		70 - 500	1 600 - 6 000	
- čtvercové		60 - 440	1 600 - 4 000	
		min.tloušťka		
- ploché	110 - 650		800 - 4 000	30 mm
- sochory		110 - 650	800 - 4 000	

3. Výrobní základna

V české republice je 38 subjektů, které vyrábějí širokou škálu výkovků. Působí zde i specializovaný výrobce železničních celistvých kol, kotoučů, obručí a náprav.

Další uváděné údaje se týkají pouze zápusťkových a volných výkovků, z 38 kováren je:

- 18 kováren vyrábějících pouze zápusťkové výkovky z ocelí
- 3 kovárny vyrábějící pouze zápusťkové výkovky z neželezných kovů
- 3 kovárny vyrábějící pouze volné výkovky z ocelí
- 1 kovárna vyrábějící volné výkovky z ocelí a neželezných kovů
- 10 kováren vyrábějících zápusťkové a volné výkovky z ocelí
- 1 kovárna vyrábějící zápusťkové výkovky z ocelí a neželezných kovů
- 1 kovárna vyrábějící zápusťkové i volné výkovky jak z ocelí tak z neželezných kovů
- 1 kovárna vyrábějící železniční nápravy, obruče, kotouče a celistvá kola

Z 18 čistě zápusťkových kováren jsou dále 2 kovárny úzce specializované a to na výrobu velkých šroubů pro železniční svršek a výrobu tlakových lahví.

4. Velikost kováren

Podle objemu výroby výkovků a sortimentu, můžeme jednotlivé kovárny seřadit do skupin :

Tabulka 2. Objem výroby zápusťkových výkovků

tun/rok	počet	%
30 - 500	6	19,4
500 - 1 000	6	19,4
1 000 - 2 500	5	16,1
2 500 - 5 000	6	19,4
5 000 - 10 000	3	9,7
10 000 - 15 000	2	6,4
15 000 - 20 000	2	6,4
20 000 - 25 000	1	3,2

Tabulka 3 . Velikost jednotlivých kováren podle počtu zaměstnanců

Počet osob	Počet	%
do 50	10	27,0
do 100	9	24,4
do 250	10	27,0
do 500	7	18,9
do 1 000	1	2,7

Tabulka 4. Objem výroby volných výkovků

tun/rok	Počet	%
8 - 200	7	43,7
200 - 2 000	3	18,7
2 000 - 5 000	2	12,5
5 000 - 15 000	1	6,3
15 000 - 30 000	2	12,5
30 000 - 40 000	1	6,3

Tabulka 5. Objem výroby výkovků a tržby v roce 2004

Výkovky z ocelí	množství	Rok 2004	Index 2004/2003
Zápustkové výkovky	[t]	137 136	1,20
celkem	[tis. Kč]	5 866 238	1,27
Zápustkové výkovky za tepla bez přírub a tvarovek	[t] [tis. Kč]	133 970 5 780 713	1,20 1,27
Volné výkovky	[t]	106 101	1,14
celkem	[tis. Kč]	3 704 029	1,19
Volné výkovky	[t]	72 642	1,11
	[tis. Kč]	2 448 805	1,19
Kované zápustkové bloky	[t] [tis. Kč]	8 594 323 975	1,98 3,04

Tabulka 6. Vývoj kilogramových cen výkovků v letech 1999 až 2004

Kategorie	Jednotka	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Výkovky z ocelí, celkem	Kč/kg	42,03	39,63	41,62	34,37	37,15	39,34
Zápustkové výkovky, celkem	Kč/kg	42,04	40,65	38,53	38,17	40,19	42,78
Volné výkovky, celkem	Kč/kg	42,01	45,11	45,20	30,07	33,40	40,90
Volné výkovky, Stroj. polotovary	Kč/kg	47,51	46,43	48,38	31,72	31,46	33,71

Vývoj počtu zaměstnanců v českém kovárenském průmyslu neuveden v následující tabulce. Počty zaměstnanců zahrnují všechny kategorie výkovků z ocelí a neželezných kovů včetně výroby železničních náprav, obručí, kotoučů a celistvých kol.

Tabulka 7. Vývoj skladby zaměstnanců kováren v letech 1999 až 2004

Kategorie	1999	2000	2001	2002	2003	2004
Dělníci	4 539	4 545	4 320	4 248	4 577	4 003
THP	1341	1342	969	995	1017	1378

Celkem	5 880	5 887	5 289	5 243	5 596	5 381
--------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Tabulka 8. Produkce výkovků v jednotlivých zemích EUROFORGE

Země	Rok	Zápustkové výkovky za tepla	Zápustkové výkovky za studena	Volné výkovky	Válcované kruhy	počet kováren	Počet zaměstnanců
Německo	2001	1 706	165	242	155	180	30 000
	2002	1 673	203	220	166	260	35 300
	2003	1 758	211	174	192	260	30 000
Francie	2001	392	60	-	-	78	10 000
	2002	370	66	53	-	80	10 350
	2003	358	64	53	-	80	10350
Belgie	2001	15	-	17	-	9	800
	2002	15	-	18	-	9	700
	2003	11	-	16	-	9	700
Španělsko	2001	231	10	40	-	35	3 500
	2002	237	11	42	-	35	3 528
	2003	237	11	25	18	33	3 503
Švédsko	2001	71	-	-	-	9	1 100
	2002	77	-	-	-	9	1 100
	2003	81	-	-	-	9	1100
Itálie	2001	870	-	417	128	85	10 000
	2002	750	-	500	150	85	10 000
	2003	720	-	370	120	130	12 500
Velká Britanie	2001	220	-	-	-	50	5 000
	2002	191	-	15	27	58	10 000
	2003	178	-	11	25	55	8 500
Česká republika	2001	109	-	94	2	38	5 289
	2002	111	-	98	2	37	5 243
	2003	114	-	93	3	38	5 596
Polsko	2001	132	-	-	-	50	5 00
	2002	132	-	115	5	44	4 000
	2003	-	-	-	-	44	4 000

Výroba v roce 2004 byla nejvyšší od roku 1991. V obou kategoriích výkovků z ocelí byla dosažena rekordní výroba. Průměrný meziroční přírůstek ve výši 17,34 % v sobě skrývá skutečnost, že úspěšné kovářny meziročně zvýšily výrobu až o 37 %, ale některé zvláště malé kovářny vykázaly i meziroční snížení objemu až o 25 %. Ve stále se zostřujícím konkurenčním prostředí nemají malé kovářny o velikosti produkce v segmentu 50 - 500 t/rok velké šance na přežití.

V roce 2004 byly výrazně ovlivněny tržby prudce se zvyšující cenou oceli. Zvýšení ceny oceli dosáhlo až 30 % oproti roku 2003. Zvýšení kilogramové ceny v průměru u zápustkových výkovků o 6,46 % a u volných výkovků o 7,3 % nepokrylo zvýšení cen oceli a kovářny zaznamenaly horší hospodářský výsledek ve srovnání s rokem 2003. V souvislosti s

kilogramovou cenou je zarážející pokles kilogramové ceny volných výkovků mezi rokem 2001 a 2002.

Srovnání se zeměmi EUROFORGE je nutné brát jako orientační, vypovídací úroveň zveřejněných čísel je nízká a při podrobném rozboru by neobstála. Např. velké kolísání výroby volných výkovků v Itálii, včetně meziročního zvýšení počtu kováren o 45 podniků. Stejně diskutabilní je počet kováren v Německu, meziročně zvýšení o 80 podniků, když naopak dochází k jejich uzavírání.

8. Závěr

Účelem úvodní přednášky je seznámení posluchačů se stavem českého kovářenského průmyslu a to na základě dat získaných v rámci resortního statistického šetření MPO. Toto šetření poskytuje i další informace např. údaje o tuzemském odbytu členěném podle druhu konečného užití produkce, výši exportu a detailní údaje o spotřebě jednotlivých druhů energií v českém kovářenském průmyslu. Uvedení těchto údajů je již nad možný rámec této přednášky.

Otázky:

1. Jak můžete charakterizovat rozdělení výkovků ?
 2. Jaké jsou hmotnostní a rozměrové možnosti výroby výkovků v rámci českého kovářenského průmyslu ?
 3. Jak probíhal vývoj kilogramových cen výkovků v posledních letech ?
-

Úlohy k řešení :

1. Porovnejte postavení kováren ČR s kovárnami v zemích EUROFORGE.
-

Literatura k dalšímu studiu:

[1] Webové stránky Euroforge

[2] Mrázek, S.: In 5. Kovářenská konference. SKČR, Nové Město na Moravě 2005, s. 16-21.

2. TVÁŘECÍ STROJE

Členění kapitoly :

- Tvářecí stroje pracující rázovou energií - buchary
- Mechanické lisy
- Radiální kovací stroje a kovací válce
- Použití jednotlivých typů tvářecích strojů v kovárnách



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete určit základní konstrukční řešení tvářecích strojů
- Budete umět vypočítat energii deformace
- Budete umět vybrat vhodný typ tvářecího stroje pro kování



Výklad

Základními tvářecími stroji, používanými v kovárnách, jsou buchary a lisy. Z hlediska tváření je důležitá síla, kterou mohou vyvinout (hydraulické a klikové lisy) nebo energie, kterou disponují při jednom úderu (buchary a vřetenové lisy). Dalšími důležitými parametry tvářecích strojů jsou: rychlost nástroje, frekvence úderů, zdvih,

2.1 Buchary

U bucharu koná tvářecí práci převážně kinetická energie pohybujícího se beranu. Podle způsobu zvedání beranu rozeznáváme: padací buchary, mechanické padací buchary, kompresorové buchary, parní buchary.

2.1.1 Padací buchary

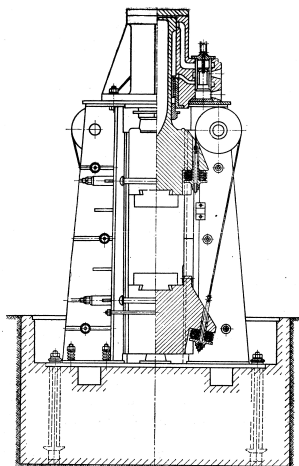
Padací buchary se používají pro volné a zápusťkové kování. Buchary pro zápusťkové kování pracují s vyšší mírou přesnosti rozměrů výkovku. V současné době se maximální hmotnost beranu u padacích bucharů pohybuje kolem 10^3 kg. Příčinou omezení je především nevyhovující pracovní prostředí, otřesy vznikající při práci bucharů se šíří do okolí, ruší chod přesných strojů a a přispívají k porušení statiky budov.

2.1.2 Pružinové buchary

Pružinové buchary jsou poháněny klikovým mechanismem přes svazek listových pružnic. Používají se především v malých kovárnách při kusové výrobě volným kováním.

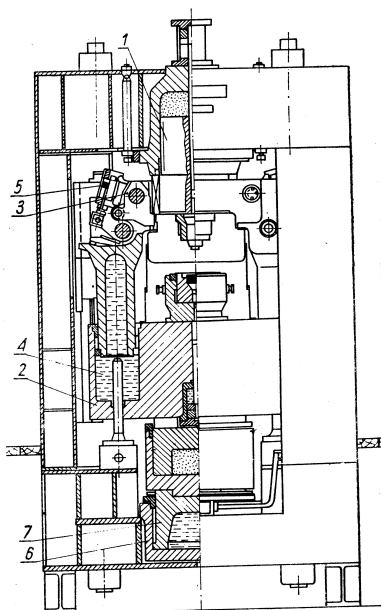
2.1.3 Protiúderové buchary

Protiúderové zápustkové buchary mají dva berany, které se pohybují proti sobě. Jedno z běžných provedení ukazuje obrázek protiúderového bucharu s mechanickou vazbou.



Obr. 2.1. Protiúderový buchar s mechanickou vazbou

Horní beran je zvedán stlačeným vzduchem a při pádu je jím urychlován. Horní beran je spojen pomocí pásů s dolním beranem. Při kování se oba berany pohybují stejnou rychlostí proti sobě, při dopadu nevznikají nadměrné otřesy. Používají se pouze pro zápustkové kování. Protiúderové buchary s velkou deformační energií mají vazbu mezi berany hydraulickou nebo pneumaticko hydraulickou.



Obr. 2.2 Protiúderový buchar s hydraulickou vazbou:
1) pracovní válec a horní beran, 7) dolní hydraulické válce

Hmotnost spodního beranu m_b , je větší než hmotnost vrchního beranu m_h . Průměry hydraulických válců jsou voleny tak, aby pro rychlost dolního beranu v_d , a pro rychlost horního beranu v_h platilo

$$m_s \cdot v_s = m_h \cdot v_h \quad (2.1)$$

kde

m_h , m_s je hmotnost spodního a horního beranu

v_h , v_s je rychlost horního a spodního beranu

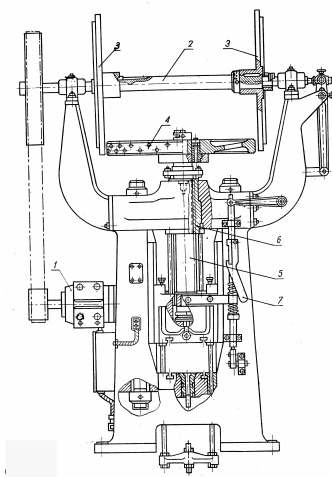
Pneumaticko-hydraulické buchary jsou řešeny tak, že spodní kovádko je spojeno s rámem stroje. Vrchní beran se zvedá hydraulicky, spodní sestava je zvedána pneumaticky.

2.2. Mechanické lisy

Mechanické lisy se používají pouze pro zápusťkové kování.

2.2.1 Vřetenové lisy.

Tvářecí síla se vyvozuje šroubem s pohybovým závitem (vřetenem). Nejrozšířenější typ vřetenového lisu s vřetenem poháněným třecími kotouči je na obrázku třecího lisu.



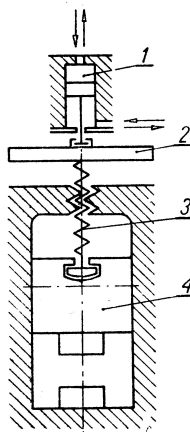
Obr. 2.3. Třecí vřetenový lis

1 – pohon, 2 – hřídel, 3- třecí kotouč, 4 – setrvačnick, 6 - vřeteno a matice

2.2.2 Vřetenové lisy s přímým pohonem

Beran je spojen s vřetenem, které je v horní části spojeno se setrvačnickem. V horní části lisu jsou dva třecí kotouče poháněné elektromotorem. Třecí kotouče jsou posuvně uloženy na společném hřídeli a střídavě se přitlačují k setrvačnicku, tím se roztáčí vřeteno a beran se pohybuje buď nahoru, nebo dolů. Používá se několik typů vřetenových lisů s přímým pohonem setrvačnicku. Nejjednodušší je pohon elektromotorem. Setrvačnick je zá-

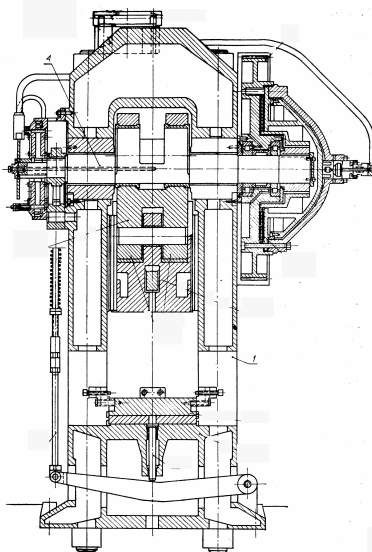
roven rotorem elektromotoru. Tento typ má nejmenší spotřebu energie ze všech tvářecích strojů a zároveň umožňuje přesně nastavovat energii úderu. Některé typy vřetenových lisů mají hydraulický pohon. Na obr. 2.4 je vřetenový lis s hydraulickým pohonem.



Obr. 2.4. Vřetenový lis s hydraulickým pohonem
1 – hydraulický motor, 2 – setrvačnick, 3 – vřeteno, 4 - beran

2.2.2 Klikové lisy

Klikové lisy patří mezi nejrozšířenější stroje používané v zápustkových kovárnách. V horní části lisu je setrvačnick s vodorovnou osou, který je poháněn elektromotorem. Hřídel setrvačnicku je spojen přes spojku s klikovým hřídelem. Na ten je napojena ojnice, která je spojena s beranem. Po zapnutí spojky provede beran jeden zdvih a zastaví se v horní poloze.



Obr. 2.5. Schéma klikového lisu (Maxi)
1 – stojan, 2 – klikový křidel, 3 setrvačnick

Lis má hlavní hřídel uložen příčně, nebo u největších klikových lisů je hlavní hřídel uložen podélně. Kromě lisů s jednou klikou, existují i lisy se dvěma klikami na jednom hřídeli a se dvěma ojnici, které pohánějí jeden beran. Klikové lisy mají konstantní zdvih.

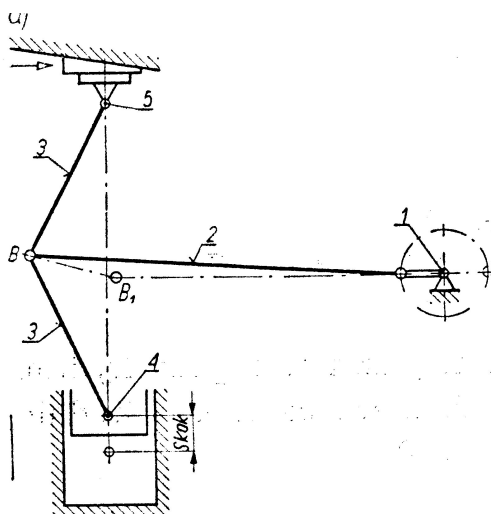
Důležitou vlastností klikových lisů je tuhost. Při zápusťkovém kování může kolísat kovací síla, např. vlivem kolísání teplot ohřevu, nestejně vrstvy maziva apod., následkem toho kolísá i pružení částí lisu, které přenášejí tvářecí sílu, a tím kolísá i tloušťka výkovků.

2.2.3 Vodorovné kovací stroje

Vodorovné kovací lisy mají dva pohyblivé nástrojové díly. Pracovní část je tvořena pevnou částí zápustky, pohyblivou částí zápustky a beranem. Beran je poháněn klikovým mechanismem, pohyblivá část zápustky je poháněna pákovým mechanismem.

2.2.4 Kolenopákové lisy

Princip funkce lisu je na obr. 2.6. Mezi horní částí rámu a beranem jsou dvě páky tvořící koleno. Pákami pohybuje klikový mechanismus. Lisy se vyznačují malým konstantním zdvihem a vysokou tuhostí. Deformace klikového mechanismu neovlivňuje tuhost lisu. Používají se především pro kalibraci.



Obr. 2.6. Kinematické schéma kolenopákového lisu
1 – klikový hřídel, 2 – hlavní páka, B – koleno

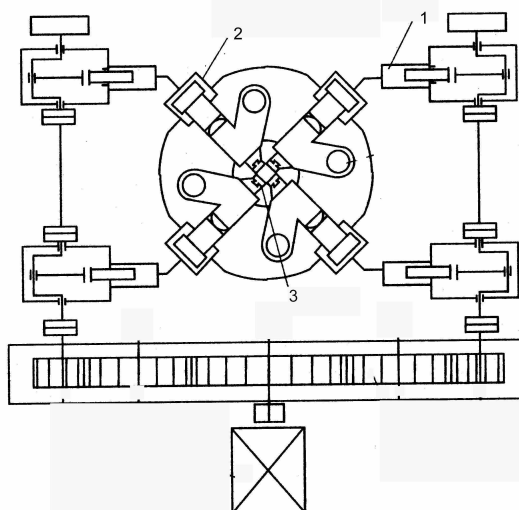
2.2.5 Klínové lisy

Princip jejich funkce je jednoduchý: Mezi beranem a horní částí rámu je klín, který se pohybuje ve vodorovném směru. Klín může být poháněn klikovým mechanismem, pak tyto lisy mají konstantní zdvih, nebo může být poháněn hydraulicky. Tyto lisy se vyznačují malým zdvihem, snášejí však největší mimostředné síly.

2.3. Radiální kovací stroje

Stroje jsou zpravidla vybaveny čtyřmi kovádky, které jsou určeny pro kování podélných výkovků. Pohon kovádel je mechanický, nebo hydraulický. Radiální kovací stroje s mechanickým pohonem se používají pro tváření za studena malých průřezů.

Pro kování velkých průřezů za tepla se používají stroje s hydraulickým pohonem. Motor pohání čtyři čerpadla, která jsou přímo spojena s hydraulickými válci, které tlačí přes tlačnou tyč na kovádky. Kromě čtyřkovadlových strojů se používají i stroje s jiným počtem kovádel.



Obr. 2.7. Schéma radiálního kovacího stroje

2.4 Kovací válce

Kovací válce se používají pro přípravu předkovků pro zápusťkové kování. V podstatě se jedná o upravenou válcovací stolič duo.

2.5 Použití jednotlivých typů tvářecích strojů

Kritéria pro volbu tvářecích strojů jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Tabulka 2.1. Použití bucharů

Typ a charakter bucharu	Použití	Max. energie [kJ]	Max. kadence [min ⁻¹]	Charakter výkovků
Pružinový	volné kování	0,5	350	volné výkovky do 50 kg
Parovzdušný jednočinný	volné kování		40	volné výkovky do 500 kg
	zápusťkové kování	15		ploché zápusťkové výkovky
Parovzdušný dvojčinný	volné kování	40	240	volné výkovky do 1 t
	zápusťkové kování	200	80	ploché zápusťkové výkovky

Typ a charakter bucharu	Použití	Max. energie [kJ]	Max. kadence [min ⁻¹]	Charakter výkovků
Protiúderový pneumatický	zápustkové kování	2500		ploché zápustkové výkovky
Protiúderový hydraulický	zápustkové kování	1500		ploché zápustkové výkovky až 8 t
Velmi rychlý pneumatický	zápustkové kování	25		tvarově složité výkovky

Tabulka 2.2. Technologické možnosti lisů a radiálních kovacíh strojů:

Typ stroje	Použití	Max. síla [MN]	Max. kadence [s ⁻¹]	Charakteristika
Třecí lis	zápustkové kování přednostně ploché výkovky	7	25	střední přesnost možnost vyhazovače
Vřetenový lis s přímým pohonem	zápustkové kování přednostně ploché výkovky a přesné výkovky	40 (315)		vysoká přesnost možnost vyhazovače
Svislý klikový lis	zápustkové kování	60 (160)	100	konstantní zdvih možnost vyhazovače
Vodorovný klikový lis	zápustkové kování	12/12	35	zápustkové kování tvarování konců tyčí
Hydraulický lis	volné kování	150	120	velké výkovky
	zápustkové kování	30 (750)		izotermické tváření velké složité výkovky
	protlačování	350		trubky, profily, součásti

Energie úderu W u parovzdušných a mechanických padacích bucharů je dána vztahem:

$$W = \frac{1}{2} m_b v_b^2 \quad (2.2)$$

kde W je energii úderu padacího bucharu,

m_b hmotnost beranu,

v_b rychlost beranu při dopadu.

U protiúderového bucharu platí:

$$W = \frac{1}{2} m_h v_h^2 + \frac{1}{2} m_s v_s^2 \quad (2.3)$$

kde m_h , m_s je hmotnost horního a dolního beranu,

v_h , v_s je rychlost horního a dolního beranu při dopadu.

U protiběžného bucharu s mechanickou vazbou je hmotnost a rychlost obou beranů stejná a platí:

$$W = m_h v_h \quad (2.4)$$

Deformační síla klikových a kolenových lisů se po dráze mění v závislosti na kinematice daného stroje. Jako jmenovitá se uvažuje síla, kterou je lis schopen vyvinout asi 5 mm před dolní úvratí.

Pro operace, které vyžadují velkou sílu a relativně malou tvářecí práci, jsou vhodné energetické stroje. Příkladem jsou turbínové lopatky, které se převážně kovou na bucharech. V opačném případě, tj. pro tvářecí postupy vyžadující velkou práci (síla působí na velké dráze), jsou vhodné hydraulické lisy. Příkladem je pýchování nebo protlačování.

Výkovky, které rychle chladnou, např. malé výkovky a výkovky ze slitin mědi a slitin hliníku, je vhodné kovat na bucharech.

Tabulka 2.3. Tvářecí stroje vhodné pro jednotlivé postupy kování

Kování výkovků nad 1 kg v zápustkách	Klikový lis
Kování největších zápustkových výkovků	Hydraulický lis
Kování slitin hliníku a slitin mědi v zápustkách	Buchar nebo třecí lis
Zápustkové kování menších sérií výkovků	Buchar
Zápustkové kování velkých sérií výkovků	Klikový lis
Volné kování výkovků asi do 100 kg	Parovzdušný buchar
Volné kování výkovků nad 100 kg	Hydraulický lis

Mnoho případů kování lze provádět na bucharu i na lisu. V tomto případě lze využít tabulku ekvivalentů bucharů a lisů.

Tabulka 2.4. ekvivalentů bucharů a lisů

Jmenovitá energie bucharu [kJ]	Síla lisu [MN]	
	Jmenovitá	Maximální
10	15	20
20	26	33
30	36	46
40	47	59
50	57	11

Pracovní rychlosti u jednotlivých typů tvářecích strojů jsou další charakteristickou veličinou tvářecích strojů. Jde o maximální pracovní rychlosti. U mechanických lisů se rychlost mění podle kinematiky stroje.

Tabulka 2.5. Pracovní rychlosti u jednotlivých typů tvářecích strojů

Stroj	Rychlost nástrojů [ms ⁻¹]
Hydraulický lis	0,02 až 0,45
Klikový lis	0,03 až 1,5
Třecí lis	0,3 až 1,2
Pružinový buchat	2 až 3
Jednočinný buchat	3,6 až 5,4
Dvočinný buchat	4,5 až 9
Protiúderový buchat	6 až 12
Pneumatické buchary	až 50

Tolerance výšky výkovku vykovaného na zápustkovém bucharu jsou malé, protože zápustky na sebe dosedají. Tolerance v příčném směru jsou větší, vedení beranu není tak přesné jako u klikových lisů. Při kování na klikových lisech je tomu naopak. Výškové tolerance jsou nepříznivě ovlivňovány přebytkem kovu, a tím odpružením lisu, tolerance rozměrů kolmých na osu kování jsou užší. Investičně a provozně nejlevnější jsou buchary. Ekonomické nákladnější a na údržbu nejnáročnější jsou hydraulické lisy. Nejvyšší výkonnost při volném kování mají radiální kovací stroje. Životnost bucharových zápustek bývá delší, materiál je v kontaktu s nástrojem kratší dobu. U bucharů se používají i větší úkosy. Pokud je výkovek vhodný pro kování na lisu i na bucharu, ukazuje se zpravidla pro menší série jako ekonomičtější buchar, pro větší série je výhodnější klikový lis.

Otázky:

1. Jaké znáte vztahy pro výpočet deformační energie?
2. Na jakém principu pracují protiúderové buchary ?
3. Jaká je rychlost nástrojů u jednotlivých kovacích strojů ?
4. Na jakém lisu provedete kování volných výkovků s hmotností 50 t ?

Úlohy k řešení :

1. Vypočítejte optimální, poměrnou délku záběru pro pravoúhlý průřez s výškou $a = 700$ mm.
2. Vypočítejte deformační sílu a deformační práci při prodlužování pravoúhlého průřezu 700×500 mm. Polotovár je z oceli tř. 12 600.

Literatura k dalšímu studiu:

SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.

ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL/ALFA. Praha 1988, 520 s.

3. OHŘEV V KOVÁRNÁCH

Členění kapitoly :

- Základní fyzikální veličiny ohřevu
- Kovací teploty
- Rychlost ohřevu
- Doba ohřevu



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete posoudit základní veličiny pro ohřev kovů v kovárnách
- Budete umět stanovit postup ohřevu ocelí v kovárnách
- Seznámíte se s metodikou rozdělení ohříváných polotovarů na tlusté a tenké
- Budete umět vypočítat dobu a rychlost ohřevu



Výklad

Úvod

Ohřevem před tvářením se má v nejkratším čase dosáhnout tvářecí teploty, a to bez ohrožení povrchové a vnitřní jakosti ohříváného tělesa při potlačení průvodních jevů ohřevu v podobě opalu, oduhličení, zhrubnutí zrna a přehřátí.

Optimálním ohřevem se zvyšuje tvařitelnost a snižuje deformační odpor oceli (10 až 15 krát), což má příznivý vliv na energetickou náročnost tváření, životnost tvářecích nástrojů a výrobnost tvářecího pochodu. Zvyšováním teploty se urychlují difúzní pochody

(homogenizace lící struktury, rozpuštění precipitátů). Ohřevem se snižuje hustota mřížkových poruch. Zvládnutí problematiky ohřevu je podmíněno znalostí vybraných fyzikálních veličin kovů : měrná tepelná vodivost, měrná tepelná kapacita, hustota, měrná teplotní vodivost, teplotní délková roztažnost, pružné a plastické vlastnosti.

3.1 Měrná tepelná vodivost (λ)

U železa se hodnota λ pohybuje kolem $75 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Přísadovými prvky se tato hodnota snižuje. Pro měrnou vodivost ocelí feritických (λ_f), perlitických (λ_p), martenzitických (λ_m) a austenitických (λ_a) platí nerovnost :

$$\lambda_f > \lambda_p > \lambda_m > \lambda_a \quad (3.1)$$

Měrnou tepelnou vodivost snižuje i zvýšená hustota mřížkových poruch, která příznačná pro struktury : lité, tvářené za studena, zakalené.

Podle závislosti λ na teplotě se oceli rozdělují do tří skupin. V jednotlivých skupinách se měrná tepelná vodivost se vzrůstající teplotou:

- 1) výrazně snižuje (nizkokouhlíkové a nízkolegované oceli),
- 2) snižuje nevýrazně anebo se téměř nemění (středně-legované oceli),
- 3) mírně se zvyšuje (vysokolegované oceli).

Se stoupající teplotou se rozdíly v měrné tepelné vodivosti jednotlivých druhů oceli postupně vyrovnávají a při teplotách nad 900°C je hodnota $\lambda \approx 25 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$.

Měrnou tepelnou vodivost uhlíkových ocelí při teplotě 0°C lze vypočítat ze vztahu:

$$\lambda_0 = 1 / (0,0105 + 0,0202 C_e) \quad (3.2)$$

kde w_i je hmotnostní podíl i-tého prvku v oceli [%]; Ar_i — poměrná atomová hmotnost i-tého prvku,

C_e je uhlíkový ekvivalent ($C_e = \sum 12 w_i / Ar_i$ [%]).

Pro teplotní oblast pod teplotou přeměny $\alpha \rightarrow \gamma$

$$\lambda_t = 419/Z \quad (3.3)$$

$$Z = 5,5 + 0,1\delta^2 + 0,35\delta + 2,2 w_c (1 - 0,1125\delta) - 4,5 w_{Si} (1 - 0,125\delta) + 1,9 w_{Mn} (1 - 0,1125\delta) - 0,64 w_{Cr} (1 - 0,1\delta) + 0,9 w_{Ni} (1 - 0,125\delta) \quad (3.4)$$

kde w_i je hmotnostní podíl i-tého prvku v oceli [%],

δ lze stanovit ze vztahu : $\delta = 0,01t$ [$^\circ\text{C}$]

Pro teploty nad teplotou přeměny $\alpha \rightarrow \gamma$

$$\lambda_t = \lambda_{\alpha/\gamma} + (29 - \lambda_{\alpha/\gamma}) \cdot (t - t_{\alpha/\gamma}) / (1200 - t_{\alpha/\gamma}) \quad (3.4)$$

kde $\lambda_{\alpha/\gamma}$ je měrná tepelná vodivost oceli při teplotě přeměny $\alpha \rightarrow \gamma$,
 $t_{\alpha/\gamma}$ je teplota přeměny $\alpha \rightarrow \gamma$.

Čím větší je měrná tepelná vodivost, tím rychlejší je přestup tepla z povrchu do jádra zahřívaného tělesa, menší tepelná pnutí a kratší doba ohřevu.

3.2 Měrná tepelná kapacita (c_p)

Pro oceli při pokojové teplotě $c_p = 469$ až $511 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$ a pro uhlíkové oceli v teplotním rozmezí 0 až 100°C

$$c_p = 467 + 19w_C \quad (3.5)$$

kde w_C je hmotnostní podíl uhlíku v oceli [%].

Vliv chemického složení je málo výrazný. S teplotou měrná tepelná kapacita ocelí stoupá až k maximu při teplotě přeměny $\alpha \rightarrow \gamma$. Při teplotách kolem 1000°C se c_p pohybuje kolem $511 \text{ J.kg}^{-1}.\text{K}^{-1}$. Čím větší je měrná tepelná kapacita, tím delší je doba ohřevu a větší energetická náročnost ohřevu.

3.3 Hustota (ζ)

Hustota technicky čistého železa je 7880 kg.m^{-3} . Pro oceli se stanoví ze vztahu :

$$\zeta_0 = 7876 - 40w_C - 16w_{Mn} - 73w_{Si} - 164w_S - 117w_P + 11w_{Cu} + 4w_{Ni} + w_{Cr} + 95w_W - 120w_{Al} \quad (3.6)$$

kde w_i je hmotnostní podíl i-tého prvku v oceli [%].

Pro uhlíkové oceli $\zeta = 7800$ až 7850 kg.m^{-3} u vysokolegovaných ocelí, legovaných wolframem až 8690 kg.m^{-3} .

Pro hustotu ocelí austenitických (ζ_a), bainitických (ζ_b), perlitických (ζ_p) a martenzitických (ζ_m) platí :

$$\zeta_a > \zeta_b > \zeta_p > \zeta_m \quad (3.7)$$

Závislost na teplotě popisuje vztah

$$\zeta_t = \zeta_0 / (1 - \beta_t) \quad (3.8)$$

kde β_t je teplotní objemová roztežnost [K^{-1}].

Čím vyšší je hustota, tím delší je doba ohřevu a větší energetická náročnost ohřevu.

3.4 Měrná teplotní vodivost (a)

Vyjadřuje poměr dodaného tepla k teplu nezbytnému pro ohřev daného tělesa :

$$a = \lambda / (c \cdot \zeta) \quad (3.9)$$

kde a je měrná teplotní vodivost [$\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$]. Měrná teplotní vodivost ovlivňuje rychlost ohřevu ocelí :

uhlíkové oceli při teplotě 0°C : $a = 111 \text{ až } 166 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$,
legované oceli : $a < 111 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Teplotní závislost je obdobná jako u měrné tepelné vodivosti:

při $t > 900^\circ\text{C}$ pro většinu ocelí : $a \approx 39 \cdot 10^{-7} \text{ m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$.

Čím vyšší je teplotní vodivost, tím kratší je doba ohřevu a nižší energetická náročnost ohřevu.

3.5 Teplotní délková roztažnost

U železa je při teplotě 0°C :

$$\alpha = 11,7 \cdot 10^{-6} \quad (3.10)$$

kde α je délková teplotní roztažnost [K^{-1}].

Vliv uhlíku na α je zanedbatelný. Největší teplotní roztažnosti, $\alpha = 16 \text{ až } 20 \cdot 10^{-6} \text{ K}^{-1}$, se vyznačují austenitické oceli. Čím větší je teplotní délková roztažnost, tím větší jsou tepelná pnutí v ohřívaném tělese a tím menší musí být rychlost ohřevu.

3.6 Mechanické vlastnosti

Mechanické vlastnosti mají vliv na odolnost ohřívaných těles proti tepelným pnutím. Při návrhu ohřevu se analyzují pružné vlastnosti materiálu. Popisují se pomocí modulu pružnosti v tahu. Z jeho teplotní závislosti vyplývá, že nad teplotou $500 \text{ až } 550^\circ\text{C}$ pozbývá většina ocelí pružných vlastností. Čím vyšší jsou plastické vlastnosti, tím větší může být rychlost ohřevu, vznikají menší tepelná pnutí, což umožňuje zrychlit ohřev a snížit jeho energetickou náročnost.

3.7 Tepelná pnutí

Tepelná pnutí vznikají v ohřívaném tělese následkem zvětšení jeho objemu. Na vyšší teplotu zahřáté povrchové vrstvy mají tendenci zvětšovat svůj objem, čemuž však brání ještě neprohřátá oblast v ose, takže na povrchu vznikají tepelná pnutí tlaková a v ose tepelná pnutí tahová, která jsou nebezpečná zejména v teplotní oblasti $0 \text{ až } 500^\circ\text{C}$, kdy je ocel v pružném stavu.

Při ohřevu mohou vzniknout i pnutí překryšalizační a v některých případech nutno vzít v úvahu i pnutí zbytková jako důsledek předchozího ochlazování. Překryšalizační pnutí jsou nebezpečná při ohřevu legovaných ocelí. Tepelná pnutí nesmí při ohřevu překročit dovolené napětí σ_D , což lze zabezpečit přípustným teplotním rozdílem v ohřívaném tělese ΔT . Dovolný teplotní rozdíl se vypočítá ze vztahu :

$$\Delta T = k \cdot \sigma_D / (\alpha E) \quad (3.10)$$

kde je ΔT je dovolný teplotní rozdíl po průřezu ohřívaného materiálu [K]
 k tvarový součinitel; pro desku $k = 1,05$; pro válec $k = 1,4$;
 α teplotní délková roztažnost [K^{-1}],
 E modul pružnosti v tahu [MPa].

Většina konstrukčních ocelí má $R_m = 600$ až 800 MPa. Dovolené napětí $\sigma_D = 300$ až 400 MPa, a člen v závorce na pravé straně rovnice : $\alpha E = 2,5$ MPa . K^{-1} . Za těchto předpokladů vychází pro počáteční fázi ohřevu ($t < 550$ °C) největší přípustný teplotní rozdíl :
 $\Delta T_{max} = 168$ až 224 K ≈ 200 K

Podle velikosti tepelných pnutí se ohřívané polotovary dělí na dvě skupiny:

- 1) Tenké ($\Delta T \rightarrow 0$), tepelná pnutí lze neuvažovat,
- 2) Tlusté ($\Delta T > \Delta T_{max}$), vznikají nebezpečná tepelná pnutí.

O zařazení tělesa do skupiny ohřevu rozhoduje Biotovo kritérium

$$Bi = \alpha s / \lambda \quad (3.11)$$

kde je α součinitel přestupu tepla [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-1}$],
 s výpočtová tloušťka [m]; pro souměrný ohřev $s = 0,5 t$ a pro nesouměrný ohřev $s = t$,
 t skutečná tloušťka tělesa [m],
 λ měrná tepelná vodivost [$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$].

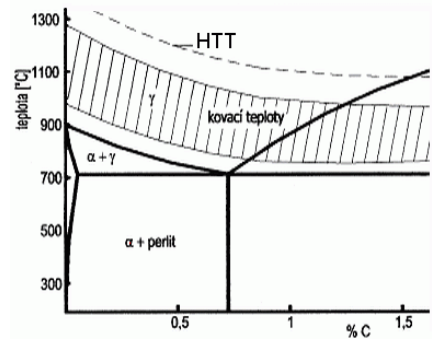
Pro tenká tělesa $Bi < 0,25$, pro tlustá tělesa $Bi > 0,5$. Za hranici mezi tenkými a tlustými tělesy se přibližně udává tloušťka 50 až 100 mm.

3.7 Kovací teploty

Tváření za tepla se uskutečňuje v intervalu kovacích teplot, (obr.1):

- 1) horní kovací teplota (HKT) — nejvyšší přípustná teplota (měřená v peci), na niž lze polotovary ohřát,
- 2) počáteční kovací teplota (PTT) — teplota, při níž se polotovar začíná tvářet,
- 3) dolní kovací teplota (DKT) — nejnižší přípustná teplota kování,
- 4) dokovací teplota (DT) — teplota polotovaru na konci tváření.

Pro kovací teploty platí : $HKT \geq PKT$ a $DKT \leq DT$.



Obr. 1. Interval kovacíh teplot ocelí

3.7.1 Horní kovací teplota (HKT)

Její stanovení je podmíněno respektováním zcela protichůdných jevů : se stoupající teplotou se zlepšuje tvařitelnost a snižuje deformační odpor, což je z hlediska tváření výhodné, avšak současně se zintenzivňuje oxidace a oduhličení povrchových vrstev ohřívaného tělesa a zvyšuje se náchylnost k růstu zrna, přehřátí a spálení, což jsou jevy nežádoucí až nepřijatelné.

Horní kovací teplota má být vždy nižší než kritická teplota růstu zrna. U uhlíkových ocelí závisí růst zrna při dané teplotě především na obsahu uhlíku, kdežto u legovaných ocelí na přísadových prvcích, zejména karbidotvorných, jimiž se růst zrna zbrzdí. Největší náchylností k růstu zrna se vyznačují oceli feritické. Příkladové prvky horní kovací teplotu vesměs snižují, neboť s jejich rostoucí koncentrací stoupá náchylnost k přehřátí a spálení a souběžně se zhoršuje tvařitelnost.

U polotovarů s lící strukturou se horní kovací teplota poněkud zvyšuje, čímž se podporuje homogenizace nestejnorodé lité oceli. Na stejné vysoké úrovni se např. vybírá tvářecí teplota ve válcovnách trub při děrování kosým válcováním, tedy pochodem, jehož spolehlivé uskutečnění je podmíněno vysokou tvařitelností děrovaného polotovaru.

Nejvyšší horní kovací teplota se uplatňuje u drobnějších polotovarů při rychlostním ohřevu, kdy krátká doba ohřevu neumožňuje plné rozvinutí průvodních jevů ohřevu.

$$HKT = t_s - (150 \text{ až } 200) \quad (3.12)$$

kde HKT je horní kovací teplota [°C],
 t_s je teplota solidu [°C].

3.7.2 Dolní kovací teplota (DKT)

Rozhodujícím způsobem ovlivňuje výsledné vlastnosti tvářené oceli. Při jejím stanovení se zvažují tato hlediska:

- 1) ocel musí vykazovat ještě dostatečnou tvařitelnost,
- 2) deformační odpor oceli musí být v souladu s energosilovými veličinami tvářecího zařízení,

3) požadovaných vlastností oceli se dosahuje optimální kombinací dolní kovací teploty, posledního úběru při kování a návazného způsobu ochlazování.

Dolní kovací teplota se stanovuje zvlášť pro oceli podeutektoidní a zvlášť pro oceli nadeutektoidní.

3.7.2.1 Podeutektoidní oceli

Ukončení kování vysoko nad teplotou Ar_3 a následné ochlazování tlustých polotovarů na vzduchu podporuje statickou rekrystalizací, takže výsledná struktura bude hrubozrnná. Tváření mezi teplotami Ar_3 a Ar_1 se rovněž nedoporučuje, neboť ve dvoufázové struktuře vzniká pnutí, zhoršuje se tvařitelnost, vzniká charakteristická řádkovitost (ferit se deformuje snadněji než austenit) a zvyšuje se anizotropie mechanických vlastností. Pokud

$$Ar_3 < DTT < (Ar_3 + 50) \quad [^{\circ}C] \quad (3.13)$$

výsledná struktura je jemnozrnná, vytvoří se předpoklady pro dosažení optimálních vlastností výkovku. V ojedinělých případech se dolní kovací teplota volí pod teplotou Ar_3 ; sleduje se tím zlepšení určitých vlastností výkovku, zejména meze pružnosti u pružinových ocelí, anebo zlepšení povrchové jakosti.

3.7.2.2 Nadeutektoidní oceli

Dolní kovací teplota zde nezasahuje do homogenní austenitické oblasti. Dokování při tak vysokých teplotách by vyústilo ve vznik hrubozrnné struktury a při ochlazování by se vyloučilo souvislé cementitického síťoví na hranici austenitického zrna s nepříznivými důsledky pro plastické vlastnosti výkovku. Dolní kovací teplota se proto určuje podle výrazu :

$$Ar_{cm} > DTT > Ar_1 \quad (3.14)$$

Výhodné vlastnosti výkovku se dosáhnou při dokování těsně nad teplotou Ar_1 , což lze připustit za předpokladu, že příznivý stav napjatosti zaručí vysokou tvařitelnost oceli.

Nižších dokovacích teplot (700 až 750 $^{\circ}C$) se používá při řízeném kování mikrolegovaných ocelí, což spolu s vyšší deformací (60 až 65%) za teplot $t < 900$ $^{\circ}C$ vede k zjemnění zrna, zlepšení pevnostních vlastností a zvýšení odolnosti proti křehkému lomu.

Výsledné vlastnosti výkovků však nezávisí jen na dokovací teplotě, ale i na velikosti posledního úběru, jímž se má zamezit zhrubnutí zrna. Kritický úběr kovových materiálů se zjišťuje z rekrystalizačních diagramů. U běžných ocelí bývá kritický úběr 5 až 15 %. Vysokou náchylností ke kritickému růstu zrna se vyznačují feritické oceli, dolní kovací teplota se u těchto ocelí pohybuje kolem 750 až 800 $^{\circ}C$.

Pokud po kování polotovarů menší tloušťky následuje tepelné zpracování s překrystalizací, je výhodné ukončit tváření nad dolní kovací teplotou ($DT > DKT$). Ocel má vyšší tvařitelnost a nižší deformační odpor, což zjednodušuje postup kování, zejména při kování tvarově složitých výkovků. Velmi přesné dodržení dolní kovací teploty $DKT = DT$ vyžadují jednofázové oceli a polotovary větší tloušťky, u nichž je tváření jediným postupem ke zjemnění zrna a k dosažení požadovaných vlastností.

3.8 Rychlost ohřevu

Závisí především na teplotní vodivosti a dále na vlastnostech ohřívaného materiálu, tvaru a rozměrech ohřívaného tělesa. Čím větší je rychlost ohřevu, tím kratší může být doba ohřevu (což se jeví z provozního a energetického hlediska pouze zdánlivě výhodným), ale tím větší jsou tepelná pnutí v ohřívaném tělese, a právě ta jsou rozhodujícím kritériem pro stanovení rychlosti ohřevu. Přípustná rychlost ohřevu se určí ze vztahu :

$$c = k \text{ a } \Delta T / s^2 \quad (3.15)$$

kde c je rychlost ohřevu [$K \cdot h^{-1}$],
 k tvarový součinitel; pro desku $k = 2,1$, pro válec $k = 5,6$,
 a měrná teplotní vodivost [$m^2 \cdot h^{-1}$],
 ΔT přípustný teplotní rozdíl v ohřívaném tělese [K]; počítá se podle vztahu (12),
 s výpočtová tloušťka [m].

Za účelem, udržení tepelných pnutí v přípustných mezích se zařazuje do vstupní fáze ohřivacího režimu tlustých polotovarů předehřátí v peci se sníženou sázecí teplotou, která se při zanedbání přestupu tepla konvekcí počítá pro studenou vsázku ($t < 550 \text{ } ^\circ C$) ze vztahu:

$$(T_p / 100)^4 = (T_m / 100)^4 + q / C \quad (3.16)$$

kde je T_p , T_m sázecí teplota pece [K], a sázecí teplota materiálu [K],
 C součinitel sálání [$W \cdot m^{-2} \cdot K^{-4}$]; pro plynové pece $C = 3,5$.
 q hustota tepelného toku [$W \cdot m^{-2}$],

$$q = 2 \lambda \Delta T / s \quad (3.17)$$

kde je ΔT přípustný teplotní rozdíl v ohřívaném tělese podle vztahu (10),
 s výpočtová tloušťka [m].

Obdobně se postupuje při výpočtu sázecí teploty pece pro teplou vsázku ($t > 550 \text{ } ^\circ C$). Přípustný teplotní rozdíl ΔT , vypočítaný podle vztahu (10), se zvyšuje o 50 %, což je umožněno sníženou citlivostí oceli na tepelná pnutí. Nejnižší sázecí teplota (300 až 500 $^\circ C$) se volí pro studenou vsázku tlustých polotovarů z ocelí v litém stavu (kovářské ingoty) a s nízkou plasticitou.

3.9 Doba ohřevu

Má být co nejkratší, aby se dosáhlo nejmenšího zokoujení a nejmenší spotřeby tepelné energie, ale natolik dlouhá, aby se dosáhlo předepsané tvářecí teploty, rovnoměrného prohřátí ($50 K \geq \Delta T \approx 1 K \cdot cm^{-1}$) a nejmenšího tepelného pnutí. U některých legovaných

oceli musí doba ohřevu zabezpečit požadované strukturní změny (např. rozpuštění karbidů u rychlořezné oceli, nebo karbonitridů v mikrolegovaných ocelích). Prodloužení doby ohřevu nad vypočtené optimum nelze připustit u ocelí s výraznou náchylností k růstu zrna (feritické chromové a křemíkové oceli). Z jednoduchých vzorců empirické povahy se pro ohřev polotovarů o tloušťce $t > 100$ mm v komorových pecích používá vztah :

$$\tau = k_1 \cdot k_2 \cdot t\sqrt{t} \quad (3.18)$$

kde τ je doba ohřevu [h],
 k_1 je součinitel materiálové povahy. Pro konstrukční uhlíkové a nízkoalegované oceli $k_1 = 10$, pro vysokouhlíkové a vysokolegované oceli $k_1 = 20$,
 k_2 - součinitel zahrnující vliv uložení polotovarů v peci podle obr. 2.

Pro vysokouhlíkové a vysokolegované oceli

$$\tau = \tau_1 + \tau_2 \quad (3.19)$$

kde τ_1 je doba ohřevu od 0 do 850 °C,

τ_2 - doba ohřevu od 850 do 1 200 °C.

Pro vysokouhlíkové oceli : $\tau_1 = \tau_2 = 10k_2 \cdot t\sqrt{t}$, a pro vysokolegované oceli :

$$\tau_1 = 13,5k_2 \cdot t\sqrt{t} ; \tau_2 = 6,7k_2 \cdot t\sqrt{t} .$$

Rozložení materiálu	χ	Rozložení materiálu	χ
	1		1
	1		1,4
	2		2,2
	1,35		2
	1,3		1,8

Obr. 2. Závislost součinitele k_2 na rozložení materiálu v peci.

Otázky:

1. Které základní fyzikální a mechanické veličiny použijete pro stanovení postupu ohřevu v

kovárnách ?

2. K jakým cílům se při ohřevu využívá Biotovo kritérium ?
 3. V jakém intervalu se nachází dolní kovací teplota podeutektoidních a nadeutektoidních ocelí ?
 4. Jak vypočítáte sázecí teplotu pece při ohřevu studených polotovarů s $Bi > 0,25$?
 5. Které empirické vztahy se používají pro stanovení doby ohřevu ?
-

Úlohy k řešení :

1. Určete dolní kovací teplotu pro nadeutektoidní oceli.
 2. Vypočítejte sázecí teplotu pece pro ohřev kovářských ingotů o hmotnosti 45 000 kg. Ingoty jsou vyrobeny z oceli 12 050.
 3. Vypočítejte celkovou dobu ohřevu ingotu pro úlohu 2.
-

Literatura k dalšímu studiu:

SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.

ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL/ALFA. Praha 1988, 520 s..

4. OHŘÍVACÍ PECE V KOVÁRNÁCH

Členění kapitoly :

- Spalinové ohřívací pece
- Ohřev el. proudem
- Rychlostní ohřev a ohřev v ochranných atmosférách
- Ochlazování výkovků



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Seznámíte se s jednotlivými typy ohřívacích pecí
- Budete umět vypočítat dobu ohřevu při odporovém a indukčním ohřevu
- Budete umět stanovit vhodnou rychlost ochlazování výkovků z dokovací teploty



Výklad

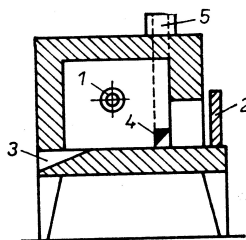
Při volném kování se obvykle používá ohřev v plynových pecích. V zápustkových kovárnách se uplatňují některé další způsoby ohřevu, jejichž cílem je především urychlit ohřev a snížit opal a oduhličení. Patří k nim ohřev elektrickým proudem, rychlostní ohřev a ohřev v ochranném prostředí. Elektrického proudu se využívá při odporovém a indukčním ohřevu.

4.1. Spalinové ohřívací pece

Ohřívací pece v kovárnách mají široké hmotnostní rozmezím ohříváných polotovarů a značně proměnlivý charakter výroby.

4.1.1 Komorové pece s vodorovnou nístějí

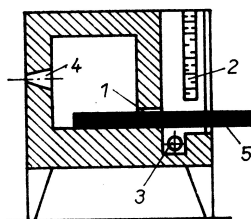
Používají se při ohřevu drobných polotovarů pro volné i zápusťkové kování při kusové a malosériové výrobě. Pec na obr. 1 se vytápí hořáky v bočních stěnách, kam též v jejich dolní části zaústějí odtahové kanály, jimiž proudí spaliny do rekuperátoru.



Obr. 1. Schéma komorové pece: 1 - hořák; 2 - dvířka; 3 - výpust strusky; 4 - odtahový kanál; 5 – rekuperátor

4.1.2. Komorové pece štěrbinové.

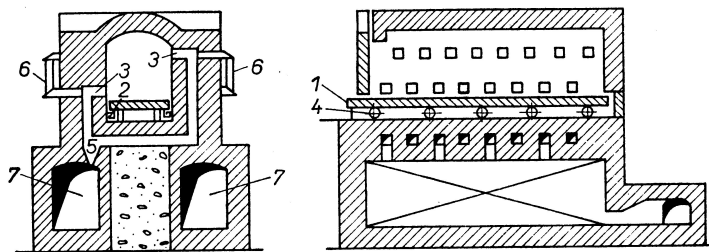
Jsou vhodné pro koncový ohřev tyčí určených k místnímu kování. U pece na obr. 2 je sázecí otvor po délce čelní stěny nahrazen úzkou štěrbinou.



Obr. 2. Schéma komorové pece štěrbinové : 1 - podélná štěrbina; 2 - vodní clona; 3 ; vzduchová sprcha; 4 hořák; 5 - ohříváný polotovar

4.1.3. Komorové pece s výjezdnou nístějí.

Používají se ve volných kovárnách. Slouží k ohřevu ingotů a předkovků. Pec na obr. 3 má nístěj v podobě masivního, žárovzdornou vyzdívkou chráněného vozu, který se pohybuje prostřednictvím jednoduchého mechanismu na válečkách.



Obr. 3. Schéma komorové pece s výjezdnou nístějí
1 - výjezdná nístěj; 2 - těsnění nístěje; 3 - hořáky; 4 - válečky; S - kanál pro střídavě vpouštění vzduchu k hořákům a spaliny do regenerátorů; 6 - přívod plynu; 7 - komory regenerátorů

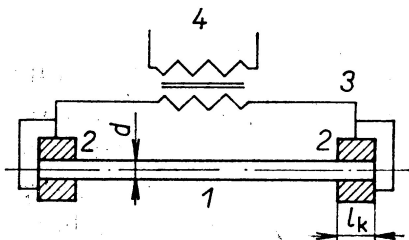
4.2 Ohřev elektrickým proudem

Představuje nejrychlejší způsob ohřevu polotovarů menších tloušťek pro zápuskové kování a vyznačuje se těmito přednostmi:

- nízké zokujení (0,4 až 0,6 %), které příznivě ovlivňuje životnost nástrojů a materiálovou bilanci,
- přesné dodržení horní kovací teploty,
- snadná mechanizace a automatizace pohybu polotovarů při ohřevu včetně jednoduché návaznosti na pracovní takt tvářecího stroje,
- výrazné zlepšení pracovních podmínek, pracovního a životního prostředí.

4.2.1 Odporový ohřev

Pokud prochází kovovým materiálem elektrický proud, narážejí pohybující se elektrony na atomy kovu a předávají jim část své kinetické energie. Takto vzniklé rozkmitání atomů se projeví vzestupem teploty kovového materiálu, polotovaru určenému ke kování.



Obr. 4. Schéma odporového ohřevu

1 - ohříváný polotovar; 2 - kontakty; 3 - vodič; 4 - transformátor

Polotovar 1 je uložen mezi kontakty 2, spojené vodičem 3 se sekundárním vinutím transformátoru 4. Kontakty musí na polotovar působit v délce $l_k > 0,5d$. Protože polotovar není během ohřevu tepelně izolován, musí ohřev proběhnout v krátkém čase, aby se zabránilo velkým tepelným ztrátám a nadměrnému zokujení. Proto je nezbytné přivést do polotovaru velký proud :

$$I = \sqrt{Q/(R \cdot \tau)} \quad (4.1)$$

kde I je velikost proudu [A]
 Q je množství tepla k ohřevu polotovaru beze ztrát [J],
 R - odpor [Ω],
 τ - doba ohřevu [s].

Pro dosazení do rovnice (4.1) lze použít vztah :

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S} \quad (4.2)$$

kde ρ je měrný odpor ($\Omega \cdot m$),
 l - délka ohřívaného tělesa (m),
 S - plocha příčného průřezu ohřívaného tělesa (m^2).

Po dosazení dostáváme pro ohřívání tělesa kruhového průřezu:

$$I = 0,886 \sqrt{\Omega \cdot d^2 / (\tau \rho l)} \quad (4.3)$$

Velikost proudu především závisí na průměru ohřívaného tělesa d . Doporučuje se, aby $d < 70$ mm. Velký vliv na měrnou spotřebu elektrické energie a účinnost ohřevu má poměr l/d^2 . Pokud $l/d^2 > 1$, dosahuje měrná spotřeba elektrické energie na ohřev a účinnost ohřevu optimální hodnoty. V kovárnách se používá střídavého proudu síťové frekvence o napětí $U = 2$ až 22 V a proudu $I = 5$ až 10 kA.

Doba ohřevu se stanovuje ze vztahu :

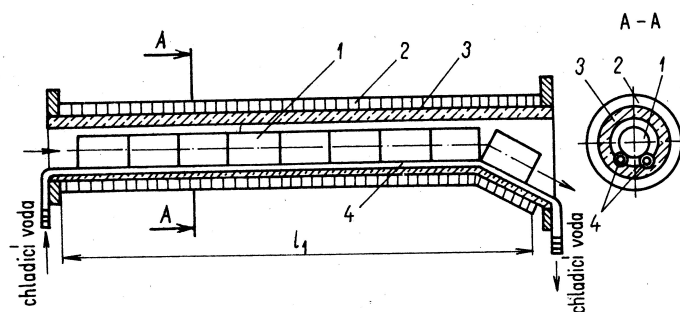
$$\tau = \frac{mc(t_k - t_o)}{a} \quad (4.4)$$

kde τ je doba ohřevu [s]
 m je hmotnost ohřívaného tělesa o délce 100 mm [kg],
 c je měrná tepelná kapacita [$kJ \cdot kg^{-1} \cdot K^{-1}$],
 t_o, t_k - počáteční a konečná teplota ohřívaného tělesa [$^{\circ}C$],
 a - součinitel intenzity ohřevu ($a = 0,95$ až $1,43$ $kJ \cdot s^{-1}$).

Ohřev elektrickým odporem se používá při zápusťkovém kování, kdy ohřívací zařízení bývá vestavěno přímo do pracovního prostoru tvářecího stroje. Vhodným uspořádáním kontaktů lze ohřívát vymezený úsek nebo několik úseků polotovaru.

4.2.2 Indukční ohřev

Prochází-li vodičem střídavý elektrický proud, vytváří se kolem něho magnetické pole, které mění svou velikost a směr. Jestliže se do magnetického pole vloží kovové těleso, indukuje se v něm elektromotorická síla, jejímž působením začne tělesem procházet elektrický proud - těleso se zahřívá. Právě na tomto principu je založen nejrychlejší způsob ohřevu - indukční ohřev (obr. 2). Z vodiče 2 (měděná trubka, jíž protéká chladicí voda) zhotovená spirála je základem induktoru, do něhož se vkládá polotovar 1 určený k ohřevu. Zdrojem elektrického proudu je vysokofrekvenční generátor. Indukované vířivé proudy nepronikají ohřívaným polotovarem stejnoměrně: hustota proudu ubývá směrem k jádru polotovaru podle vztahu (4.5).



Obr. 5. Schéma indukčního ohřevu

1 - ohřivané polotovary; 2 - induktor; 3 vyzdívka; 4 - vodítka

$$J_x = J_o \cdot \exp(-\alpha x) \quad (4.5)$$

kde J_x je hustota proudu ve vzdálenosti x od povrchu tělesa [$A \cdot m^{-2}$]

J_o je hustota proudu na povrchu tělesa [$A \cdot m^{-2}$],

x je vzdálenost od povrchu k jádru tělesa [m],

α je bezrozměrný součinitel. Součinitel α se určí ze vztahu :

$$\alpha = 0,1987 \sqrt{\frac{f \mu_r}{\rho}}$$

kde f je frekvence (Hz), μ_r je poměrná permeabilita, ρ je měrný odpor [$\Omega \cdot m$].

Pro $x = 1/\alpha$ vychází, že $J_x/J_o = 1/e = 0,368$, což znamená, že hustota proudu poklesla v této vzdálenosti na 36,8 %. Tuto vzdálenost nazýváme hloubkou proniku a označujeme symbolem δ . Ve hloubce δ protéká největší část proudu z daného příkonu a vyvíjí se největší teplo. Pro výpočet hloubky δ se používá vztah:

$$\delta = 5,03 \sqrt{\frac{\rho}{f \mu_r}} \quad (4.6)$$

Při znalosti hloubky proniku se určí optimální průřezová plocha ohřivaného tělesa. Pro polotovary kruhového průřezu se optimální průměr vypočítá ze vztahu :

$$d = (4 \text{ až } 10) \delta \quad (4.7)$$

O hospodárnosti a účinnosti indukčního ohřevu rozhoduje do značné míry volba frekvence. Na rozdíl od odporového ohřevu lze indukčně ohřívát polotovary rozmanitého průřezu a nejkratších délek. Nevýhodou indukčního ohřevu jsou vysoké pořizovací náklady, velká spotřeba elektrické energie ($0,4$ až $0,5 \text{ kW} \cdot \text{h} \cdot \text{kg}^{-1}$) a nutnost výměny induktoru při změně rozměrů příčného průřezu ohřivaného polotovaru.

4.3. Rychlostní ohřev

Při ohřevu tenkých polotovarů v peci vyhřáté na vysokou teplotu ($1\,400$ až $1\,500$ °C) se dosáhne výrazného zvýšení rychlosti ohřevu, a to bez nebezpečí vzniku velkých tepelných pnutí. Při vysoké teplotě pece převládá sdílení tepla sáláním, což urychluje průběh ohřevu do té míry, že se blíží rychlosti indukčního ohřevu. Naznačeným postupem se dosahuje podstatného zvýšení výkonnosti ohřívacích pecí za současného snížení opalu a

téměř úplného omezení oduhličení. Rychlostně ohřívaná ocel je jemnozrnnější a má zvýšenou tvařitelnost.

4.4. Ohřev v ochranném prostředí

Používá se k ohřevu drobnějších polotovarů pro zápustkové kování, a to v případě zpřísněných nároků na povrchovou jakost a rozměrovou přesnost výkovků. Ochranné prostředí bývá vesměs plynné (ochranné atmosféry) a kapalné (roztavené sklo a soli).

4.5. Ochlazování výkovků

Většina výkovků se po kování ochlazuje na vzduchu; doba ochlazování se počítá podle vztahu :

$$\tau = 0,006 \Delta T \cdot d \quad (4.8)$$

kde τ je doba ochlazování [s],

ΔT je pokles teploty po průřezu výkovku [K],

d - průměr výkovku [m].

U některých výkovků je však podle velikosti příčného průřezu a obsahu přísadových prvků nezbytné zabezpečit zpomalené ochlazování, aby se dosáhlo předepsaných mechanických vlastností, zamezilo vzniku povrchových a vnitřních trhlin a uvolnila zbytková pnutí.

Otázky:

1. Jaké typy spalinových pecí se používají pro ohřev v kovárnách?
2. Jak vypočítáte dobu ohřevu při odporovém ohřevu ?
3. Jak vypočítáte hloubku proniku při indukčním ohřevu a k jakému účelu jí použijete ?
4. Umíte vypočítat dobu ochlazování z dolní kovací teploty pro podeutektoidní oceli ?

Úlohy k řešení :

1. Porovnejte rychlost ohřevu ve spalinové, komorové peci a rychlost ohřevu v elektrické indukční peci.

Literatura k dalšímu studiu:

ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL/ALFA. Praha 1988, 520 s..

-
1. Porovnejte zařízení pro ohřev velkých ingotů ve volné kovárně a polotovarů v zápustkové kovárně.
 2. Vypočítejte dobu ohřevu ocelové tyče o průměru 20 mm. Pro ohřev se používá odporový ohřev.
-

Literatura

1. ELFMARK, J. Tváření kovů. SNTL. Nakladatelství technické literatury. Praha 1992, 524 s.
2. SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.
3. DRASTÍK, F. Strojnická příručka. Část 13, díl 8, kapitola 4. 2004 – 2007.

5. STUPEŇ PROKOVÁNÍ A ZÁKLADNÍ KOVÁŘSKÉ OPERACE

Členění kapitoly :

- Výchozí polotovary
- Kovářské ingoty
- Stupeň prokování
- Základní kovářské operace
- Pěchování
- Děrování



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete analyzovat kovářské ingoty
- Budete umět vypočítat stupeň prokování
- Seznámíte se základními operacemi volného kování



Výklad

5.1 Výchozí polotovary

Výchozí polotovary mohou mít strukturu v litém stavu (kovářské ingoty, plynule lité polotovary), anebo tvářenou strukturou (válcované bloky a sochory, tvarové vývalky kruhového a čtvercového průřezu).

5.1.1 Kovářské ingoty

Kovářské ingoty jsou výchozím polotovarem pro střední a velké výkovky. Jejich hmotnost dosahuje až 570 t, a odlévají se z uklidněné oceli. Tvar kovářského ingotu je znázorněn na obr. 5.1. U velkých ingotů je příčný průřez osmiúhelníkový až čtyřřadvacetiúhelníkový s

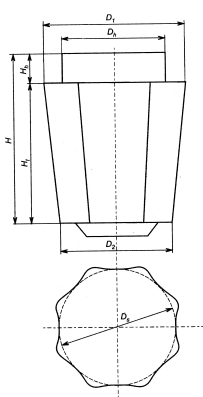
vydutými stranami a zaoblenými rohy. Ingoty menší hmotnosti (do 1 t) mívají průřez kruhový. Hlava a pata ingotu tvoří 15 až 24 %, popř. 3 až 4 % celkové hmotnosti ingotu. Ke zhotovení výkovku je použitelný kov v podobě tzv. užité hmotnosti ingotu m_{uz} :

$$0,9m_t \geq m_{uz} = 0,9m_t^a - p \cdot 0,04m_t \quad (5.1)$$

kde m_t je hmotnost těla ingotu (kg);

a - ukazatel strukturní dokonalosti ingotu ($a = 0,988$ až $0,995$);

p - pēchovací ukazatel; $p = 0$ pro nepēchovaný ingot, $p = 1$ pro pēchovaný ingot.



Obr. 5.1. Tvar kovářského ingotu

Kovářské ingoty se vyznačují chemickou a fyzikální nestejnorodostí, vnitřními necelistvostmi různého původu (staženina, póry, řediny, bubliny), a dalšími vadami.

Charakteristikami znaky běžných ingotů jsou : štíhlost (h_t/d_s) a úkos těla (k_t).

Kromě uvedeného tvaru se používají ingoty : s vyšším úkosem těla ($ú = 10$ až 12 %), s vyšší štíhlostí těla ($h_t/d_s = 3$ až 5), s nižší štíhlostí těla ($h_t/d_s = 0,7$ až $1,3$) a duté ingoty. K přednostem těchto ingotů patří vyšší využití oceli, nižší stupeň prokování. Kromě těchto konstrukčních zásahu se jakost kovářských ingotů zvyšuje : mimopecní rafinací oceli, vakuovým zpracováním oceli, elektrostruskovým přetavováním a postupným litím ingotu z několika taveb se záměrně odstupňovaným obsahem segregujících prvků.

5.2 Stupeň prokování

Kováním ingotů se postupně rozrušuje lící struktura, drobí se dendrity a spolu s nekovovými vměstkami a vycezeninami se protahují ve směru hlavní deformace. Vzniká charakteristická

vláknitost, jejíž orientaci lze kovářským ovlivňovat. Současně se uzavírají a svařují vnitřní nečistosti, čímž se zvyšuje hustota a zlepšují plastické vlastnosti oceli. Vysoká kovářská teplota urychluje difúzní děje. Kováním se ovlivňuje velikost zrna, a tím i výsledné mechanické vlastnosti výkovků. Vliv kovářství na mechanické vlastnosti výchozí lité struktury se posuzuje smluvní veličinou, stupněm prokování PK.

5.2.1 Výpočet stupně prokování pro podélné výkovky

Pro výkovky u nichž je poslední kovářskou operací prodlužování se stupeň prokování vypočítá ze vztahu :

$$PK = A^n P^n K \quad (5.2)$$

kde A je přechovací ekvivalent, $A = 0,7$ až $0,9$,

P - stupeň přechování ingotu, $P = \frac{S_p}{S_i}$

K - stupeň prodlužování ingotu, $K = \frac{S_i}{S_v}$

n - počet přechovacích operací,

kde S_p je příčný průřez napřechovaného ingotu,

S_i - plošný obsah středního příčného průřezu ingotu,

S_v - plošný obsah největšího příčného průřezu výkovku.

U výkovků kotoučů a kruhových desek, u nichž je poslední operací přechování, a u podélných výkovků, jejichž průřez je větší než průřez ingotu se pro výpočet stupně prokování používá vztah :

$$PK_2 = PK_1 \sqrt{P'} \quad (5.2)$$

kde PK_1 je stupeň prokování špalu podle

P' - stupeň přechování v poslední přechovací operaci, $P' = \frac{S_{vp}}{S_s}$

kde S_{vp} je příčný průřez napěchovaného výkovku, S_s - příčný průřez špalku.

Pokud se u podélných výkovků zařazuje po přechování ještě prodlužování, přičemž $K < 1$, pak se toto prodlužování do vztahu (5.2) nezahrnuje. Pro výpočet stupně prokování u výkovků dutých těles prodlužovaných na trnu:

$$PK_3 = PK_2 K' \quad (5.3)$$

kde PK_2 je stupeň prokování napěchovaného kotouče,

K' - stupeň prodlužování na trnu, $K' = \frac{t_{kt}}{t_{dt}}$

kde t_{kt} je tloušťka stěny děrovaného kotouče,

t_{dt} - tloušťka stěny výkovku dutého tělesa.

U výkovků kroužků rozkovávaných na trnu se stupeň prokování vypočítá:

$$PK_4 = PK_3 K'' \quad (5.4)$$

kde K'' je stupeň rozkování na trnu, $K'' = \frac{S_{kt}}{S_{kr}}$

kde S_{kt} je příčný průřez děrovaného kotouče,

S_{kr} - průřez výkovku kroužku.

Velikost stupně prokování se volí tak, aby se u výkovku dosáhlo požadovaných vlastností.

Pro ingoty vyráběné běžnou technologií se používá vztah :

$$PK = 3 \quad (5.5)$$

Čím nižší je koncentrace přísadových prvků v oceli a dokonalejší struktura ingotu tím nižší může být stupeň prokování.

Pro výpočet stupně prokování v závislosti na hmotnosti těla ingotu se používá vztah :

$$PK = 2,5m_t^{0,0764} \quad (5.6)$$

5.3 Základní kovářské operace

Postup výroby volných výkovku sestává z mnoha samostatných, kovářských operací. Pěchováním a prodlužováním se výrazně působí na metalurgickou a technologickou stránku kování, zbývajících operacemi se ovlivňuje pouze technologická stránka kování.

5.3.1 Pěchování

Pěchování je silově a energeticky nejnáročnější kovářskou operací. Při pěchování se zmenšuje výška a zvětšuje příčný průřez tělesa. Účelem pěchování je zvýšit stupeň prokování, snížit anizotropii mechanických vlastností, dosáhnout radiálního průběhu vláken, zhotovit výkovky o větším příčném průřezu, než odpovídá výchozímu polotovaru a získat předkovky pro následné děrování nebo prodlužování.

Základní znaky pěchování :

- a) Celý objem tělesa je vystaven vlivu nástrojů,
- b) Napětí vyvolaná vnějším energosilovým zdrojem působí výlučně na stykových plochách mezi nástroji a pěchovaným tělesem,
- c) Na boční stěny pěchovaného tělesa nepůsobí žádná napětí,
- d) Deformace je nerovnoměrnost.

Důsledkem nerovnoměrné deformace je vznik přídavných tahových napětí na bočním povrchu pěchovaného tělesa, nežádoucí tvarová změna bočních stěn výkovku v podobě soudkovitosti, obtížné protváření určitých oblastí výkovku, nestejnorodost výsledné struktury a mechanických vlastností. Zvláště výrazně se projevují důsledky nerovnoměrné deformace u výkovků kotoučů a desek o malé tloušťce a velkém průměru. Soudkovitost

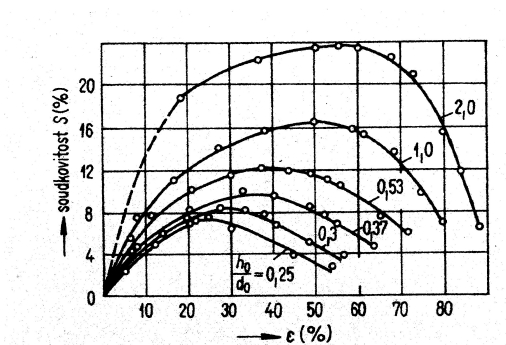
můžeme vypočítat ze vztahu (5.7) a při pěchování se mění v závislosti na poměrném výškovém úběru a štíhlosti výchozího polotovaru podle obr.5. 2.

$$S = \frac{V_s}{V_c} \cdot 100 \quad (5.7)$$

kde S je soudkovitost [%].

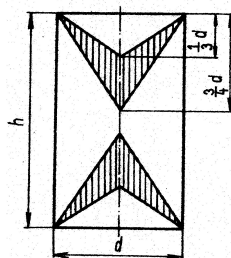
V_s je objem soudkovité části výkovku [m^3]

V_c objem výkovku



Obr. 5. 2. Závislost soudkovitosti S na poměrném výškovém úběru ϵ a štíhlosti výchozího polotovaru h_0/d_0

Ke snížení nerovnoměrné deformace se používá výchozí polotovar o menší štíhlosti a pěchuje se velkým výškovým úběrem, popř. lze soudkovitost zmenšit snížením velikosti třecích sil na stykové ploše nástroje a pěchovaného tělesa. Hloubka proniku intenzivní plastické deformace je při pěchování válcového tělesa o rozměrech d a h (obr. 5.3) vymezena dvěma kužely o společné základně d, a výškách $1/3d$ a $3/4d$



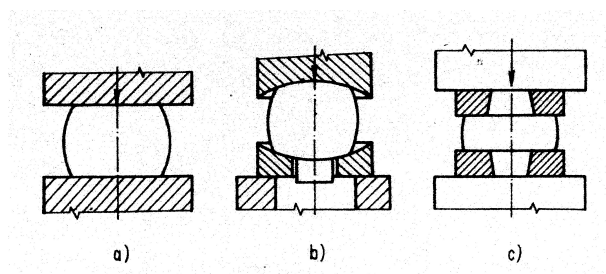
Obr. 5.3. Hloubka proniku intenzivní plastické deformace

Pro dosažení optimálního tvaru napěchovaného polotovaru se doporučuje dodržet základní pravidla pěchování:

1. Rovnoměrně prohřátí výchozího polotovaru na horní kovací teplotu,
2. Kolmé čelní plochy,
3. Štíhlost výchozího polotovaru na $h/d < 2,5$
4. Při pěchování na bucharu omezit výšku výchozího polotovaru na 3/4 pracovního zdvihu beranu,
5. Před pěchováním ingotu vykovat z jeho hlavy manipulační čep,
6. Pro ingoty volit stupeň pěchování $P > 2,8$,
7. U nízkotvaritelných ocelí před pěchováním překovat hrany ingotu.

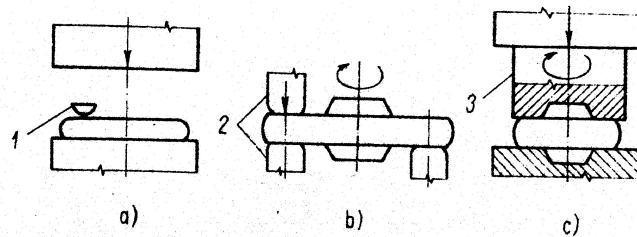
Základní způsoby pěchování :

1. Rovnými pěchovacími deskami (obr. 5.4a) se pěchují menší polotovary na kotouče nebo desky.
2. Tvarovými pěchovacími deskami (obr.5.4b) se pěchují ingoty určené k dalšímu prodlužování.
3. V jednoduchých přípravcích (obr. 5.4c) se provádí místní pěchování přírubových kotoučů s jedním či dvěma koncovými osazeními, která se pro svou malou výšku nedají vykovat osazováním.



Obr. 5.4. Základní způsoby pěchování

Výkovky kotoučů a desek o velkém průměru a malé tloušťce se po pěchování používá rozkování, obr.5.5. Soudkovitost napěchovaných výkovků se odstraňuje okováním a srovnáním čel.



Obr. 5.5. Základní způsoby rozkování

a) příložkou 1, b) rovnými kovádky 2, c) úzkým tvarovým kovádkem 3

Výběr tvářecího stroje pro pěchování

Deformační síla při pěchování na hydraulickém lisu se vypočítá ze vztahu :

$$F = \psi \sigma_p \left(1 + 0,17 \frac{d}{h} \right) S_{vp} \quad (5.8)$$

kde F je deformační síla (MN),

Ψ je opravný součinitel,

σ_p je přirozený deformační odpor (MPa),

d, h je střední průměr a výška napěchovaného výkovku (m),

S_{vp} - příčný průřez napěchovaného výkovku (m^2).

Hmotnost beranu při pěchování na bucharu:

$$m_b = 1,7 \cdot 10^5 \left(1 + 0,17 \frac{d}{h} \right) \sigma_p \varepsilon V_v \quad (5.9)$$

kde m_b je hmotnost beranu (kg)

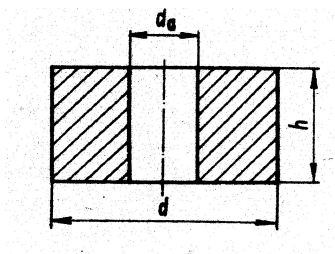
ε je poměrný výškový úběr v posledním úderu; $\varepsilon = 0,025$ (malé výkovky) až $0,06$ (velké výkovky),

V_v - objem výkovku (m^3).

5.3.2 Děrování

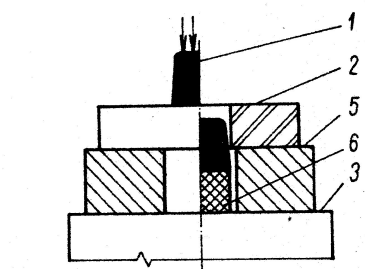
Děrováním se získá výkovek s průchozí nebo neprůchozí dírou (obr. 5.6). Základní pravidla pro děrování:

1. Rovnoměrné prohřátí výchozího polotovaru,
2. Překování výchozího polotovaru na kotouč s výškou h a průměrem d ($h < 0,8d$).



Obr. 5.6. Děrovaný výkovek

Základní způsoby děrování jsou uvedeny na obr. 5.7 až 5.10 a rozsah jejich použití v tab. 5.1.



Obr. 5.7. Děrování plným trnem střížné

- 7 – děrovací trn; 2 - děrovaný polotovar; 3 - dolní kovádko nebo pēchovací deska;
4 - nástavec; S – děrovací kroužek; 6 – výdērek

Vnitřní průměr výkovku d_a je omezen vztahem :

$$0,4h \leq d_a \leq \frac{d}{3} \quad (5.10)$$

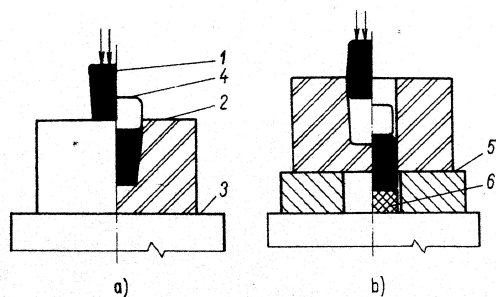
Kotouče kované z ingotů se ukládají na dolní nástroj podhlavovou částí, aby se do výděrku vytlačil méně jakostní kov z této části ingotu.

Hmotnost výděrku se počítá ze vztahu :

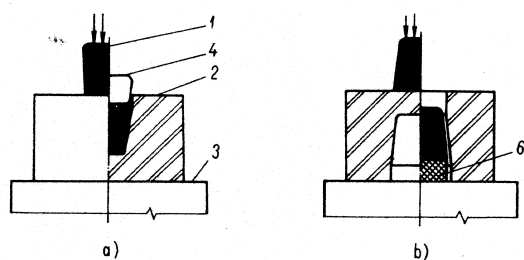
$$m_{vd} = k d_a^2 h \quad (5.11)$$

kde m_{vd} je hmotnost výděrku (kg)

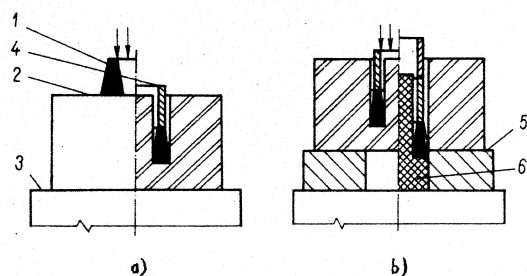
k je opravný součinitel postihující způsob děrování a hustotu kovu,
 d_a - vnitřní průměr výkovku (m), h - výška výkovku (m).



Obr. 5.8. Děrování plným trnem jednostranné
a) zatlačení trnu, b) odstřížení výděrku



Obr. 5.9. Děrování plným trnem oboustranné
a) zatlačení trnu, b) odstřížení výděrku



Obr. 5.10. Děrování dutým trnem
a) zatlačení trnu, b) odstřížení výděrku

Tab.5. 1. Základní způsoby děrování

Způsob děrování	Plným trnem			Dutým trnem
	střížné	jednostranné	oboustranné	
Rozsah použití	$h/d < 0,13$	$h/d \geq 0,13$ $h/d \leq 0,4$	$h/d > 0,4 d$	$d_a > 300 \text{ mm}$
Součinitel k	5,55	1,54	1,85	6,8 až 7,1

Otázky:

1. Jak můžete charakterizovat základní tvar polotovarů pro volné kování?
2. Jak vypočítáte stupeň prokování ?
3. Jak byste charakterizovali operace volného kování ?

Úlohy k řešení :

1. Vypočítejte stupeň prokování podle vztahu 5.2 a 5.6 a proveďte rozbor výsledků.
2. Proveďte rozbor jednotlivých způsobů děrování a vyberte vhodný způsob pro děrování polotovaru se štíhlostí v intervalu $0,5 \leq h/d \leq 0,8$.

Literatura k dalšímu studiu:

SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.

GREGER, M. - SOMMER, B.: Modelluntersuchungen zum Werkstofffluss beim Lochen von. Freiformschmiedestücken. Neue Hütte, 1984, no.7, p.15.

ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL/ALFA. Praha 1988, 520 s..

6. ZÁKLADNÍ KOVÁŘSKÉ OPERACE

Členění kapitoly :

- Prodlužování
- Operace volného kování
- Výpočet deformační síly a práce



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

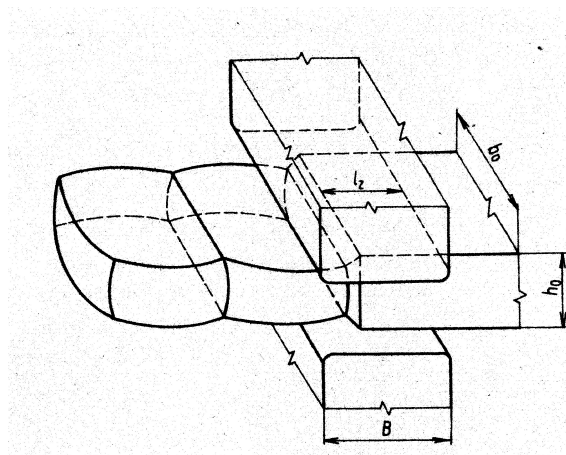
- Dokážete stanovit zásady pro prodlužování a děrování předkovků ve volných kovárnách
- Budete umět vypočítat deformační síly a využití vstupního materiálu
- Seznámíte se základními operacemi volného kování



Výklad

6.1 Prodlužování

Prodlužováním se záměrně zmenšuje příčný průřez polotovaru a jeho délka vzrůstá. V kovárnách se operaci prodlužování věnuje 75 % výrobního času. Uplatňuje se jako přípravná a dokončovací operace při kování výkovků tyčí, hladkých, osazených i prosazených hřídelů, klikových hřídelů aj. Prodlužování je přetržitým tvářecím pochodem, který se uskutečňuje postupným stlačováním dílčích objemů tvářeného tělesa (obr.6.1) za jeho současného posunování a hranění. Tento postup spolu s periodicitou záběrů usnadňují rozvoj smykové deformace, tím se rozrušuje dendritická struktura. Výsledkem je zlepšování mechanických vlastností při srovnatelných tvářecích postupech, např. válcování.



Obr.6.1. Prodlužování na rovných kovádlech

Veličinou, která ovlivňuje kvalitativní stránku prodlužování, především při kování ingotů, je poměrná délka záběru l_z/h_0 . Rozhoduje o proniku deformačního účinku do hloubky pásma deformace, a tím o stavu napjatosti a nerovnoměrné deformaci v této oblasti, což ovlivňuje výslednou kvalitu výkovku. Nejvýhodnějších podmínek pro dokonalé protváření osově části prodlužovaných polotovarů tlakovým napětím se dosáhne pokud:

$$0,7 \geq \frac{l_z}{h_0} \geq 0,5 \quad (6.1)$$

kde l_z je délka záběru [m]

h_0 je tloušťka (výška) prodlužovaného tělesa [m]

Při $l_z/h_0 < 0,5$ vznikají v ose prodlužovaného výkovku přídavná tahová napětí, která mohou ohrozit jeho celistvost, zejména u oceli s nízkou tvařitelností.

6.1.1 Základní pravidla prodlužování

Kromě úvodního prodlužování ingotů malými úběry ($\epsilon_n \leq 15\%$), se volí úběry $\epsilon \geq 20\%$ za průchod podle tvařitelnosti oceli. V posledním průchodu se musí zamezit kritickému růstu zrna. Velikost úběru je omezena tzv. průřezovým ukazatelem φ :

$$\varphi = \frac{b}{h} \leq 2,5 \quad (6.2)$$

kde b , h jsou šířka a výška příčného průřezu prodlužovaného polotvaru. Pro oceli s vysokou tvařitelností platí vztah:

$$\epsilon = \frac{1 - b_k}{\varphi h_0} \quad (6.3)$$

kde b_k je konečná šířka výkovku, [m]

h_0 - výchozí výška polotvaru, [m]

φ - průřezový ukazatel.

Šířka kovadel B se volí s přihlédnutím k výchozí výšce polotovaru h_0 a konečné šířce výkovku b_k :

$$1,5b_k \geq B = (0,5 \text{ až } 0,6) h_0 \quad (6.4)$$

Aby se dosáhlo hladkého povrchu výkovku bez přeložek, váže se délka záběru k šířce kovadla B a absolutnímu úběru ϵ_n :

$$\frac{\Delta h}{2} \leq l_z = (0,4 \text{ až } 0,8) B \quad (6.5)$$

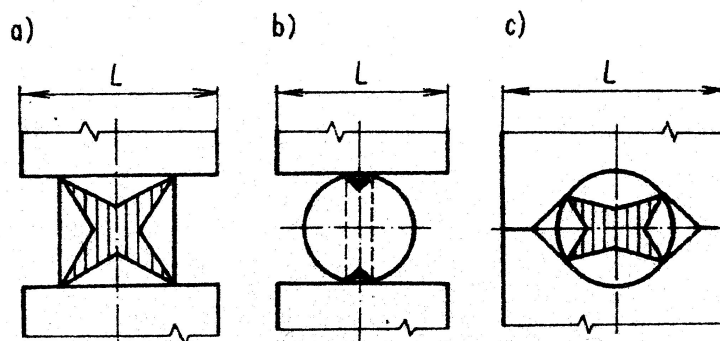
Ke zrovnoměrnění deformace se doporučuje prodlužovat s přesazováním hranic pásma deformace, tj. s překrýváním záběrů v každém následném průchodu.

Úhel hranění ω , který má významný vliv na postup prodlužování, se volí v rozsahu pro výkovky:

pravoúhlého průřezu $\omega = 90^\circ$,
kruhového průřezu $\omega = 60$ až 75° .

6.1.2 Základní způsoby prodlužování

Prodlužování výkovků pravoúhlého průřezu na rovných kovadlech s tvarovou změnou čtverec-obdélník-čtverec. Tímto příznivým tvarem pásma deformace, vlivem jeho velké stykové plochy (obr.6.2a) se zabezpečuje proniknutí deformačního účinku až do osy prodlužovaného tělesa.

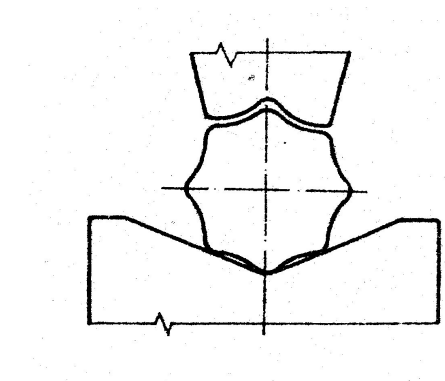


Obr. 6.2. Tvar pásma deformace při prodlužování výkovků
a) pravoúhlého průřezu na rovných kovadlech, b) kruhového průřezu na rovných kovadlech,
c) kruhového průřezu na tvarových kovadlech

Prodlužování výkovků kruhového průřezu na rovných kovadlech se vyznačuje se nepříznivým tvarem pásma deformace (obr.6.2b). Doporučuje se prodlužovat zpočátku podle tvarové změny čtverec-obdélník-čtverec a teprve v okamžiku přibližné rovnosti strany čtverce a konečného průměru výkovku se provede překování na osmihranný a posléze kruhový průřez.

Kromě uvedených způsobů se používá prodlužování výkovků kruhového průřezu na tvarových nebo kombinovaných kovádlech (obr. 6.2c). Tento způsob se vyznačuje větší stykovou plochou, to má příznivý vliv na stav napjatosti, omezuje šíření, zvyšuje se tvarová dokonalost a povrchová jakost výkovku. Zanedbatelné není ani zvýšení produktivity kování o 20 až 40 % proti rovným kovádlům.

Velké ingoty lze prodlužovat se záměrně ochlazeným povrchem. Po příčném průřezu se vytvoří velký deformační gradient s výraznou tlakovou napjatostí v ose ingotu, tím se zintenzivňuje uzavírání vnitřních necelistvostí a lze snížit stupeň prokování až o 1/3. Postup je následující. Ingot zahřátý na horní kovací teplotu se ochladí tak, aby mezi jeho osou a povrchem vznikl teplotní spád 250 až 350 °C. Následuje prodlužování na kovádlech poměrným úběrem s 7 %, (obr. 6.7) . Po této operaci následuje obvyklé prodlužování.



Obr.6.7. Kovadla k prodlužování ingotů se záměrně ochlazeným povrchem

Rozměrové změny při prodlužování polotovaru pravoúhlého průřezu na rovných kovádlech se dají v jednotlivých průchodech vypočítat prostřednictvím stupně prodlužování :

$$K_i = \frac{1}{1 - \varepsilon_i(1 - f_i)} \quad (6.6)$$

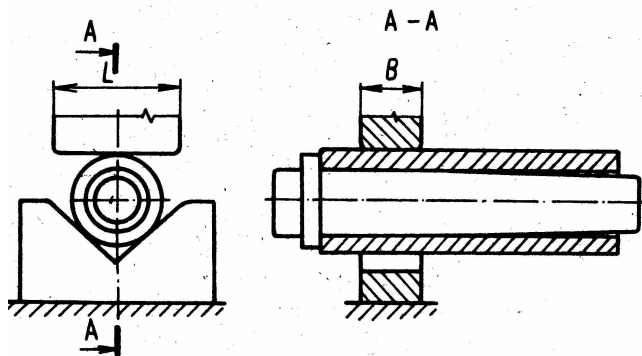
kde ε_i je poměrný výškový úběr v i-tém průchodu,
 f_i - ukazatel šíření v i-tém průchodu. Závisí na délce záběru l_z a šířce polotovaru v předchozím průchodu b_{i-1} (tab. 1).

Tabulka 1. Hodnoty ukazatele šíření f

l_z/b_{i-1}	0,4	0,5	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,5
f	0,19	0,20	0,21	0,23	0,27	0,32	0,37	0,40

6.1.3 Prodlužování na trnu

Zařazuje se do technologického postupu při kování dutých těles. Vyděrovaný předkovek se nasazuje na mírně kuželovitý prodlužovací trn a prodlužuje se mezi kovádky podle stejných zásad jako plný výkovek s tím rozdílem, že prodlužovací trn plní funkci tuhé výplně, která rozčleňuje pásmo deformace na dvě dílčí oblasti mezi kovádky a trnem (obr. 6.8).

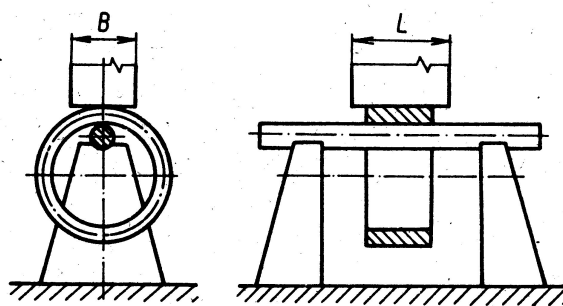


Obr. 6.8. Prodlužování na trnu

Šířka kovadel a délka záběru se volí poloviční ve srovnání s prodlužováním plných výkovků. Pokud se tloušťka stěny výkovku označí t a průměr trnu D_p , pak při $t < D_p/2$ se prodlužuje na tvarových kovadlech a při $t > D_p/2$ lze prodlužovat na tvarových nebo kombinovaných kovadlech.

6.1.4 Rozkování na trnu

Používá se při kování kroužků, obr. 6.9. Vyděrovaný předkovek se kove mezi horním kovadlem a rozkovacím trnem, který plní funkci dolního kovadla. Po každém úderu se zmenšuje plocha pásma deformace, v němž se výrazně zmenšuje tloušťka a mírně zvětšuje šířka. Následkem těchto rozměrových změn se postupně zvětšuje vnitřní a vnější průměr rozkovávaného výkovku.



Obr. 6.9. Rozkování na trnu

Dosažení kroužku požadovaných rozměrů je podmíněno správným stanovením rozměrů děrovaného předkovku na základě součinitele šíření. Mezi výškou předkovku h_p a výškou výkovku h platí vztah :

$$h_p = \frac{h}{\beta} \quad (6.7)$$

Předběžný vnitřní průměr předkovku se vypočítá :

$$d_{pa} = 144 \sqrt{\frac{m_v}{h_p}} \quad (6.8)$$

kde m_v je hmotnost výkovku (kg).

Vybere se děrovací trn o průměru $D_d < d_{pa}$ a vypočítá se jeho vnější průměr d_p :

$$d_p = 411 \sqrt{\frac{m_v}{h_p} + d_p} \quad (6.9)$$

Předběžný průměr rozkovacího trnu musí splňovat podmínku:

$$D_{r1} = 0,92d_p \quad (6.10)$$

a jeho skutečný průměr D_r se vybírá tak, aby $D_r < D_{r1}$.

6.1.5 Výběr tvářecího stroje

Pro výpočet deformační síly při prodlovování na hydraulickém lisu lze použít vztah :

$$F = v\psi\sigma_p \left(11 + 0,17 \frac{l_z}{h_o} \right) b_o \quad (6.11)$$

kde v je součinitel tvaru kovádky (pro rovná kovádky $v = 1$, pro tvarová kovádky $v = 1,25$);
 l_z - délka (mm);

h_o , b_o - výchozí výška a šířka prodlovovaného polotovaru (m);

ψ , σ_p - stejný význam jako u vztahu (5.8).

Hmotnost beranu při prodlovování na bucharu se určí :

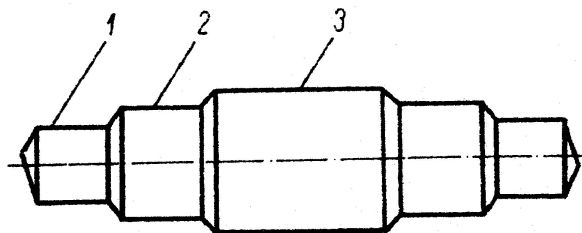
$$m_b = 1,7 \cdot 10^5 \left(1 + 0,17 \frac{l_z}{h_o} \right) v\sigma_p \varepsilon h_o b_o l_z \quad (427)$$

kde m_b je hmotnost beranu (kg)

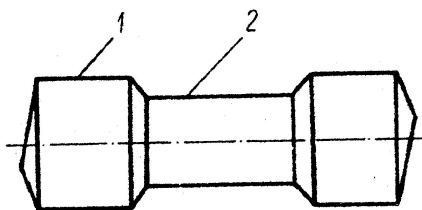
ε je poměrný výškový úběr v prvním průchodu; $\varepsilon = 0,1$ až $0,2$.

6.2 Osazování a prosazování

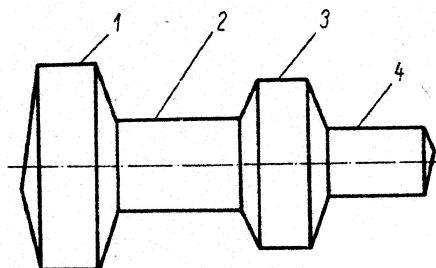
V podstatě se jedná o prodlovování vymezených částí výkovku. Osazuje se na koncových částech, kde vzniká osazení (obr. 6.10), prosazuje se na nekoncových částech výkovku, kde vzniká prosazení (obr. 6.11). Ve zvláštním případě mohou na výkovku vzniknout příruby (obr. 6.12).



Obr. 6.10. Základní tvar osazeného výkovku
1 - koncové osazení; 2 - přilehlé osazení; 3 – výstupek



Obr. 6.11. Základní tvar prosazeného výkovku
1 - výstupek; 2 – prosazení

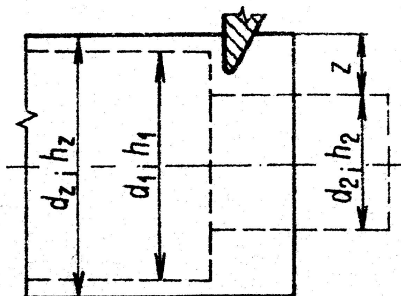


Obr. 6.12. Základní tvar přírubového výkovku
1 - koncová příruba, 2 - prosazení; 3 - středová příruba; 4 - koncové osazení

Obě operace se uplatňují u plných a dutých výkovků podélných, jejichž průřez se po délce stupňovitě mění. Pro osazování a prosazování je příznačné místní zeslabení průřezu v rovině osazování, prosazování. Původní rozměr d_1 , popřípadě h_1 , se proto zvětšuje na tzv. zabírací rozměr d_z (popřípadě h_z) podle obr. 6.13. Pro výpočet zabíracího průměru se používá vztah :

a) pro výkovky kruhového průřezu

$$d_z = d_1 + \frac{d_1 - d_2}{7} \quad (6.12)$$



Obr. 6.13. Určení zabíracích rozměrů při osazování a prosazování

b) pro výkovky pravoúhlého průřezu

$$h_z = h_1 + \frac{h_1 - h_2}{7} \quad (6.13)$$

V závislosti na zábíracím rozměru (d_z , h_z) a míře osazování z (obr. 6.13) lze osazovat třemi způsoby:

1. jen kovádkem,
2. naznačením kruhovou příložkou o průměru D_p a kováním,
3. naznačením kruhovou příložkou, zaseknutím tříhrannou příložkou a kováním, přičemž hloubka zatlačení příložek z' do osazovaného polotovaru je omezena vztahem

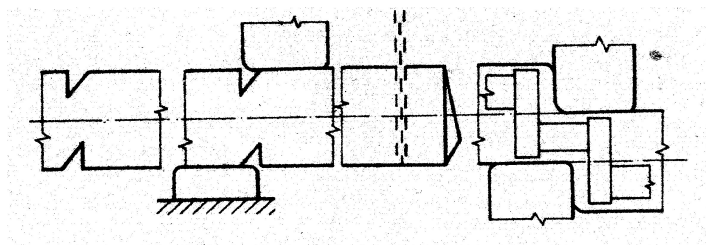
$$\frac{2}{3}z \geq z' \geq \frac{1}{2}z \quad (6.14)$$

Prosazovat lze jen dvěma způsoby:

1. naznačením kruhovou příložkou a kováním,
2. naznačením kruhovou příložkou, zaseknutím tříhrannou příložkou a kováním.

6.3 Přesazování

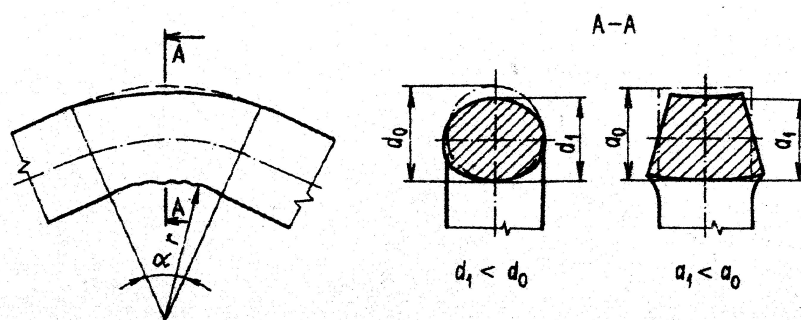
Přesazování záleží u příčném přemístění vymezeného objemu kovaného polotovaru. Podélná osa vzniklého přesazení je rovnoběžná s podélnou osou zbývajících částí výkovku. Používá se při kováni klikových hřídelů a podobně tvarovaných výkovků. Přípravné úkony, jsou obdobou osazování s tím rozdílem, že průřezový rozměr kovaného polotovaru (průměr) se před přesazováním zvětšuje až o 25 %. Rozhodující stadia této operace přibližuje obr. 6.14.



Obr. 6.14. Schéma přesazování

6.4 Ohýbání

Ohýbáním se zakřivuje podélná osa výkovku, čímž se mění tvar jeho příčného průřezu v pásmu deformace (obr. 6.15), a to tím výrazněji, čím větší je tloušťka ohýbaného polotovaru t , menší poloměr ohybu r a větší úhel ohybu α . Tlaková napětí na vnitřním obrysu výkovku vedou ke vzniku zvrásnění, tahová napětí na vnějším obrysu mohou vést ke vzniku příčně orientovaných trhlin. Deformací neovlivněná neutrální osa se posouvá k vnitřnímu obrysu ohnutého výkovku. Pokud poloměr ohybu $r < (1 \text{ až } 1,5)t$, pak neutrální osa leží ve vzdálenosti $t/3$ od vnitřního obrysu.

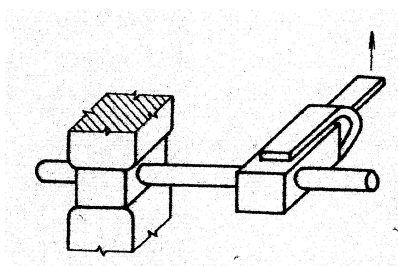


Obr.6.15. Změna tvaru a rozměrů pásma deformace při ohýbání polotovaru kruhového a čtvercového průřezu

Zeslabení příčného průřezu se čelí zesílením výchozího polotovaru v pásmu deformace. Ohýbání se uplatňuje při výrobě háků, kotev, třmenů, táhel apod. Operace se vesměs uskutečňuje v oblasti dolních kovacích teplot (850 až 950 °C), pomocí jednoduchých přípravků.

6.5 Zkrucování

Podstatou zkrcování je pootočení vymezené části výkovku vůči sousední části výkovku o určitý úhel kolem společné osy (obr. 6.16). Čím větší je průměr zkrcované části a čím větší je úhel zkroucení, tím výraznější tahová napětí vzniknou na povrchu. Úhel zkroucení se stanoví s přihlédnutím k tvařitelnosti oceli. Obvykle je menší než $\alpha = 90^\circ$. Zkrcování je doplňkovou operací při dokončování klikových hřídelů.



Obr. 6.16. Schéma zkrcování

Síla k vyvození potřebného krouticího momentu se vypočítá ze vztahu

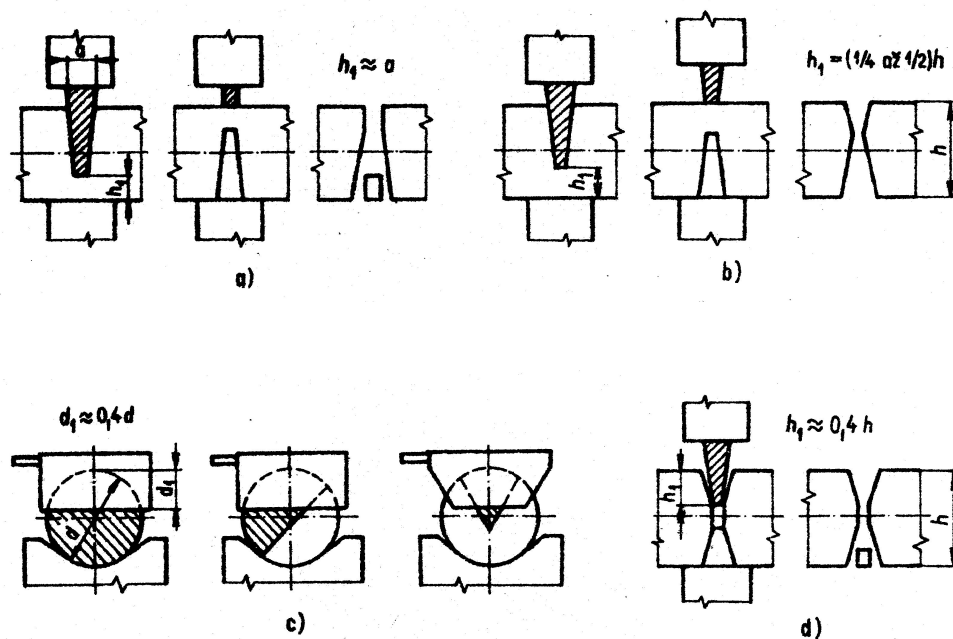
$$F = 0,13 \frac{d^3 \sigma_p}{L \cos \alpha} \quad (6.15)$$

kde F je síla v MN

d je průměr výkovku v místě zkrucování (mm), σ_p - přirozený deformační odpor oceli (MPa), L - délka ramena vidlice (mm), α - úhel zkroucení ($^\circ$).

6.6. Sekání

Sekání se uplatňuje při dělení výchozího polotovaru na špalky nebo při oddělování přebytečného a odpadového materiálu od výkovků. Sekáč vytváří štíhlé pásmo deformace, převládají v něm přídavná tahová napětí, která urychlují rozdělení polotovaru v rovině sekání. Výkovky pravoúhlého průřezu se sekají postupně z jedné, ze dvou, nebo ze čtyř stran, polotovary kruhového průřezu ze tří stran (obr. 6.17). Při čtyřstranném sekání je sekaná plocha nejčistší a téměř bez otřepu, který je vesměs průvodním znakem zbývajících způsobů sekání.



Obr. 6.17. Základní způsoby kovářského sekání
a) jednostranné, b) oboustranné, c) třístranné; d) čtyřstranné

Otázky:

1. Jak můžete charakterizovat základní operace volného kování?
2. Jak vypočítáte deformační sílu a práci při prodlužování ?
3. Jak stanovíte tvarové změny při prodlužování pravoúhlých průřezů na rovných kovádlech ?

4. V jakém intervalu se používá poměrná délka záběru ?
-

Úlohy k řešení :

1. Vypočítejte optimální, poměrnou délku záběru pro pravoúhlý průřez s výškou $a = 700$ mm.
 2. Vypočítejte deformační sílu a deformační práci při prodlužování pravoúhlého průřezu 700×500 mm.
Polotovar je z oceli tř. 12 600.
-

Literatura k dalšímu studiu:

SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.

GREGER, M. - SOMMER, B.: Modelluntersuchungen zum Werkstofffluss beim Lochen von Freiformschmiedestücken. Neue Hütte, 1984, 1, 13.

ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL/ALFA. Praha 1988, 520 s..

7. Technologický postup kování volných (podélných) výkovků

Členění kapitoly :

- Sestrojení tvaru výkovku
- Výpočet hmotnosti výkovku a ingotu
- Stupeň prokování
- Technologický postup kování



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Seznámíte se zásadami pro určení optimálního tvaru výkovku
- Dokážete zpracovat technologický postup kování
- Budete umět vypočítat deformační síly
- Budete umět vypočítat hmotnost výkovku a hmotnost vstupního polotovaru



Výklad

6.1 Tvar výkovku

Nositelům výchozí informace je výkres výrobku. Jeho rozměry se zvětšují nebo zmenšují o kovářský přídavek, tj. přídavek materiálu na plochách, které se obrábějí. Kovářský přídavek zahrnuje :

1. přídavek na obrábění - přídavek materiálu na obráběném povrchu výrobku nezbytný k dosažení jeho vyhovující povrchové jakosti,

2. přídavek technologický - přídavek materiálu, jímž se zjednodušuje tvar výrobku tak, aby se dal hospodárně vykovat,

3. přídavek na tvarovou složitost - přídavek materiálu na osazené části takového výkovku, u něhož je poměr průměrů nebo tloušťek sousedních částí větší než 1,6.

U výkovků, které se tepelně zpracovávají se ještě přidává hrubovací přídavek, zvláštní přídavek materiálu na povrchu výrobků, které se tepelně zpracovávají v hrubovaném stavu.

U kovaných tyčí, podélných výkovků a dutých těles se přidává ještě materiál na úchylku geometrického tvaru v podobě bočního úkosu výkovku. Veškeré druhy materiálových přídavků i mezní úchyly rozměru se určují podle charakteristických rozměrů výrobků z norem, podle nichž se výkovky rozdělují do pěti základních tvarových skupin:

- kované tyče,
- výkovky podélné;
- kotouče a kruhové desky ,
- kroužky,
- dutá tělesa.

Charakteristickým rozměrem výrobku je průřezový rozměr a délka. Součástí norem jsou i další směrnice pro konstrukci výkovků.

Kromě obvyklého provedení se výkovky vyrábějí též v přesném provedení, které se vyznačuje menším kovářským přídavkem a zúženým tolerančním polem rozměrů Přesné výkovky se zhotovují po předchozí dohodě mezi výrobcem a odběratelem. Obdobnou dohodou je rovněž podmíněna konstrukce tvarově složitých výkovků, které nelze zařadit do žádné z uvedených pěti skupin výkovků.

7.2 Materiálová bilance

Hmotnost výchozího polotovaru s protvářenou strukturou se vypočítá ze vztahu :

$$m_b = \frac{m_{vt}}{\eta} 100 \quad (7.1)$$

kde m_o je hmotnost výchozího materiálu (kg),
 m_{vt} je teoretická hmotnost výkovku (kg),
 η - využití výchozího polotovaru (%),

$$m_{vt} = k m_{vj} \quad (7.2)$$

kde k je tvarový součinitel, který zahrnuje kov v bočních úkosech, koncovém zaoblení a povrchových nerovnostech výkovku; podle druhu výkovku $k = 1,04$ až $1,24$,
 m_{vj} - jmenovitá hmotnost výkovku, která se vypočítá ze jmenovitých rozměrů výkovku (kg);

$$\eta = [100 - (o + t)] \quad (7.3)$$

o je podíl opalu z celkové hmotnosti výchozího polotovaru [%]; pro první ohřev $o_1 = 2 \%$, pro každý další ohřev $o_{2,3,\dots,n} = 1,5 \%$,
 t - podíl technologického odpadu z celkové hmotnosti výchozího polotovaru [%];
 při děrování podle vztahu (5.11)

Při výběru ingotu se používá vztah (5.1). K výkovku o teoretické hmotnosti m_{vt} se pak vybírá ingot o užité hmotnosti $m_{uz} > m_{vt}$.

Výpočet rozměrů válcovaného polotovaru závisí na druhu první kovářské operace, kterou se polotovar zpracovává. Pokud je to prodlužování je to vzorec :

$$S_o = (1,3 \text{ až } 1,5) S_v \quad (7.4)$$

kde S_o je vypočtený příčný průřez výchozího polotovaru [m^2],
 S_v - největší příčný průřezu výkovku [m^2].

Tvar příčného průřezu se volí čtvercový nebo kruhový. Podle zvoleného tvaru a hodnoty S_o se vybere z výchozího programu válcoven polotovar o průřezové ploše

$$S_b \geq S_o \quad (7.5)$$

U výchozího polotovaru, který se nejdříve pěchuje, se vypočítá jeho tloušťka ze vztahu

$$t_o = k^3 \sqrt{\frac{m_b}{S_o}} \quad (7.6)$$

kde k je tvarový součinitel; pro čtvercový průřez $k = 0,05$, pro kruhový průřez $k = 0,054$,
 s_o - štíhlost výchozího polotovaru; $s_o \leq 2,5$.

Délka polotovaru se stanoví ze zákona stálosti objemu o hmotnosti :

$$l_o = \frac{m_b}{\rho S_o} \quad (7.7)$$

kde m_o je hmotnost polotovaru [kg],
 ρ je hustota [$kg \cdot m^{-3}$]
 S je průřez tyče [m^2]

6.2. Technologický postup kování volných výkovků z ingotu

Při kování podélných výkovků z polotovarů s lící strukturou je cílem dosažení požadovaných mechanických vlastností, tvaru a jednotlivých rozměrů výkovku. Návrh technologického postupu kování sestává z návrhu tvaru výkovku (kovářský náčrtek), z určení operačního schéma kování, v podstatě se vystačí se třemi základními schématy:

- kování jen prodlužováním,
- kování pěchováním a prodlužováním,
- kování dvojím pěchováním a prodlužováním.

Následuje doplnění vybraného schéma kování dalšími technologickými operacemi (ohřev, kování manipulačního čepu, atd.). Postup kování podélných výkovků je demonstrován na příkladu výkovku válce pro válcovnu za studena.

6.2.1 Kovářský náčrtek

Výkovek se zhotoví podle vypočítaných rozměrů, které se zaznamenávají na výkrese. Určují se přídavky na obrábění a technologické přídavky.

a) Přídavky na obrábění

Podle tvaru se obrobená součást zařadí do skupiny podélných výkovků. Návrh tvaru výkovků se provede podle ČSN 42 9011 (Výkovky ocelové volné v obvyklém provedení, podélné). Hrubovací přídavky pro jednotlivé tvary výkovků se určí z tabulek (tab. 7.1).

Tabulka 7.1. Hrubovací přídavky pro podélné výkovky

Průřezový rozměr výrobku [mm]	Délka výrobku [mm]							
	1000	1250	1600	2000	2500	3150	4000	5000
	až 1250	až 1600	až 2000	až 2500	až 3150	až 4000	až 5000	až 6300
200 až 250	9	9	10	11	12	14	16	19
250 až 315	10	11	11	12	14	15	17	20
315 až 400	12	12	13	14	15	17	19	22
400 až 500	14	14	15	16	17	19	21	24
500 až 630	16	17	18	19	20	22	24	26
630 až 800	20	20	21	22	23	25	27	30
800 až 1000	24	25	26	27	29	31	34	37
1000 až 1250	28	28	29	30	31	33	35	38
1250 až 1600	35	35	36	37	38	40	40	40

Přídavky na obrábění p_d , p_i a mezní úchytky (u_h , u_d) se stanoví z tabulek (tab. 7.2), nebo se vypočítají pomocí empirických vztahů.

Tabulka 7.2. Přídavky na obrábění

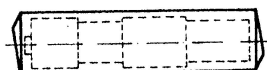
Průřezový rozměr výrobku (mm)		Délka výrobku (mm)									
		Násobek n pro určení p_d									
		2,5					3,0				
		$p_k \pm \dot{u}$									
přes	do	1000 až 1250	1250 až 1600	1600 až 2000	2000 až 2500	2500 až 3150	3150 až 4000	4000 až 5000	5000 až 6300	6300 až 8000	
200	250	20^{+10}_{-5}	21^{+11}_{-5}	22^{+10}_{-6}	24^{+12}_{-6}	25^{+13}_{-6}	27^{+14}_{-7}	28^{+14}_{-7}	30^{+15}_{-8}	32^{+16}_{-8}	
250	315	22^{+11}_{-6}	24^{+12}_{-6}	25^{+13}_{-6}	27^{+14}_{-7}	28^{+14}_{-7}	30^{+15}_{-8}	32^{+16}_{-8}	33^{+17}_{-9}	36^{+18}_{-9}	
315	400	25^{+17}_{-8}	27^{+18}_{-9}	28^{+19}_{-9}	30^{+20}_{-10}	31^{+21}_{-10}	33^{+22}_{-11}	35^{+23}_{-12}	37^{+25}_{-12}	40^{+27}_{-13}	
400	500	28^{+19}_{-9}	30^{+20}_{-10}	31^{+21}_{-10}	33^{+22}_{-11}	35^{+23}_{-12}	38^{+25}_{-13}	39^{+26}_{-13}	42^{+28}_{-14}	45^{+30}_{-15}	
500	630	31^{+21}_{-10}	33^{+22}_{-11}	35^{+23}_{-12}	37^{+25}_{-12}	39^{+26}_{-13}	42^{+28}_{-14}	44^{+29}_{-15}	47^{+31}_{-16}	50^{+33}_{-17}	
630	800	35^{+23}_{-12}	37^{+25}_{-12}	39^{+26}_{-13}	41^{+27}_{-14}	44^{+29}_{-15}	47^{+31}_{-16}	49^{+33}_{-16}	53^{+35}_{-18}	56^{+37}_{-19}	
800	1 000	39^{+26}_{-13}	41^{+27}_{-14}	44^{+29}_{-15}	46^{+31}_{-15}	49^{+33}_{-16}	52^{+35}_{-17}	55^{+37}_{-18}	59^{+39}_{-20}	62^{+41}_{-21}	
1 000	1 250	44^{+29}_{-15}	46^{+31}_{-15}	49^{+33}_{-16}	52^{+35}_{-17}	55^{+37}_{-18}	58^{+39}_{-19}	61^{+41}_{-20}	65^{+43}_{-22}	69^{+46}_{-23}	
1 250	1 600	48^{+32}_{-16}	51^{+34}_{-17}	55^{+37}_{-18}	58^{+39}_{-19}	61^{+41}_{-20}	65^{+43}_{-22}	68^{+45}_{-23}	72^{+48}_{-24}	77^{+51}_{-26}	

Pro podélné výkovky (obr. 7.1) je přídavek na průměr p_d a přídavek na délku p_l funkcí maximálního průměru a celkové délky obroběného výrobku:

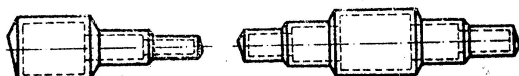
$$p_d = f(d_{\max}, l_{\Sigma}) \quad (7.8)$$

Základní tvary výkovků

a) výkovky neosazené



b) výkovky osazené jednostranně b₁) výkovky osazené oboustranně

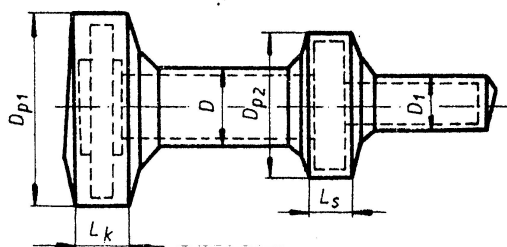


c) výkovky prosazené

d) výkovky prosazené a osazené



l) výkovky přírubové (osazené, prosazené)



Obr. 7.1 Základní tvary podélných výkovků

Rozměry výkovku, včetně zaokrouhlení průměrů na násobky pěti a délek na násobky deseti se stanoví ze vztahů:

$$\begin{aligned}
D_i &= d_i + p_{d-u_d}^{+u_h} \\
L_i &= l_i + p_{l-u_d}^{+u_h} \\
L_k &= l_k \\
L_\Sigma &= l_\Sigma + p_{l-u_d}^{+u_h}
\end{aligned}
\tag{7.9}$$

kde D_i, L_i je průměr a délka výkovku [mm]

l_i, d_i je délka obrobené součásti [mm]

L_k, l_k je délka osazení na výkovku a délka osazení na součásti [mm]

p_d, p_l je přídavek na obrábění [mm]

L_Σ, l_Σ je celková délka výkovku a součásti [mm].

Kromě přídavku na obrábění se rozměry výkovku upravují pomocí technologických přídavků

1. Míra osazení

$$10 \leq z \leq \frac{|u_h| + |u_d|}{2} \tag{7.10}$$

kde z je míra osazení, $z = \frac{D_2 - D_1}{2}$

u_h, u_d je horní a dolní mezní úchylka průměru [mm],

D_1, D_2 jsou rozměry přilehlých průměrů [mm].

Tvar výkovku se kontroluje vzhledem k osazeným částem.

2. Poměr průměrů přilehlých částí výkovku

$$D_2 / D_1 \leq 2,5 \tag{7.11}$$

kde D_1, D_2 je základní průměr výkovku a průměr koncového osazení [mm].

3. Délka koncového osazení

Vypočítá se z empirických vztahů :

$$L_1 = \cdot, \gamma \frac{D_\gamma^r}{D_1} \tag{7.12}$$

$$50 \leq L_1 \leq 0,1 L_\Sigma \tag{7.13}$$

kde L_1 je délka koncového osazení [mm],

L_Σ je celková délka výkovku [mm].

Pokud rozměry výkovku nevyhovují výše uvedeným vztahům, tak se operace osazování neprovede.

4. Velikost bočních úkosů

U podélných prosazených a osazených výkovků (kromě přírubových) musí splňovat podmínku

$$U < 20^\circ \quad (7.14)$$

Po upravení rozměrů a tvaru výkovku se sestrojí kovářský náčrtek, obr. 3.1.

5. Stanovení výchozího polotovaru

S přihlédnutím k rozměrům výkovku nelze použít válcovaný polotvar. Z vyráběné řady kovářských ingotů je potřebné vybrat vhodný ingot.

5.1 Hmotnost ingotu

Pro podélný výkovek tvaru válce pro válcování za studena (obr. 3.1) se určí :

$$m_i = m_v + m_z \quad (7.15)$$

kde m_i je teoretická hmotnost ingotu,
 m_v je hmotnost výkovku,
 m_z je hmotnost ztrát.

$$m_v = k (2m_1 + m_2) = k \cdot \rho (2V_1 + V_2) \quad (7.16)$$

kde $V_{1,2} = \pi D^2 \cdot L$ je objem dílčích částí výkovku vypočtený z jmenovitých rozměrů D_1, L_1 a D_2, L_2 ,
 k je tvarový součinitel,
 $m_{1,2}$ je jmenovitá hmotnost (nezahrnuje kov v přechodech mezi jednotlivými částmi výkovku a neposkytuje možnost kovat s využitím mezních úchylek) dílčích částí výkovku.

$$m_z = m_p + m_t + m_{h,s} \quad (7.17)$$

kde m_p je hmotnost ztrát propalem,
 m_t je hmotnost technologických odpadů, $m_{h,s}$ je hmotnost hlavy a paty ingotu.

$$m_p = m_i (p/100) \quad (7.18)$$

kde p je propal [%]. Pro počáteční ohřev $p_1 = 2 \%$, pro přihřevy: p_2 až $p_n = 1,5 \%$.

U podélných výkovků obvykle:

$$m_t = 0 \quad (7.19)$$

$$m_{h+s} = \frac{h+s}{100} \quad (7.20)$$

kde h, s je odpad od hlavy a spodku ingotu [%]; (h = 20 %, s = 5 %).

$$m_z = \frac{p+h+s}{100} m_l \quad (7.21)$$

$$m_l = m_v + \frac{h+s+p}{100} m_l = \frac{m_l}{1 - \frac{p+h+s}{100}} \quad (7.22)$$

$$m_l = \frac{m_v}{\eta} 100 \quad (7.23)$$

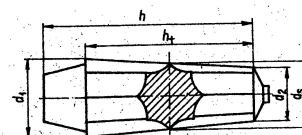
Kde $\eta = \left(1 - \frac{p+h+s}{100}\right) \cdot 100$ je využití ingotu v [%].

b) Rozměry ingotu se určí z tab. 7.3.

$$m_l^{sk} \geq m_l \quad (7.24)$$

$$\eta^{sk} = \frac{m_v}{m_l^{sk}} \quad (7.25)$$

Tabulka 7.3. Základní řada kovářských ingotů



Typ ingotu	Hmotnost (kg)				Úkos těla k_c (%)	Štíhlost těla h_t / d_s	Rozměry (mm)				
	těla	hlavy	paty	celková			h	h_t	d_s	d_1	d_2
8K 5,3	4 300	825	175	5 300	4,3	2,21	2 270	1 445	655	716	594
8K 6,7	5 400	1 070	230	6 700	4,2	2,18	2 405	1 545	710	774	646
8K 8,4	6 800	1 320	280	8 400	4,1	2,11	2 525	1 630	775	842	708
8K 10	8 500	1 650	350	10 500	4,1	2,07	2 720	1 740	840	911	760
8K 13	10 700	2 110	440	13 250	4,0	2,02	2 880	1 845	915	988	842
8K 17	13 500	2 900	600	17 000	3,9	1,95	3 135	1 950	1 000	1 076	924
8K 21	17 000	3 350	650	21 000	3,9	1,91	3 340	2 085	1 085	1 166	1 004
8K 27	21 500	4 600	900	27 000	3,8	1,89	3 565	2 230	1 180	1 265	1 095
8K 34	27 000	5 900	1 100	34 000	3,7	1,84	3 880	2 360	1 285	1 375	1 197
8K 43	34 000	7 600	1 400	43 000	3,7	1,79	4 115	2 505	1 400	1 494	1 306
8K 53	42 000	9 300	1 700	53 000	3,6	1,75	4 365	2 645	1 515	1 611	1 419
8K 64	50 000	11 850	2 150	64 000	3,6	1,72	4 680	2 770	1 615	1 714	1 516
8K 76	59 000	14 500	2 500	76 000	3,5	1,68	4 900	2 880	1 720	1 821	1 619
8K 91	70 000	18 000	3 000	91 000	3,5	1,63	5 160	2 990	1 840	1 944	1 736
8K 109	83 000	22 500	3 500	109 000	3,4	1,61	5 465	3 155	1 950	2 058	1 842
8K 130	98 000	27 800	4 200	130 000	3,4	1,60	5 805	3 305	2 070	2 182	1 958
8K 155	116 000	34 000	5 000	155 000	3,4	1,59	6 295	3 495	2 190	2 305	2 072
8K 185	137 000	42 000	6 000	185 000	3,3	1,57	6 620	3 650	2 330	2 451	2 209

Technologicky postup kování

1. Metalurgická stránka kování

Účelem je přeměna lící struktury ingotu na strukturu tvářenou, což vyžaduje dosáhnout optimálního stupně prokování PK. Obvykle se určí ze vztahu:

$$PK = A^n \cdot P^n \cdot K \geq 3 \quad (7.26)$$

kde A je pēchovací ekvivalent, P je stupeň napēchování, K je stupeň prodlužování, n je počet pēchování.

Podle tohoto základního vzorce je zřejmé, že lze použít operace pēchování a prodlužování v těchto variantách:

- a) prodlužování
- b) pēchování a prodlužování
- c) pēchování, prodlužování, pēchování, prodlužování

add. a)

$$n=0 \rightarrow A=1; P=1$$

$$PK = K \geq 3$$

$$K = \left(\frac{D_i}{D_v} \right)^2 \quad (7.27)$$

ad. b)

$$n=1; \rightarrow A=0,8; P=2,8$$

$$K \geq \frac{3}{A \cdot P} \quad (7.28)$$

$$D_i \geq 1,16 D_v$$

ad. c)

$$n=2; \rightarrow A=0,8; P=2,8$$

$$K \geq \frac{3}{A^2 \cdot P^2} \quad (7.29)$$

$$D_i \geq 0,774 D_v$$

kde D_i je střední průměr ingotu [mm],

D_v je maximální průměr výkovku [mm].

Dle D_v / D_v se vybere příslušná varianta kování.

2. Technologická stránka kování

Účelem je přiřadit k dříve vybrané variantě kování další kovářské operace, jimiž se dosáhne požadovaný tvar výkovku. V případě výkovku opěrného válce pro válcování za studena to bude osazování.

a) Sled jednotlivých operací

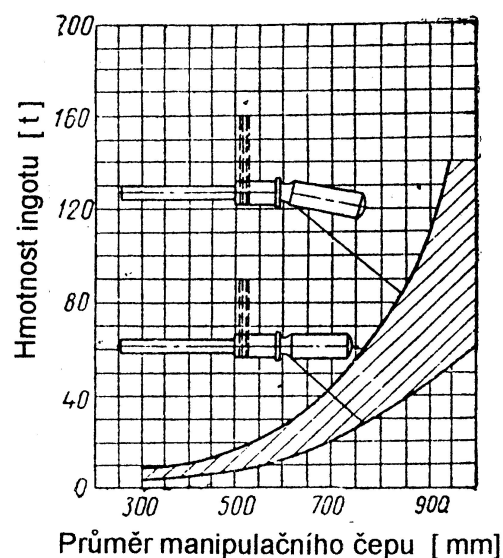
1. Ohřev na horní kovací teplotu

2. Kování manipulačního čepu z hlavy ingotu Rozměry manipulačního čepu splňují podmínku (obr. 7.2.):

$$D_{\text{č}} = f(m_i), L_{\text{č}} > 1,5D_{\text{č}}$$

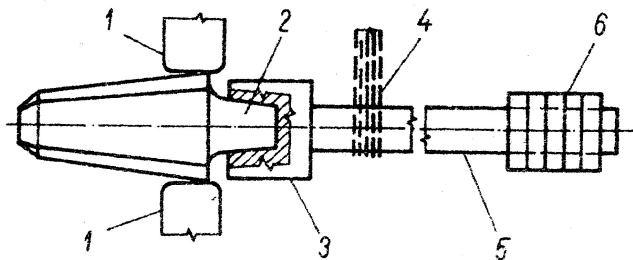
kde $D_{\text{č}}$ je průměr manipulačního čepu [mm],

$L_{\text{č}}$ je délka manipulačního čepu [mm].



Obr. 7.2. Určení průměru manipulačního čepu

Operace kování manipulačního čepu se používá v případech, pokud pracoviště lisu je pouze vybaveno kovacími jeřáby. Schéma zařízení pro manipulaci s ingoty a výkovky je uvedeno na obr. 7.3



Obr. 7.3. Zařízení pro manipulaci s těžkými ingoty a výkovky
1 - kovadlo; 2 - manipulační čep ingotu; 3 - objímka; 4 - Gallův řetěz; 5 - vahadlo; 6 – protizávaží

V jednom žáru se překovovou hrany ingotu (osmihranný průřez se změní na kruhový, kuželovitost těla ingotu zůstává zachována).

3. Přihřev na horní kovací teplotu

4. Pěchování ingotu na $P = 2,8$

5. Stanovení přibližných rozměrů předkovku po pěchování

$$P = \left(\frac{D_p}{D_i} \right)^2 \rightarrow D_p = D_i \sqrt{P} = 1,67 D_i \quad (7.30)$$

$$H_p \cdot D_p^2 = H_t \cdot D_i^2 \rightarrow H_p = \frac{H_t}{P} = 0,36 H_t$$

kde D_p je průměr napěchovaného předkovku [mm],
 H_p je výška napěchovaného předkovku [mm],
 H_t je výška těla ingotu [mm].

6. Prodlužování napěchovaného ingotu na průměr D_i

7. Naznačení a odseknutí odpadu od spodku ingotu

$$m_b = m_s + 0,03 m_t = \frac{\pi D_i^2}{4} \cdot L_o \cdot \rho \quad (7.31)$$

kde m_o je hmotnost odseknutého spodku ingotu [kg],
 m_s je hmotnost spodku ingotu [kg],
 m_t je hmotnost těla ingotu [kg].

$$L_o = 1,62 \cdot 10^5 \frac{m_b}{D_i^2} \quad (7.32)$$

kde L_o je odseknutá délka od spodku ingotu [mm].

8. Přihřev na horní kovací teplotu

9. Opakované pēchování na hodnotu $P = 2,8$

10. Prodlužování na zabírací průměr D_z :

$$D_z = D_2 + \frac{1}{7}(D_2 - D_1) \quad (7.33)$$

kde D_z je zabírací průměr [mm].

11. Výběr způsobu osazování

12. Označení tříhrannou příložkou. Hloubka zatlačení příložky se určí ze vztahu:

$$\frac{\gamma}{\gamma} z \geq h_z \geq \frac{1}{\gamma} z \quad (7.34)$$

kde h_z je hloubka zatlačené příložky [mm].

13. Určení zabírací délky

$$L_{I \text{ až } III} = \frac{V_{I \text{ až } III}}{S_z} = \frac{k \cdot V_{1 \text{ až } 3}}{S_z} \quad (7.35)$$

kde L_I , L_{II} a L_{III} jsou zabírací délky na předkovku s průměrem D_z [mm],
 S_z je příčný průřez předkovku o průměru D_z [mm²].

14. Vykování tvaru výkovku dle kovářského náčrtku a odseknutí odpadu od hlavy ingotu

Otázky:

1. Jakým postupem sestojíte kovářský náčrtek
2. Jak stanovíte přídavky na obrábění ?
3. Co to jsou technologické přídavky
4. Proč při návrhu technologického postupu kování musíte stanovit stupeň prokování?

Úlohy k řešení :

1. Určete velikost přídavků na obrábění pro opěrný válec válcovací stolice. Válec má rozměry :
Průměr čepu $d_1 = 380$ mm, průměr těla válce $d_2 = 860$ mm, délka čepu $l_1 = 420$ mm, délka těla válce $l_2 = 1250$ mm

2. Nakreslete kovářský náčrtek pro výše uvedený opěrný válec.

Literatura k dalšímu studiu:

SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.

GREGER, M. - SOMMER, B.: Modelluntersuchungen zum Werkstofffluss beim Lochen von Freiformschmiedestücken. Neue Hütte, 1984, 1, 13.

8. ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ NA BUCHARECH

Členění kapitoly :

- Základní tvary zápusťkových dutin
- Jedno dutinové a více dutinové zápusťky
- Způsoby dělení válcovaných polotovarů v kovárnách



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete popsat tvar zápusťkových dutin
- Budete umět vypočítat základní parametry zápusťkových dutin
- Seznámíte se základními způsoby dělení vstupních polotovarů v kovárnách



Výklad

Tok kovu při zápusťkovém je omezen bočními stěnami dutiny v zápusťce. Polotovar se tvaruje za tepla nebo za polotepla. Zápusťkové kování se vyznačuje malým počtem operací :

- ohřev,
- kování,
- úprava výkovků,

a velmi krátkým pracovním časem. Při uplatnění indukčního ohřevu trvá ohřev desítky sekund a styk nástroje s tvářeným kovem zlomky sekundy. Mnohem delší jsou však časy nepracovní, především manipulační, které lze zkrátit mechanizací, automatizací, popř. robotizací výrobního pochodu. Vyvrcholením těchto intenzifikačních snah je pracoviště specializované na jeden druh výkovků, i když v různých velikostech (zalomené hřídele, ojnice, šrouby, fitinky, ložiskové kroužky, ozubená kola, řetězy aj.), které se kovou na plně automatizovaných výrobních linkách.

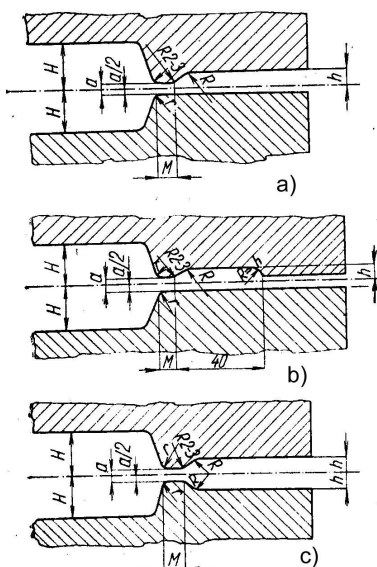
Základní stadia technologického postupu zápusťkového kování přibližuje schéma :

- výchozí polotovár
- dělení
- ohřev
- předkování
- kování na hotovo
- ostřížení výronku
- tepelné zpracování
- rovnání a kalibrace
- finální úpravy

Výchozím polotovarem jsou válcované tyče kruhového a čtvercového průřezu o tloušťce $t > 20$ mm. Rozměrově přesné výkovky se zhotovují z tažených tyčí kruhového průřezu.

Tvarově jednoduché zápustkové výkovky se mohou vykovat z výchozího polotovaru v jediné zápustkové dutině tzv. jednodutinovým kováním. Tvarově členitější výkovky se kovou z vhodně připraveného předkovku, který se zhotovuje volným kováním nebo na kovacíh na jiných tvářecích strojích, popř. postupovým kováním v přípravných a dokončovacích dutinách jediné zápustky tvářecího stroje. Přípravné dutiny se rozdělují na :
prodlužovací dutina, tvarovací dutina, ohýbací dutina, roler (dutina pro otáčivé kování),
utínka.

Prodlužovací dutina slouží k rozdělení materiálu v jednotlivých průřezích při současném prodlužování délky. Tvar prodlužovacích dutin je na obr. 1.



1. Prodlužování dutiny pro navazující kování v :
a) roleru, b) tvarovací dutině, c) dokončovací dutině

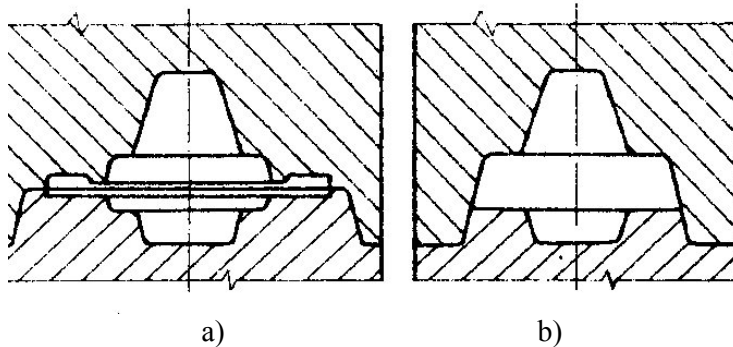
Výška dutiny se vypočítá ze vztahu (8.1), šířka dutiny b má být o 20 mm větší než strana, nebo průměr výchozího polotovaru.

$$h = (0,8 \text{ až } 0,9) \sqrt{S_{\min}} \quad (8.1)$$

kde h je výška dutiny [mm]

$S_{\min}$ je nejmenší průřez předkovku [mm²]

Dokončovací dutiny se kovem dokonale zaplňují (uzavřené dutiny na obr. 2b) nebo, se kovem mírně přeplňují (otevřené dutiny na obr. 2a), přebytečný kov se vytlačuje v dělicí rovině výkovku do výronkové drážky. Vzniká výronek, který se ostříhuje na ostříhovacím nástroji.



Obr. 2. Dokončovací zápusťkové dutiny: a) otevřené, b) uzavřené

Na výronek připadá největší podíl z celkových materiálových ztrát při zápusťkovém kování. V závislosti na tvarové složitosti výkovku se pohybuje kolem 8 až 30 % hmotnosti výkovku. Tato nevýhoda je zcela vyrovnána příznivými vlivy výronku na průběh kování:

1. Svým tvarem, především malou tloušťkou a velkou šířkou, zvyšuje odpor proti vytékání kovu ze zápusťkové dutiny. Vytváří se příznivý stav napjatosti (prostorová tlaková napjatost), který podporuje dokonalé zaplnění dutiny.
2. Výronkem se vyrovnávají objemové rozdíly výchozího polotovaru (jejich velikost závisí na způsobu výroby výchozího polotovaru a jeho dělení před tvářením), i objemové rozdíly mezi polotovarem a zápusťkovou dutinou, jejíž objem se postupně zvětšuje následkem opotřebení;
3. Výronkem se tlumí rázy při vzájemném dosednutí jednotlivých dílů zápusťky, kdy je zápusťka při kování na rázových tvářecích strojích dynamicky namáhána.

Materiálovou ztrátu ve výronku a jeho následné odstranění ostřížením lze vyloučit kováním v uzavřených zápusťkách (bezvýronkové kování), které je však technologicky náročnější, především z důvodů:

1. Používá se jen pro osově souměrné výkovky,
2. Zvýšené nároky na přesnost dělení výchozího polotovaru,
3. Objemové úchyly výchozího polotovaru se projevují kolísáním výškových rozměrů výkovku,
4. Vyšší zmetkovitost následkem nedostatečného zaplnění kovací dutin,
5. Výkovky mohou mít čelní otřep, který se musí odstranit broušením,

6. Větší namáhání zápustky vyžaduje masivnější konstrukci nástroje.

8.1 Výchozí polotovary

Pro výrobu zápustkových výkovků se používají polotovary připravené válcováním za tepla, např.:

- bloky ocelové čtvercové (140 až 300 mm),
- sochory ocelové čtvercové (40 až 130 mm),
- sochory kruhové (ϕ 50 až 290 mm),
- tyče kruhové v obvyklém provedení (ϕ 50 až 210 mm),
- tyče kruhové v přesném provedení (ϕ 50 až 160 mm),
- tyče čtvercové (30 až 150 mm).

Do kováren se výchozí polotovary dodávají v obchodních délkách (2 až 12 m). Výchozí polotovary se dělí na kratší vsázkové polotovary (špalky, přířezy). Jejich hmotnost odpovídá hmotnosti výchozího polotovaru pro daný výkovek. Tyčové polotovary se před kováním dělí s výjimkou těch případů, kdy dělení je nedílnou součástí technologického postupu kování na tvářecím stroji (např. kování z tyčí na vodorovných kovacíh strojích). Používají se následující způsoby dělení tyčových polotovarů: řezání, stříhání a lámání.

8.2.1 Řezání

Řezáním se dělí tyčové polotovary na různých pilách. Polotovary lze řezat i kyslíko-acetylenovým plamenem. Tento způsob se však doporučuje u polotovarů větších průřezů.

Řezání na pilách se uplatňuje především u neželezných kovů a slitin, které nelze dělit stříháním. Jejich nízká pevnost vede ke vzniku nežádoucích otlaků na koncových částech nastříhaných polotovarů. Na pilách se řezou tyčové polotovary z vysokouhlíkových a legovaných ocelí, nebo z běžných konstrukčních ocelí, ale o velkém průřezu. Řeže se za studena. Pevnost řezaného materiálu $R_m < 900$ MPa.

V místě řezu vzniká materiálový odpad. Jeho množství je dáno tloušťkou řezného nástroje (1 až 8 mm). Ve srovnání s ostatními způsoby dělení se řezání vyznačuje nízkou výkonností a vysokou spotřebou řezných nástrojů, současně však vylučuje jakoukoli deformaci řezaného polotovaru, zabezpečuje vysokou jakost řezné plochy, její kolmost k podélné ose polotovaru a minimální rozměrové úchyly délky nařezaných polotovarů. S výhodou se uplatňuje při dělení polotovarů pro přesné zápustkové výkovky, pro výkovky kované v uzavřených zápustkách a pro pěchované výkovky. V praxi kováren se používají rychloběžné pily, na nichž se současně řeže až 30 tyčí o průměru 60 mm.

Na rámových pilách (délka pilového listu 300 až 700 mm, tloušťka 1 až 3 mm) vzniká menší prořez, ale na úkor nízké řezné rychlosti a možného zešikmení řezné plochy. Pásových pil s o tloušťce pásu 1,8 mm se používá především k dělení neželezných kovů, kde přispívají k vyšší jakosti řezné plochy a k nižšímu prořezu.

Nejdokonalejší řezné plochy se získávají na kotoučových pilách o průměru kotouče 200 až 800 mm a tloušťce 3 až 8 mm. Menší kotouče (do průměru 300 mm) jsou celistvé, větší kotouče mají vsazené zuby, buď jednotlivě, nebo v segmentech, přičemž kotouč bývá z uhlíkové oceli, segmenty z rychlořezné oceli. Doba řezání se vypočítá ze vztahu:

$$t = \frac{S_o}{p_z z n} \quad (8.1)$$

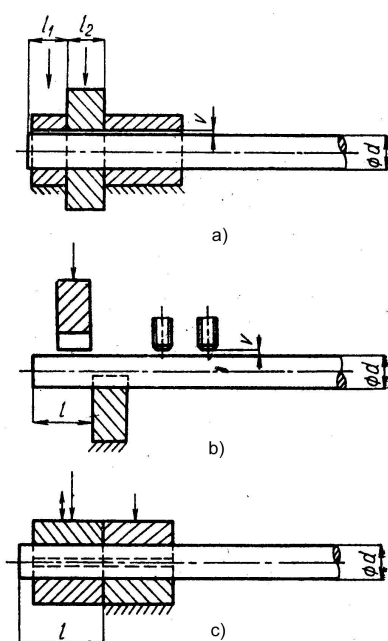
kde s_o je tloušťka řezané tyče [mm],
 p_z – rozteč zubů [mm]; $p_z = 0,05$ (tvrdá ocel) až 0,2 (měkká ocel),

z - počet zubů pilového kotouče,
n - otáčky pilového kotouče [min^{-1}].

Výrazného zkrácení doby řezání se dosahuje na třecích a elektromechanických pilách, které se však v kovárnách příliš nerozšířily. K perspektivním způsobům lze počítat elektrojiskrové řezání a řezání laserem.

8.2.2 Stříhání

Stříhání je výkonným způsobem dělení tyčových polotovarů, kdy v místě stříhu nevzniká žádný odpad. Přes nevýhodu v podobě snížené jakosti střížné plochy (není zcela rovná a kolmá k podélné ose tyče) je nejrozšířenějším způsobem dělení tyčových polotovarů, obr. 3.



Obr. 3. Způsoby stříhání

a) pro dva špalíky současně, b) otevřený stříh, c) uzavřený stříh

Na nůžkách se stříhají ocelové tyče o tloušťce $s_o > 15 \text{ mm}$. Nejkratší délka stříhaného polotovaru l_o je vzhledem k tloušťce s_o omezena vztahem :

$$l_o \geq 0,6s_o \quad (8.2)$$

Na klikových lisech se v přípravech stříhají ocelové tyče malé tloušťky ($s_o < 40 \text{ mm}$) na polotovary o délce :

$$l_o \geq 0,3s_o \quad (8.3)$$

Převážná většina nízkouhlíkových a nízkolegovaných ocelí s pevností $R_m < 600 \text{ MPa}$ a tloušťkou $s_o < 150 \text{ mm}$ se stříhá za studena. Tyče z nízkouhlíkové oceli se v některých

případech ohřívají na teplotu 300 °C, (tj. do oblasti křehkosti) a snadno se stříhá bez velkých otlaků a za příznivého vzhledu střížné plochy. Na stejnou teplotu se ohřívají tyče ze středně uhlíkové oceli o velké tloušťce ($s_o > 120$ mm), aby se snížila střížná síla.

Vysokouhlíkové a legované oceli se ohřívají na teploty $t > 300$ °C. Tím se sníží střížná síla a zabrání se vzniku trhlin při stříhání. Obvykle se volí teploty v rozmezí 300 až 400 °C v závislosti na chemickém složení oceli a na tloušťce tyče.

Střížná síla pro stříhání na nůžkách se stanoví ze vztahu :

$$F = k R_m S \quad (8.4)$$

kde F je síla [MN]

k je součinitel zahrnující otupení nožů a vzájemný vztah pevnosti ve stříhu a pevnosti v tahu stříhaného materiálu; $k = 1,02$ až $1,36$,

R_m - pevnost v tahu při teplotě stříhání [MPa],

S - je průřez polotovaru [m^2].

Síla pro stříhání v přípravcích na klikových lisech se vypočítá rovněž podle vztahu (8.4). S přihlédnutím k větší pracovní rychlosti klikových lisů se zvyšuje o 10 až 20 %.

Kromě jmenovité síly je charakteristickou veličinou největší průřezová plocha tyčového polotovaru o $R_m = 440$ MPa, kterou lze na daných nůžkách stříhat. Pokud se tato plocha označí S_{ml} (smluvní), tak průřezová plocha tyče z materiálu o R_m větším, nebo menším než 440 MPa se vypočte ze vztahu :

$$S_o = 440 \frac{S_{ml}}{R} \quad (8.5)$$

a tloušťka tyče se určí pomocí vztahu :

$$s_o = 21 \frac{S_{ml}}{\sqrt{R_m}} \quad (8.6)$$

kde S_{ml} je největší tloušťka smluvní tyče o $R_m = 440$ MPa, kterou lze na daných nůžkách stříhat (mm).

8.2.3 Lámání

Lámání je založeno na koncentraci napětí, která vznikají při ohybu tělesa opatřeného zářezem (obr. 4). Koncentrace napětí u kořene vrubu způsobuje pokles plasticity, a tím i křehké porušení kovu. Takto iniciovaná trhlina se šíří rychlostí až 1000 ms^{-1} .

Lámáním se dělí se tak tyče o tloušťce $s_o = 70$ až 300 mm, štíhlosti $l_o/s_o > 1,2$ z oceli o vyšší pevnosti ($R_m > 700$ MPa). K přednostem lámání, které se uskutečňuje za studena na klikových, výstředníkových nebo hydraulických lisech, patří nižší energetická náročnost proti stříhání, vysoká výrobnost a současná kontrola jakosti materiálu podle vzhledu lomové plochy, která však není ideálně rovná.

Zářezy se dělají na pilách nebo kyslíko-acetylenovým hořákem. Šířku zářezu b určuje tloušťka pilového kotouče; u hořáku $b = 6$ až 8 mm. Hloubka zářezu :

$$\Delta s_o = k \sqrt[3]{S_o} \quad (8.7)$$

kde k je součinitel závislý na plasticitě oceli; $k = 1$ až 2 , nižší hodnoty se volí pro oceli s nižší plasticitou.

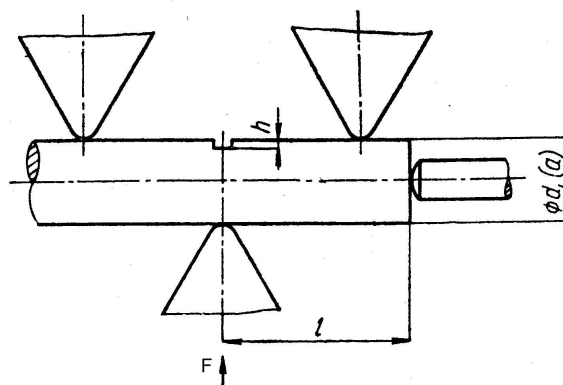
Větší hloubka zářezu snižuje energetickou náročnost lámání, avšak zhoršuje jakost lomové plochy. Síla potřebná k lámání tyče se vypočítá ze vztahu :

$$F = k s_o^3 \frac{Rm}{l_o} \quad (8.8)$$

kde F je síla v [MN]
 l_o je délka špalku [m]
 s_o je tloušťka [m]
 k je tvarový součinitel (pro kruhový průřez $k = 0,16$ až $0,36$,
 pro čtvercový průřez $k = 0,28$ až $0,63$).

8.2.4 Přesnost dělení

Délková přesnost jednotlivých polotovarů závisí na rozměrech jejich příčného průřezu a na způsobu dělení. Například při stříhání na nůžkách vede koncový úkos k zvýšení mezní úchytky na délku o $1,5$ až 2 mm, posuv dorazu následkem nárazu tyče o $0,5$ až $1,0$ mm, vychýlení tyče z vodorovné polohy o $0,5$ až $0,8$ mm a odskok tyče od dorazu vede ke zkrácení polotovaru.



Obr. 4. Schéma lámání tyčových polotovarů

Mezní úchytky na délku dosahují při jednotlivých způsobech dělení velikosti (mm):

Řezání na pilách	± 0,25	až	± 0,75
Elektrojiskrové řezání	± 0,1	až	± 0,25
Anodomechanické řezání	± 0,1	až	± 0,5
Stříhání na nůžkách	± 1,0	až	± 5
Stříhání v přípravcích	± 0,3	až	± 0,75
Lámání na lamačích	± 1,0	až	± 3

Délkové úchytky spolu s úchytkami na průřezové rozměry válcovaných polotovarů vedou k tomu, že hmotnostní rozdíly jednotlivých polotovarů dosahují 4,5 až 9 %, což brání většímu rozšíření přesného kování, především pak kování v uzavřených zápustkách. K snížení hmotnostních odchylek vedou dva způsoby:

1. Objednávat výchozí polotovary se zvýšenou rozměrovou přesností, což je prováděno zvýšením jejich ceny.
2. Vybavit nejrozšířenější dělicí stroj (nůžky) třídícím a dávkovacím zařízením, jímž se samočinně nastavuje poloha dorazu podle skutečného průřezového rozměru tyče tak, aby hmotnost nastříhaných polotovarů pro daný výkovek byla konstantní.

8.3 Zápustkové kování na bucharech

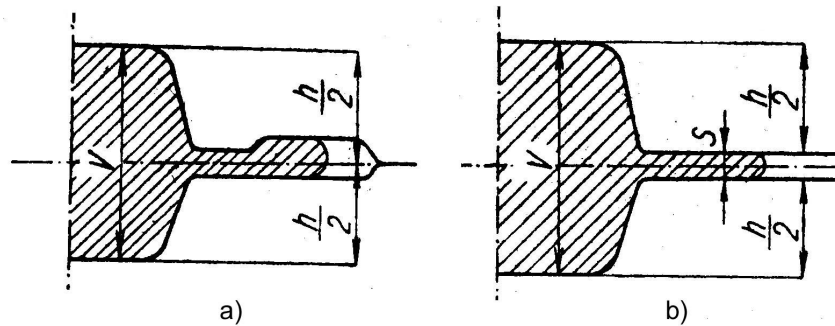
Kování na bucharech patří k nejrozšířenějším způsobům zápustkového kování. Používá se při výrobě v malých a středních sériích, a při kování tvarově a výškově velmi členitých, nesouměrných a výkovků. Kove se převážně v otevřených dutinách na bucharech různého konstrukčního provedení.

1. Parovzdušné buchary dvojčinné o hmotnosti beranu $m_b = 500$ až 25 000 kg, s manuálním ovládáním, poloautomatickým, nebo programovým řízením, s úderovou četností $n_u < 100 \text{ min}^{-1}$ jsou výhodné pro postupové kování.
2. Padací buchary vyvíjejí rázovou energii pouze volným pádem beranu ($m_b = 100$ až 2 500 kg, $n_u < 70 \text{ min}^{-1}$). Tento faktor omezuje jejich uplatnění na kování tvarově jednoduchých výkovků v jediné dokončovací dutině. Dokonalejším typem jsou buchary řetězové ($n_u < 100 \text{ min}^{-1}$), které svým programovým řízením jsou vhodné i pro postupové kování.
3. Protiběžné buchary s rázovou energií $W = 50$ až 450 kJ (výjimečně až 1000 kJ) jsou určeny pro jednodutinové kování nejtěžších zápustkových výkovků. S přihlédnutím k nízké úderové četnosti ($n_u < 50 \text{ min}^{-1}$) se vyznačují nižší výrobností.

8.3.1 Charakteristika zápustkového kování na bucharech

Tok kovu při kování na bucharech je ovlivněn vysokou dopadovou rychlostí beranu (až 9 m. s⁻¹) a postupným zaplňováním zápustkové dutiny několika po sobě následujícími údery. Rázový charakter kování podporuje uvolňování okují z povrchu tvářeného polotovaru a usměrňuje tok kovu do horního dílu zápustky, kde se přednostně umísťují vysoké výstupky a tenká žebra výkovku. Intenzivnější zaplňování horního dílu zápustky se přičítá velmi krátké době styku (řádově jde o setiny, někdy i tisíce sekundy) horního dílu zápustky s tvářeným kovem, který se tak méně ochlazuje a vyznačuje se nižším deformačním odporem. Finální tvar výkovku se získá v jednodutinové zápustce nebo v několika dutinách.

Jednodutinové kování se volí pro rozměrné výkovky a výkovky s vyšší hmotností (obr. 4)



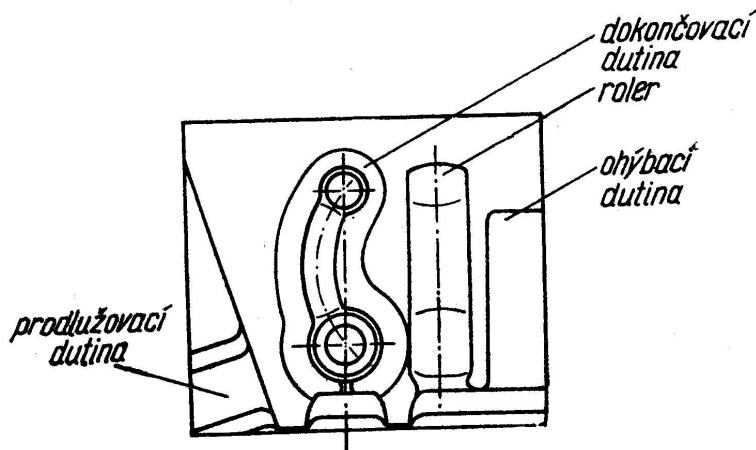
Obr. 4. Jednodutinová zápustka

8.3.1.1 Bucharové zápustky

Rázový účinek se respektuje i při navrhování zápustek a jejich upínání. Zápustky se zhotovují převážně z celistvých, masivních bloků. Jejich velikost se určuje tak, aby mezi okrajem bloku a nejbližší dutinou byla zachována nejmenší vzdálenost s . Při postupovém kování ve více dutinové zápustce (obr. 5) se vzdálenost mezi jednotlivými dutinami se určí ze vztahu :

$$s_1 = s \cos \alpha_1 \quad (8.9)$$

kde α_1 je boční úkos dutiny



Obr. 5. Rozmístění zápustkových dutin v bloku zápustky

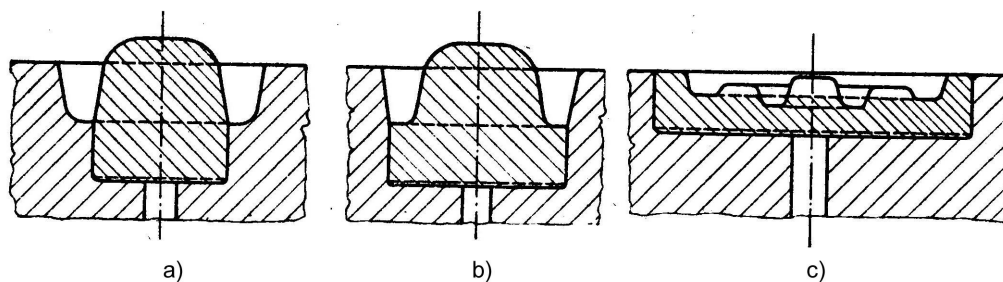
Nejmenší výška zápustky H_z se stanovuje na základě největší hloubky zápustkové dutiny H_d ze vztahu:

$$H_z \cong 2,15 H_d \quad (8.10)$$

kde H_z je výška spodního dílu zápustky [mm]
 H_d je hloubka dutiny [mm]

Vzhledem k rozdílné životnosti zápustkových dutin a nerovnoměrnému namáhání jednotlivých částí dutiny se provádí vložkování zápustek. Tím se snižují materiálové

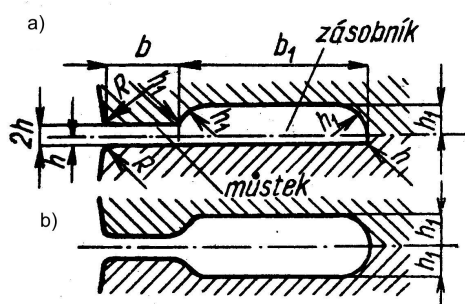
náklady na zhotovení zápustek. Vložky se upínají do zápustkového bloku klínem nebo se zapouštějí za studena i za tepla s přesahem (obr. 6).



Obr. 6. Vložkování zápustek

Aby se zajistilo dokonalé slícování obou dílů zápustky, a tím i nejmenší přesazení výkovku, opatřují se zápustky různými druhy vedení (kruhové, podélné, příčné a křížové), vodícími kolíky, popřípadě zámky pro zachycení posuvných sil.

K dosažení konečného tvaru výkovku se používají dokončovací dutiny. Tvar dokončovací dutiny je shodný s tvarem výkovku a rozměry se liší pouze rozdílem smrštění materiálu z teploty kování na teplotu okolí. Okolo dokončovací dutiny se vytváří v dělicí rovině výronková drážka. Tvar výronkové drážky je na obr. 7. Tvar (a) se skládá z můstku a zásobníku, který se umísťuje ve vrchní zápustce (vzhledem k ostříhování). V části dutiny, kde se předpokládá větší přebytek materiálu se vytváří zásobník oboustranný (tvar b).



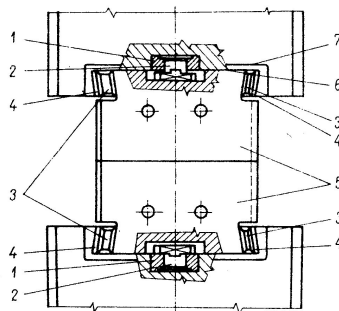
Obr. 7. Tvar výronkové drážky

Tloušťka můstku h se vypočítá ze vztahu:

$$h_m = (0,012 \text{ až } 0,015) \sqrt{S_v} \quad (8.10)$$

kde S_v je plocha vodorovného průmětu výkovku (mm^2), přičemž další rozměry se vybírají z tabulek.

Zápustka je opatřena rybinovitým výstupkem (obr. 8), kterým se ukládá do rybinovité upínací drážky beranu nebo šabotové vložky a stabilizuje se klínem o úkosu 1 : 100. Na protiběžných bucharech se zápustky upínají dvěma klíny



Obr. 8. Upínání zápustky na protiběžném bucharu
1 - pouzdro jistícího čepu; 2 - jistící čep; 3 - klín; 4 - příložka klínu; 5 - zápustka; 6 - rybina;
7 - upínací drážka

Otázky:

1. Jaké tvary zápustkových dutin znáte?
2. Jak vypočítáte tvar a rozměry výronkové drážky ?
3. Jaká je dosahovaná přesnost u jednotlivých způsobů dělení polotovarů před kováním ?

Úlohy k řešení :

1. Vypočítejte ztráty odpadem při jednotlivých způsobech dělení.
2. Odvoďte vztah pro výpočet síly pro stříhání na nůžkách a vypočítejte sílu pro stříhání pravoúhlého průřezu 70 x 50 mm. Polotovar je z oceli tř. 12 600.

Literatura k dalšímu studiu:

1. SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.
2. ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL/ALFA. Praha 1988, 520 s..

9. TECHNOLOGICKÝ POSTUP KOVÁNÍ

Členění kapitoly :

- Sestrojení zápustkového výkovku
- Výběr dutin
- Ideální předkovek



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Budete umět určit tvar a rozměry výkovku
- Naučíte se stanovit postup kování
- Budete umět sestrojít ideální tvar předkovku



Výklad

9.1 Konstrukce zápustkového výkovku

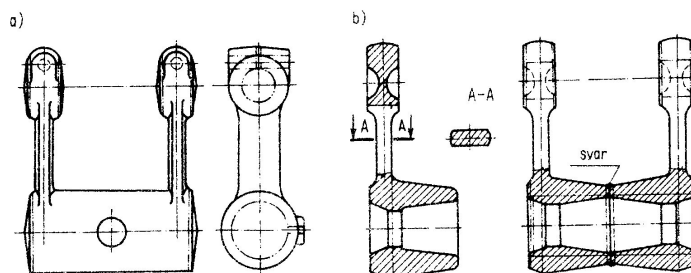
Při navrhování technologického postupu je potřebné řešit:

1. Tvar a rozměry zápustkového výkovku,
2. výběr kovacích dutin,
3. výběr výchozího polotovaru,
4. výpočet hmotnosti beranu.

Tvar a rozměry zápustkového výkovku stanoví na základě výkresu hotového výrobku. Přímou spoluprací kovárenského technologa s konstruktérem hotového výrobku se může upravit jeho tvar. Tím se zjednoduší technologický postup kování. Dále se zvažuje, zda je účelné a racionální:

1. zhotovit daný výrobek zápustkovým kovááním nebo jinou, výhodnější technologií
2. unifikovat výkovky pro tvarově a rozměrově blízké hotové výrobky,
3. rozdělit členitý výrobek na dva jednodušší, které se snadněji a s nižší materiálovou spotřebou vykovou a následně svaří (obr. 9.1),

4. kovat dva stejné výrobky jako jeden výkovek, který se pak rozdělí (obr.9.2),
5. nahradit přesným děrováním další obrábění,
6. kovat výkovek na jiném, vhodnějším tvářecím stroji.



Obr. 9.1. Dvě varianty zhotovení stejné součásti:
a) kováním vcelku, b) svařením ze dvou tvarově jednodušších výkovků

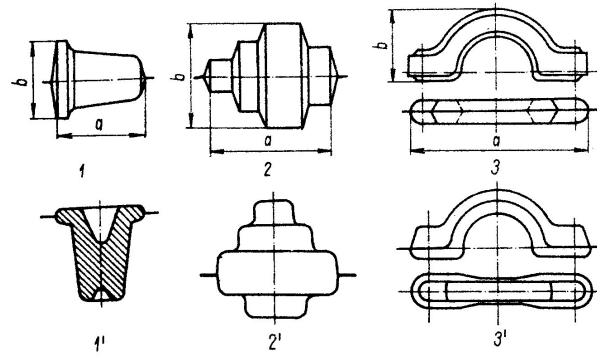
Důležitý význam pro konstrukci zápustkového výkovku má dělicí rovina, která se umísťuje do roviny souměrnosti výkovku (pokud je to vůbec možné) nebo do roviny dvou největších, navzájem kolmých rozměrů výkovku a, b (obr.9.2). Od tohoto pravidla lze upustit v případech, jestliže jinak navrženou dělicí rovinou se sníží hmotnost výkovku (obr.9.2 - 1'), nebo hmotnost výronku (zmenšením jeho obvodu) za současného zjednodušení konstrukce ostříhovadla (obr.9.2- 2'), nebo se zjednoduší technologie kování, např. vypuštěním ohýbání (obr. 9.2 - 3').

Při návrhu dělicí roviny se dále přihlíží k intenzivnějšímu toku kovu do horního dílu zápustky, k dosažení vhodného průběhu vláken, k spolehlivé kontrole slícování horního a dolního dílu zápustky, k snadnému ostříhování výronku.

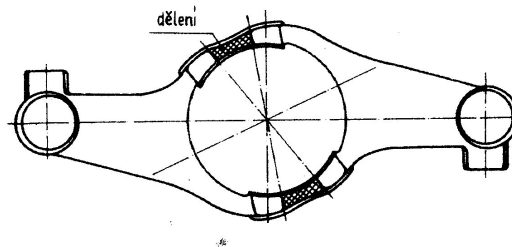
Přidavky na obrábění, zaoblení hran a rohů, nejmenší tloušťka stěny výkovku, nejmenší tloušťka dna (blány) výkovku, i veškeré úchytky tvarů a rozměrů (rozměrové úchytky, přesazení, velikost otřepu, boční úkosy, prohnutí) výkovků jsou normalizovány.

Při konstrukci zápustkového výkovku se musí přihlídnout k přesnosti provedení, která je úzce spjata především s rozměrovými úchytkami výkovku. Podle normy se zápustkové výkovky vyrábějí:

1. s obvyklou přesností,
2. v přesném provedení (s vyšší přesností),
3. ve velmi přesném provedení (s přesností podle dohody).



Obr. 9.2. Příklady dělicí roviny



Obr. 9.3. Jeden výkovek pro dvě stejné součásti

9.2 Výběr kovacích dutin

Část sortimentu zápustkových výkovků se zhotovuje jednodutinovým kováním, které je opodstatněno pro výkovky:

1. jednoduchého tvaru, bez nároků na předkování,
2. těžké a rozměrné, které se kovou na protiběžných bucharech,
3. v malosériové výrobě, kdy pořízení drahé vícedutinové zápustky není hospodárné,
4. tvarově mimořádně složité, kdy je výhodnější zhotovit předkovky volným kováním.

U většiny zápustkových výkovků se získává předkovek postupovým kováním v několika kovacích dutinách, které se vybírají podle tvarových znaků výkovku, podle zkušeností s kováním tvarově podobných výkovků nebo podle jiných doporučení. Podle vzrůstajícího objemu přemísťovaného kovu a složitosti toku kovu při kováni podélných výkovků lze nejobvyklejší přípravné dutiny a jejich kombinace sestavit do tohoto pořadí:

1. zúžovací,
2. otevřená rozdělovací
3. uzavřená rozdělovací,
4. prodlužovací,
5. prodlužovací - otevřená rozdělovací,
6. prodlužovací - uzavřená rozdělovací.

9.3 Ideální předkovek

Pokud se kove výkovek postupovým kováním je nutné zhotovit v přípravných dutinách předkovek, jehož průřez by byl blízký součtu příslušného průřezu výkovku a výronku. V praxi se používá postup určení tzv. ideálního předkovku což je osově souměrné těleso, jehož objem V_{ip} se rovná objemu výkovku V_v zvětšenému o objem výronku V_r a jehož délka l_{ip} se rovná délce výkovku l_v . Pro výkovky s rovnou osou se sestavuje podle výkresu výkovku, pro výkovky s ohnutou osou podle jejich rozvinuté délky. Uvažovaným výkovkem se vede sít příčných řezů, jejíž hustota závisí na tvarové složitosti výkovku. V charakteristických průřezích výkovku S (na obr. 9.4a označených $S_1, S_2, S_3, S_{min}, S_{max}$) se vypočte obsah průřezové plochy ideálního předkovku S_{ip} , a to zvlášť pro nekonečné průřezy

$$S_{ip} = S + 2S_{vr} \quad (9.1)$$

a zvlášť pro koncové průřezy,

$$S_{ip} = S_{vr} \quad (9.2)$$

kde S_{vr} je plošný obsah příčného průřezu výkovku [mm^2].

Průměr ideálního předkovku v libovolném příčném řezu

$$d_{ip} = 1,13\sqrt{S_{ip}} \quad (9.3)$$

Vypočtené hodnoty d_{ip} se nanesou souměrně jako pořadnice od zvolené vodorovné osy na obr. 9.4b. Propojením koncových bodů pořadnic vznikne obrys ideálního předkovku. Nanesením hodnot plošných obsahů charakteristických průřezů S_{ip} v měřítku m jako pořadnic o výšce

$$h_{ip} = \frac{S_{ip}}{m} \quad (9.4)$$

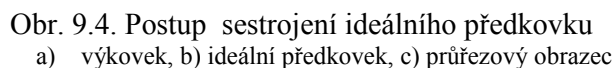
a spojením koncových bodů těchto pořadnic se dospěje k průřezovému obrazci ideálního předkovku (obr. 9.4c).

Ideální předkovek se dále převede (redukuje) na redukovaný ideální předkovek, což je válcové těleso o průměru d_{red} a délce l_{ip} . Pro jeho objem V_{red} , příčný průřez S_{red} a průměr d_{red} platí :

$$V_{red} = V_{ip} = S_{red} l_{ip} \quad (9.5)$$

$$d_{red} = 1,13\sqrt{S_{red}} \quad (9.6)$$

Část ideálního předkovku, v níž $d_{ip} > d_{red}$, se nazývá hlava, část, v níž $d_{ip} < d_{red}$, se nazývá dřík. Ideální předkovek s jednou hlavou a jedním dříkem se nazývá elementární ideální předkovek. Pokud má ideální předkovek hlavu mezi dříky, nebo má dvě i více hlav, je to složitý ideální předkovek, který lze poměrně jednoduchým postupem převést na ideální předkovek elementární.


$$A_1 + A_2 = A_3$$
$$k = \frac{d_{d\max} - d_{d\min}}{l_d} \quad (9.7)$$

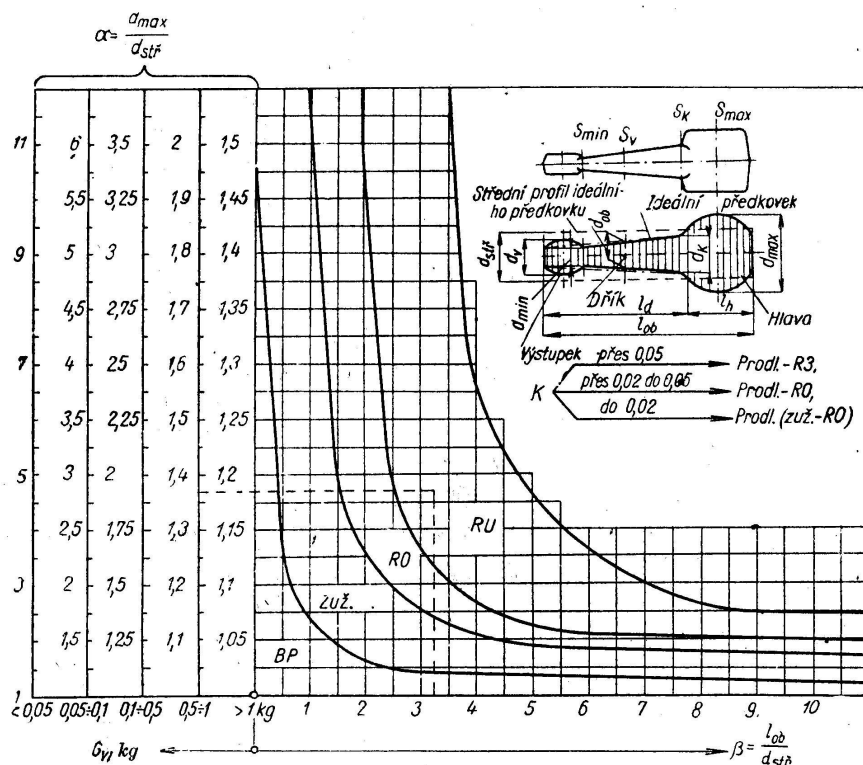
Složitější tvar dříku se upravuje na komolý kužel, který se promítá do nárysu jako lichoběžník o základnách h_{dmax} , h_{dmin} a l_d . Planimetrováním se zjistí jeho plocha S_d a z ní

$$h_{d\max} = 2 \frac{S_d}{l_d} - h_{d\min} \quad (9.8)$$

Konstrukce ideálního předkovku umožňuje vypočítat nezbytné parametry (α , β , k) pro výběr přípravné dutiny pomocí obr. 9.3.

Podrobnější údaje o metodě ideálního předkovku s přihlédnutím k tvarové složitosti výkovku obsahuje literatura.

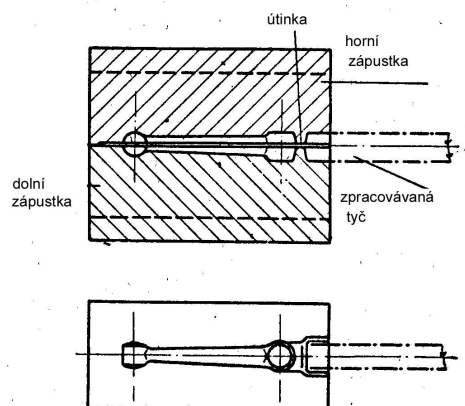
Dutiny a jejich kombinace se vybírá z diagramu na obr. 9.3, jehož praktické uplatnění je však možné až po sestrojení tzv. ideálního předkovku (obr. 9.4),



Obr. 9.3. Diagram k určení přípravných dutin (m_v - hmotnost výkovku)

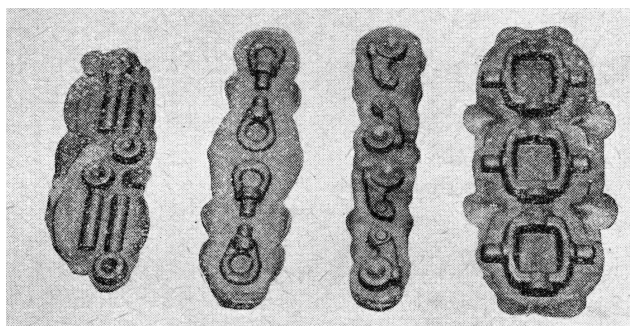
9.3 Výběr výchozího polotovaru

Drobné výkovky se obvykle kovou z tyčových polotovarů a délce $l = 1\ 200$ mm a hmotnosti do 5 kg. Hotové výkovky se od zbývající části tyče postupně odsekávají utínkou, obr. 9.6.



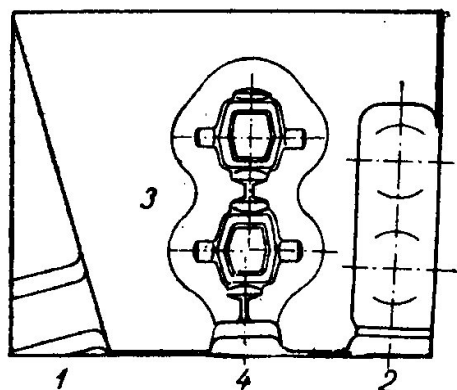
Obr. 9.6. Zápustka ke kování výkovků z tyčového materiálu

Nejmenší výkovky se kovou ve více kusech, spojených výronkem, najednou, obr. 9.7.



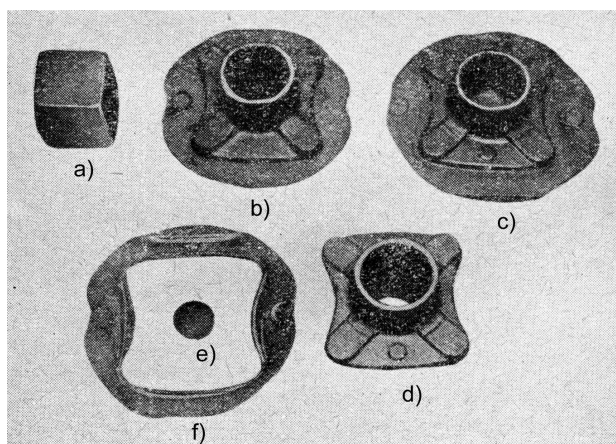
Obr. 9.7. Kování v několikanásobné zápustkové dutině

Střední výkovky se kovou z výchozího polotovaru pro dva výkovky, a to tak, že po vykování prvního výkovku se už zpracovaný polotovár obrátí a kove se jeho zbývající část. Krček spojující oba výkovky se přeseke utínkou.



Obr. 9.8. Zápustka pro kování dvojkusů
1, 2 – předkovací dutiny, 3 - dokovací dutina, 4 - útinka

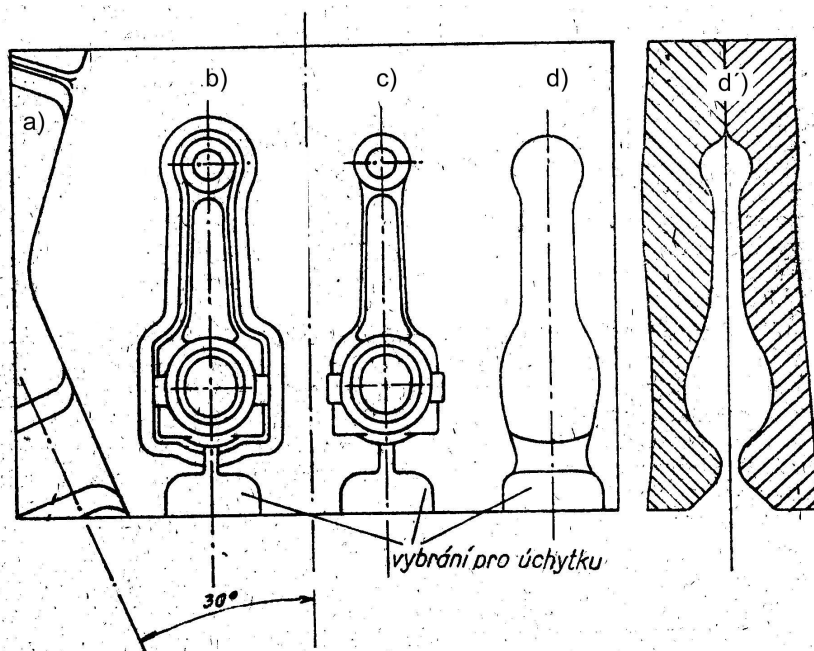
Velké výkovky a výkovky pýchované se kovou jednotlivě z jednoho výchozího polotovaru.



Obr. 9.9. Postup kování náboje kola

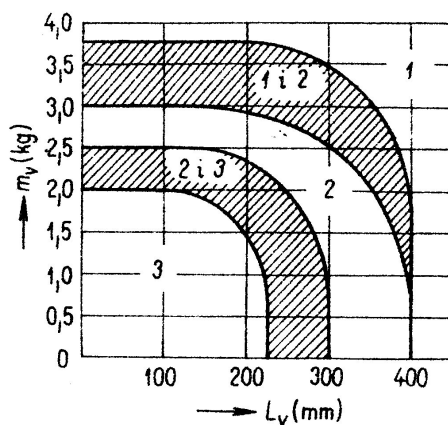
a) výchozí polotovár, b) předkovek, c) výkovek s výronkem, d) výkovek, e) výdřek, f) ostřížený výronek

U tvarově složitějších výkovků je nutno počítat s technologickým přídavkem na úchytku, obr. 9.10.



Obr. 9.10. Zápustka k postupnému kování ojníc

Výběr základních způsobů kování podle hmotnosti m_v a délky výkovku L_v usnadňuje diagram na obr. 9.11.



Obr. 9.11. Diagram pro výběr výchozího polotovaru podle způsobu jeho kování :
1 - kování jednotlivých výkovků; 2 - kování dvou výkovků s obracením; 3 - kování z tyčového polotovaru

Pro objem výchozího polotovaru platí :

$$V_o = V_v + V_z \quad (9.9)$$

kde V_v je objem výkovku [mm^3],

V_z - objem všech materiálových ztrát, které provázejí ohřev a kování [mm^3].

Označíme-li objem výronku V_{vr} , objem výděrku (odpadu při děrování) V_{vd} , objem úchytky V_u a objem opalu V_o , pak

$$V_z = V_{vr} + V_{vd} + V_u + V_o \quad (9.10)$$

Objem výronku se počítá ze vztahu

$$V_{vr} = (\cdot, 1 až \cdot, 1) S_{vrd} O \quad (9.11)$$

kde S_{vrd} je příčný průřez výronkové drážky [mm^2],

O je obvod výkovku v dělicí rovině [mm].

Objem výděrku V_{vd} a úchytky V_u se počítá podle jejich rozměrů, pro objem opalu V_o platí,

$$V_o = V_v \frac{1}{1 - \frac{o}{100}} \quad (9.12)$$

kde o je opal (%) ; vybírá se z tab. 9.1.

Tabulka 9.1. Ztráty opalem při různých způsobech ohřevu

Způsob ohřevu	Opal o (%)
Komorová plynová pec	2,5 až 3
Komorová elektrická pec	1 až 1,5
Indukční a odporový ohřev	0,5 až 1

Pro určité tvary výkovků platí, že $V_{vd} = 0$ a $V_{uú} = 0$, pak vztah pro výpočet objemu vstupního polotovaru dostává tvar

$$V_o = \frac{V_v}{1 - \frac{o}{100}} \quad (9.13)$$

Tvar a rozměry příčného průřezu výchozího polotovaru závisí na druhu první kovací dutiny, do níž se polotovar vkládá. U pěchovací dutiny je nutno omezit štíhlost výchozího polotovaru na $s_o \leq 2,5$. Pro tloušťku výchozího polotovaru platí :

$$t_o = k \sqrt[3]{\frac{V_o}{S_o}} \quad (9.14)$$

kde k je tvarový součinitel; pro čtvercový průřez $k = 1$, pro kruhový průřez $k = 1,08$.

Tabulka 9.2. Výpočet příčného průřezu výchozího polotovaru S_o pro různé druhy kovací dutin

Kovací dutina	Výpočtový vzorec	
1. Dokovací	$S_{o1} = (1,02 \text{ až } 1,05) S_{red}$	$[mm^2]$
2. Zužovací nebo tvarovací	$S_{o2} = (1,05 \text{ až } 1,3) S_{red}$	$[mm^2]$
3. Rozdělovací	$S_{o3} = (1,02 \text{ až } 1,2) S_{red}$	$[m^2]$
4. Prodlužovací	$S_{o4} = V_h/L_h$	$[mm^2]$
5. Prodlužovací a rozdělovací	$S_{o5} = S_{o4} - k(S_{o4} - S_{o3})$	$[mm^2]$

S_{red} je plošný obsah příčného průřezu redukovaného ideálního předkovku (mm^2),

V_h - objem hlavy ideálního předkovku (mm^3),

L_h - délka hlavy ideálního předkovku (mm),

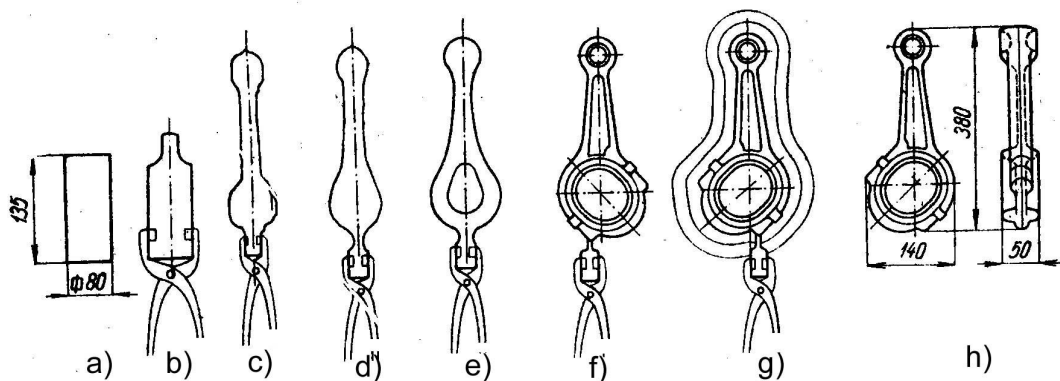
k - kuželovitost dříku ideálního předkovku.

Pro ostatní dutiny se plocha příčného průřezu výchozího polotovaru počítá podle tab. 9.2.

Délka výchozího polotovaru

$$L_o = \frac{V_o}{S_o} \quad (9.15)$$

Příklad technologického postupu kování ojnice je na obr. 9.12.



Obr. 9.12. Technologický postup kování ojnice

Vsázková hmotnost: 6,80 kg

Čistá hmotnost: 4,70 kg

Stroj: Zápustkový parní buchar, hmotnost beranu 2500 kg

Nástroj: postupová zápustka

Postup : výchozí polotovár (a), kovat úchytka pro kleště (b), odkovat dřik a malou hlavu (c), předkovat v prodlužování dutině (d), zploštit velkou hlavu (e), kovat v předkovací dutině (f), kovat v dokončovací dutině (g), výkovek po ostříhování a děrování (g).

9.4 Výpočet hmotnosti beranu

Hmotnost beranu se počítá z konečných rozměrů výkovku. Pro osově souměrné výkovky :

$$m_b = 10Q(1 - 0,5D_v) \left(1,1 + \frac{0,02}{D_v} \right)^2 (0,75 + 10D_v^2) D_v \sigma_p \quad (9.16)$$

kde m_b je hmotnost beranu [kg]

D_v je průměr výkovku v dělicí rovině [m],

σ_p - přirozený deformační odpor [MPa].

Pro ostatní tvary výkovků se používá vztah :

$$m_{bl} = m_b \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_v}{B_{vs}}} \right) \quad (9.17)$$

kde m_b je hmotnost beranu podle vztahu (9.16),

$D_v = 1,13 S_v^{1/2}$ [m],

S_v - plocha vodorovného průmětu výkovku [m²],

L_v - délka výkovku [m]

B_{vs} - střední šířka výkovku [m]; $B_{vs} = S_v/L_v$.

Otázky:

1. Jak se postupuje při návrhu technologie zápustkového kování?
 2. Jak stanovíte rozměry ideálního předkovku ?
 3. Podle jakých zásad vyberete vstupní polotovar pro zápustkové kování ?
 4. Jakým postupem se kovou výkovky s malou hmotností ?
-

Úlohy k řešení :

1. Navrhněte ideální předkovek pro výkovek ojnice. Hmotnost ojnice $m_v = 4,5$ kg. Rozměry výkovku :
 $L = 380$ mm, $B_{\max} = 140$ mm.
 2. Vypočítejte hmotnost beranu pro kování výše uvedeného výkovku, který je z oceli tř. 12 050. Horní kováčí teplota se rovná 1200 °C ($\sigma_p = 21$ MPa).
-

Literatura k dalšímu studiu:

SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.

HAŠEK, V. a kol.: *Kování*. SNTL, Praha 1985, 730 s.

10. ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ NA LISECH

Členění kapitoly :

- Kování na klikových lisech
- Kování na vřetenových lisech
- Konstrukce zápusťkových dutin



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete stanovit zásady pro kování na klikových lisech
- Budete umět vypočítat deformační síly při kování v zápusťkách
- Seznámíte se zásadami pro konstrukci zápusťkových dutin



Výklad

10.1 Kování na klikových kovací lisech

Způsob kování je odlišný od kování na bucharech. Buchary pracují rázem a výkovek se zhotovuje několika údery z předkovku, nebo postupným kováním. Klikový lis se vyznačuje menší deformační rychlostí a jeho zdvih je konstantní. Nevýhoda kování na svislých lisech je, že okuje, které vzniknou ohřevem na kovací teplotu se mohou zatlačit do výkovku. Okuje se musí odstranit nebo se používá ohřev, při kterém je vznik okují minimální, obvykle se používá indukční ohřev. Při kování na klikových lisech platí zásada, že na jeden zdvih musí být provedena v jedné zápusťkové dutině jedna operace.

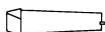
Svislé kovací lisy disponují silou 6,3 až 100 MN. Pracovní rychlost se pohybuje kolem 0,5 až 0,8 m.s⁻¹. Horní nástroj vykoná až 90 zdvihů za minutu. Charakteristické znaky klikových lisů :

- statický charakter deformace,
- přesné vedení horního nástroje, vymezená dolní poloha nástroje,
- výkovek je vytlačen z dutiny spodní zápusťky vyhazovačem.

Vzhledem k menšímu toku kovu do horního dílu zápusťky jsou kladeny vyšší nároky na předkování výkovků. Příčinou zbrzděného toku je delší doba styku horního dílu zápusťky s tvářeným kovem. Při kování na bucharu se doba styku nástroje s materiálem pohybuje kolem $\tau = 0,0007$ až $0,001$ s, na klikovém kovací lisu $\tau = 0,03$ až $0,2$ s. Probíhá současná

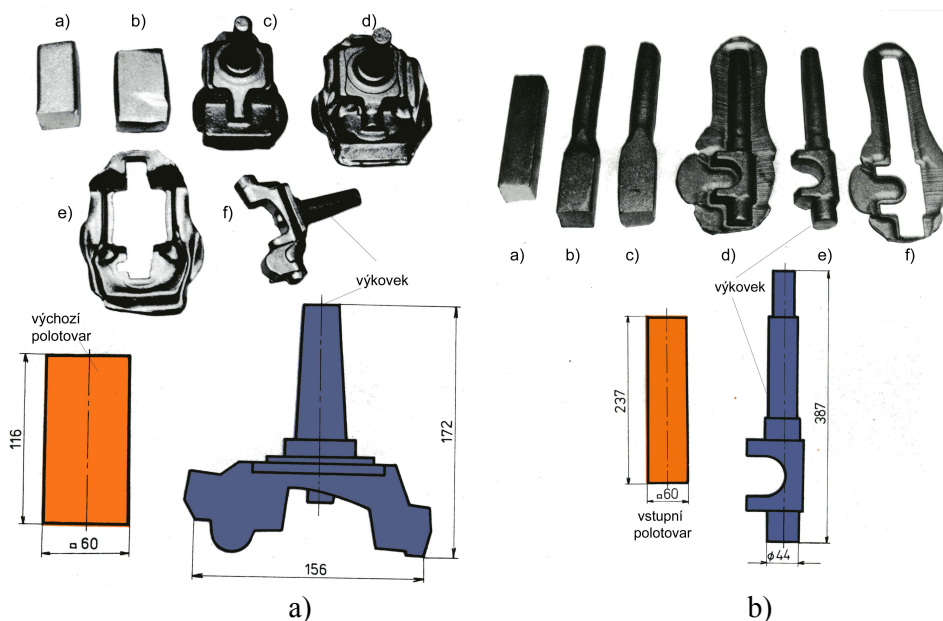
deformace celého objemu tvářeného kovu, a tím i rovnoměrné zaplňování horního a dolního dílu zápustky.

Příprava předkovku pro lisu se provádí na bucharu, nebo kovacích válcích, popř. se používají periodicky válcované polotovary. Výkovky kované na klikových lisech se rozdělují podle tvarové složitosti do šesti základních skupin, obr. 10.1.

I.		Jednoduché, kompaktní součásti
II.		Kompaktní, málo členité součásti
III.		Součásti s vysokým stupněm deformace
IV.		Rozvidlené součásti
V.		Součásti s malými tloušťkami a přechody
VI.		Součásti s extrémně malou tloušťkou průřezu

Obr. 10.1. Stupeň tvarové složitost výkovku

Příklady technologického postup kování tvarově složitého výkovku (obr. 10.2a) a podélného výkovku (obr. 10.2b) jsou uvedeny na následujícím obrázku.



Obr. 10.2. Technologický postup kování tvarově složitého a podélného výkovku na klikovém lisu

Při volbě vhodné velikosti svislého kovacího lisu je třeba vzít nejprve v úvahu :

- rozměry, hmotnost a tvarovou složitost výkovku,
- způsob kování a předpokládaný počet operací.

Potom přistoupíme k posouzení technologických parametrů uvažovaného lisu:

- jmenovité síly,

- energie setrvačníku,
- výkonu elektromotoru.

Jmenovitá síla lisu je největší dovolená síla [kN, MN], kterou může být lis v průběhu tvářecí operace zatěžován. Je to základní technický údaj každého lisu. V provozu se musíme vyhýbat nedovoleným zatížením nad hodnotu jmenovité síly, neboť přetěžováním se snižuje životnost lisu a zvyšuje, nebezpečí vážného poškození lisu.

Stojan a klikový mechanismus lisu pro vykování daného výkovku může být sice dimenzován dostatečně, ale jestliže má kovací lis nedostatečnou energii setrvačníku nebo elektromotor malého výkonu pro potřebnou deformační práci, dojde k nadměrnému poklesu otáček setrvačníku, popř. v krajním případě až k zastavení pohybu beranu. Z toho vyplývá, že pro větší dráhy beranu a pro rychlejší operace musí být k dispozici více energie setrvačníku a elektromotor o vyšším výkonu.

Velikost elektromotoru vzhledem k jeho výkonu se volí tak, aby jeho výkonem byl pokryt široký rozsah prací, které se mohou na kovacím lisu nejběžněji provádět. Ostatní faktory jsou dány samotným výkovkem a jeho výrobním postupem. Dále pak technologickými parametry a možnostmi využitelnosti lisů.

Určení kovací síly pro daný výkovek se provádí podle vzorců, které jsou přibližné a je jich třeba používat s určitou rezervou, a tak se vyhnout nedorozumění. Kování se děje v zápustkách předeřtých na teplotu 200-250 °C i více. V okamžiku dokování, kdy se tvářený materiál nachází ve styku se zápustkou, lze pozorovat intenzivní chladnutí - pokles teploty výkovku, zvláště jeho tenkých částí.

Velikost poklesu teploty výkovku v zápustce je závislá na poměru stykové plochy výkovku se zápustkou S [mm²] a objemu výkovku V [mm³]. Čím je S/V větší, tím dochází k většímu poklesu teploty (obvykle o 20 až 70 °C). Do celkového poklesu teploty je třeba při kování v několika operacích připočítat ještě pokles teploty výkovku při jeho přenášení z jedné operace do druhé. Tento pokles nepřevyšuje zpravidla 10 °C. S celkovým poklesem teploty či s dokovací teplotou, je třeba uvažovat při volbě deformačního odporu σ_s materiálu, zahrnutého do výpočtu síly potřebné pro vykování daného výkovku.

Velikost deformačního odporu σ_s [MPa] ovlivňuje, kromě jakosti materiálu, také velikost deformační rychlosti. Stupeň deformace je zahrnut do stupňů tvarové složitosti. Dalším parametrem pro určení kovací síly je :

- plocha průřezu výkovku včetně výronkového můstku do roviny kování S_v [mm²]
- poměr šířky výronkového můstku k jeho tloušťce b/s . Poměr b/s se volí max. = 3

Ke stanovení tloušťky výronkového můstku s [mm] se v praxi kováren používají nomogramy, rovněž tak pro stanovení kovací síly.

10.2 Zápustkové kování na vřetenových lisech

Vřetenové lisy jsou univerzální tvářecí stroje. Jejich předností se oceňují zejména v malosériové výrobě s pestrým a proměnlivým výrobním programem, kde nahrazují řadu jiných, vesměs jednoúčelových tvářecích strojů. Používají se ke kování v otevřených a uzavřených zápustkách, v zápustkách se svisle děleným dolním dílem, při rovnání, děrování, ohýbání, protahování a kalibrování.

Disponují deformační silou až 25 MN v klasickém dvoukotoučovém provedení a silou až 63 MN v provedení hydraulickém. Nízkou pracovní rychlostí, 0,5 až 0,9 m. s⁻¹, se podobají klikovým kovacím lisům, avšak povahou své práce, především úplným vyčerpáním kinetické energie setrvačníku při každém úderu a kinematickou nezávislostí smýkadla na pohonném mechanismu se podobají bucharům.

Vřetenové lisy se vyznačují dlouhým zdvihem, málo tuhým vedením smýkadla a vyhazovačem v dolním díle zápustky, někdy i v horním díle zápustky. Lisy nejsou vhodné pro postupové kování a pro kování tvarově členitých výkovků s výraznými změnami rozměrů ve směru rázu.

Zápustky se zhotovují z celistvých bloků nebo vložkované obdobně jako bucharové zápustky. S přihlédnutím k jinému způsobu upínání se však vyznačují jednodušším tvarem, bez rybiny. Pro zbývající konstrukční prvky zápustky platí v podstatě stejné zásady jako u bucharových zápustek.

Obdobně se postupuje i při konstrukci výkovku, výběru kovací dutin a výchozího polotovaru, avšak s tím zásadním rozdílem, že se doporučuje kovat v jednodutinové zápustce jediným úderem. Výjimečně se zápustka opatřuje nejvýše jednou přípravnou dutinou s nenáročným přemísťováním kovu, tj. dutinou pýchovací, ohýbací, tvarovací nebo zúžovací.

Dokovací dutina musí ležet vždy v ose vřeten. Náročnější předkování lze používat pouze u vřetenových lisů s hydraulickým pohonem. Na vřetenových lisech se nepoužívají operace prodlužování a rozdělování. Pokud potřeba těchto operací vyplývá z konstrukce ideálního předkovku, nahrazují se předkováním na jiném tvářecím stroji nebo periodicky válcovaným polotovarem.

Deformační síla se vypočítá ze vztahu :

$$F = 0,3841 - 0,5D_v \left(2 + 0,1 \frac{D_v}{H_{vs}} \right) \sigma_p S_v \quad (10.2)$$

kde F je požadovaná síla [MN]
 D_v je průměr výkovku v dělicí rovině [m],
 H_{vs} - střední výška výkovku (m); $H_{vs} = V_v/S_v$,
 σ_p - přirozený deformační odpor [MPa],
 S_v - plošný obsah vodorovného průmětu výkovku [m²],
 V_v - objem výkovku [m³].

12.3 Konstrukce zápustkových dutin

Předpokladem úspěšné konstrukce zápustky je určení velikosti kovacího lisu. Při konstrukci zápustky je potřebné respektovat :

- Spodní poloha beranu lisu je neměnná. Dutina zápustky se zaplňuje jedním zdvihem lisu (nezaplňuje se jako u bucharu postupnými rázy).
- Počet dutin v zápustce se musí rovnat počtu zdvihu lisu, potřebných pro zhotovení výkovku.
- Lisy jsou vybaveny vyhazovačem a proto mohou mít zápustkové dutiny menší úkos.

Dutiny se nezhotovují do zápustkových bloků, ale do zápustkových vložek. Vložky se upínají do držáků. Pro každou operaci musí být vyrobena samostatná dutina. Při konstrukci zápustkových vložek se dodržují zásady:

- a) Tloušťka okraje t má být stejná, nebo větší než hloubka dutiny h

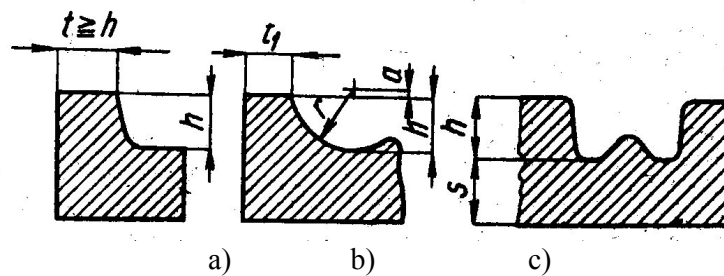
- b) Pokud má dutina polokruhový tvar o poloměru r , pak platí :

$$t_1 = (0,6 \text{ až } 0,8) h \quad (10.3)$$

- c) Tloušťka dna s má splňovat podmínku

$$s = (0,6 \text{ až } 0,65) h \quad (10.4)$$

- d) V každé zápustkové vložce je jedna dutin
- e) Při sevření lisu musí být mezi horní a spodní zápustkovou vložkou mezera, která odpovídá tloušťce výronku.

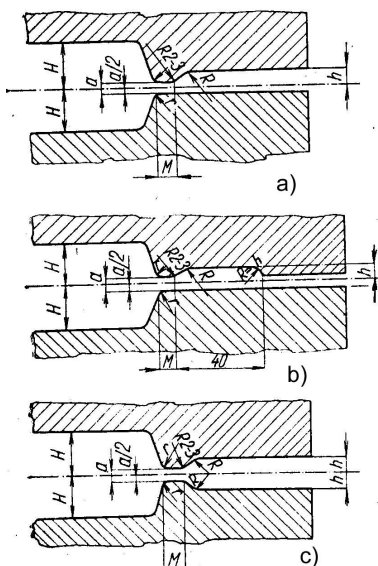


Obr. 10.2. Konstrukce dutin zápustkových vložek

Pro dosažení požadovaných rozměrů výkovku má velký význam tvar dokovací dutiny. Při konstrukci dokovací dutiny se věnuje pozornost tvaru výronkové drážky. Tloušťka výronku je závislá na mezeře v dělicí rovině zápustky a na pružné deformaci stojanu lisu. Většinou se používá tři typů drážek, obr. 10.3.

Nejčastěji se používá typ a . Pokud je dutin hodně vzdálena od okraje zápustkové vložky, tak se používá dutina b . Typ c se používá v případech, kdy je v některém místě předkovku velký přebytek kovu a jednostranná drážka by ho nestačila odvést.

Pro lepší vložení výkovku do ostříhovací zápustky se sestavuje dokončovací dutina tak, aby drážka pro výronek byla umístěna do vrchní poloviny zápustky. Dalším důvodem je, že se spodní díl zápustky ohřívá rychleji než horní a můstek ohřátý na vyšší teplotu zkracuje životnost zápustky.

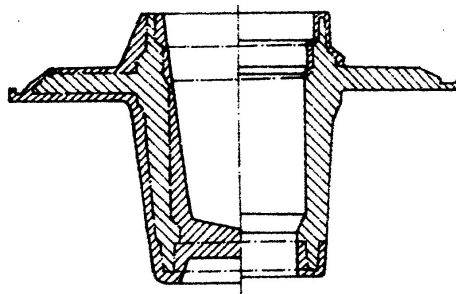


Obr. 10.3. Typy výronkových drážek

Tabulka 10.1. Základní rozměry výronkové drážky pro zápustky na svislých kovacích lisech

F [MN]	a [mm]	M [mm]	h [mm]	R [mm]	H [mm]	r [mm]
6,3	1-1,5	4-5	5	15	1-3	0,5
15	2-2,5	5-6	6	20	8-20	1,5
25	2,5-3,0	6	6-8	20	30-60	3,0
40	3,5-4,0	6-8	8	25	≥ 60	4,0

Prstencové a kolíkové vyhazovače umožňují volit dvakrát až třikrát menší boční úkosy než u bucharových zápustek a v některých případech (protlačování) kovat zcela bez úkosu. Konstrukce výkovku se řídí v podstatě obdobnými zásadami jako při kování na bucharách. Výkovky však mají menší přídavky na obrábění a přídavky technologické, vyšší stupeň přesnosti, menší boční úkosy, v souhrnu tedy tvar, který se velmi blíží hotovému výrobku (obr. 10.4), což vede k úsporám kovu a snížení nákladů na obrábění výkovků.



Obr. 10.4. Řez výkovkem zhotoveným na bucharu (levá polovina) a na svislém kovacím lisu (pravá polovina)

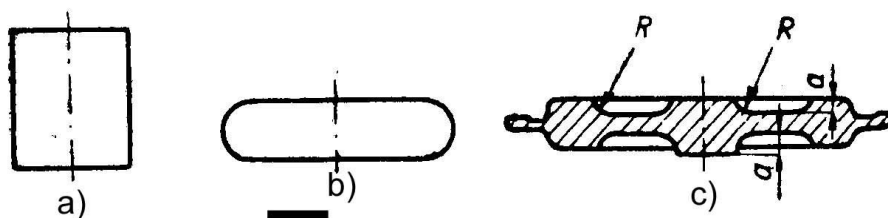
Postup kování a řazení kovacích dutin při kování podélných výkovků na svislých kovacích lisech :

- výchozí polotovár,
- pěchovací dutina,
- protlačovací dutina, zúžovací, ohýbací, tvarovací,
- předkovací,
- dokovací,
- výkovek.

Postup kování a řazení kovacích dutin pro výkovky s kruhovým nebo čtvercovým průřezem v dělicí rovině je následující :

- ◆ výchozí polotovár,
- ◆ pěchovací,,
- ◆ protlačovací, tvarově pěchovací
- ◆ předkovací,
- ◆ dokovací,
- ◆ výkovek

Výběr kovacích dutin u podélných výkovků se provede podle ideálního předkovku nebo analýzou předpokládaného technologického postupu. Postup kování osově symetrického výkovku je na obr. 10.5. Kove se jedním zdvihem v jedné dutině. Pro každý výkovek je samostatný výchozí polotovár. Malé výkovky se kovou současně dva, nebo více, obr. 10.6..

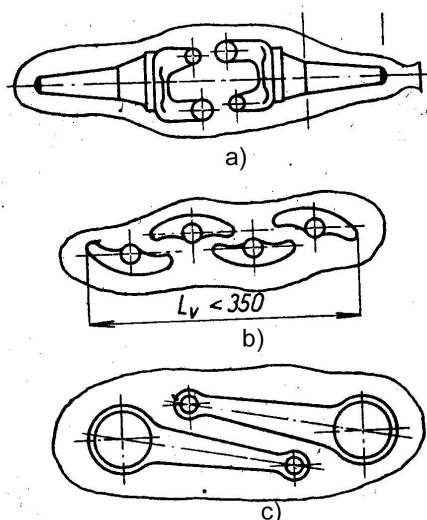


Obr. 10.5. Příklady tvarově pěchovacích přípravných dutin
a) výchozí polotovár, b) předkovek po pěchování, c) výkovek

Výpočet deformační síly pro osově souměrné výkovky se provádí podle vztahu :

$$F = 80(1 - D_v) \left(1 + \frac{0,02}{D_v} \right)^2 S_v \sigma_p \quad (10.5.)$$

kde F je požadovaná deformační síla [MN]
 D_v je průměr výkovku v dělicí rovině [m],
 S_v - plošný obsah vodorovného průmětu výkovku [m²],
 σ_p - přirozený deformační odpor [MPa].



Obr. 10.6. Sdružené kování menších výkovků

Pro jiné tvary výkovků :

$$F_1 = F \left(1 + 0,1 \sqrt{\frac{L_v}{B_{vs}}} \right) \quad (10.6)$$

kde F je síla pro rotačně symetrické výkovky, v němž $D_v = 1,13 S_v^{1/2}$
 L_v - délka výkovku [m],
 B_{vs} - střední šířka výkovku [m], $B_{vs} = S_v/L_v$.

Otázky:

1. Vymenujte základní znaky kování na klikových lisech?
2. Jak vypočítáte deformační sílu při kování v zápustkách ?
3. Co to je průměr výkovku v dělicí rovině ?
4. Jakými silami disponují klikové kovací lisy ?

Úlohy k řešení :

1. Vypočítejte deformační při kování výkovku na vřetenovém lisu : $D_v = 90$ mm, přirozený deformační odpor oceli při $HKT = 30$ MPa.
2. Stanovte tvar výronkové drážky pro výše uvedený výkovek.

Literatura k dalšímu studiu:

SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.

DRASTÍK, F a kol. Strojnická příručka. Verlag Dashöfer. Praha 2004, CD.

ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL/ALFA. Praha 1988, 520 s.

11. ZÁPUSTKOVÉ KOVÁNÍ

Členění kapitoly :

- Kování na horizontálních kovacích strojích
- Kování na hydraulických lisech
- Příprava předkovků na kovacích válcích
- Ostřihování výronku, děrování a kalibrování výkovků
- Namáhání zápustek a zápustkové oceli



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete popsat technologii kování na HKS
- Seznámíte se s postupy kování na hydraulických lisech a s přípravou předkovků na kovacích válcích
- Budete umět sestavit nástroje pro ostřihování výronku a děrování
- Dokážete vybrat vhodné oceli pro zápustky pro výrobu zápustek



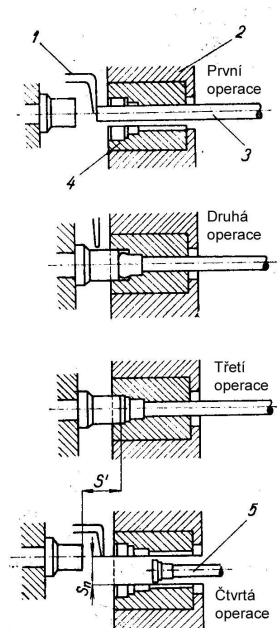
Výklad

11.1 Zápustkové kování na vodorovných kovacích strojích

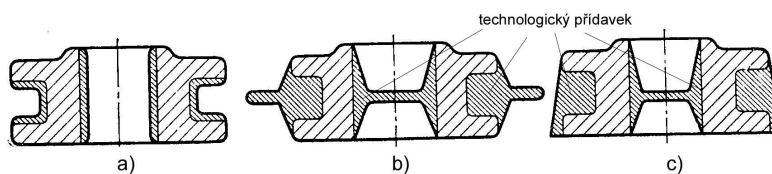
Vodorovný kovací stroj je klikový kovací lis, který má kromě hlavního smýkadla s lisovníkem ještě dvě čelisti, kterými se výchozí polotovár nejprve sevře a potom se jeho volná část kove. Kování na vodorovných kovacích strojích má následující výhody.

- a) Mohou se vyrábět výkovky s menšími úkosal,
- b) Výkovky kruhového průřezu lze kovat i s průchozím otvorem,
- c) Převážnou část výkovků se kove v uzavřených zápustkách,
- d) Výronky se odstraňují přímo na kovacím stroji

Vodorovné kovací stroje se disponují silou až 40 MN a pracují rychlostí 15 až 30 zdvihů za min. Čelisti mají vodorovnou nebo svislou dělicí rovinu. Přednost má vodorovnému dělení, které se vyznačuje příznivějšími podmínkami pro mechanizaci mezioperačního přemístování kovaného polotovaru. Postup kování na vodorovném kovacím stroji je na obr. 11.1.



Obr. 11.1. Schéma postupu kování na vodorovném kovací stroj:
1 - přední nárazka, 2 - nepohyblivá čelist, 3 - polotovár, 4 - pohyblivá čelist, 5 -výkovek.
 S_n – rozevření zápustek, S' - zdvih



Obr. 11.2. Velikost technologických přídavků u zápustkových výkovků vykovaných :
a) na vodorovném kovacím, b) v otevřené zápustce, c) v uzavřené zápustce

Kove se v třídlých zápustkách se dvěma na sebe kolmými dělicími rovinami, což přináší tyto výhody:

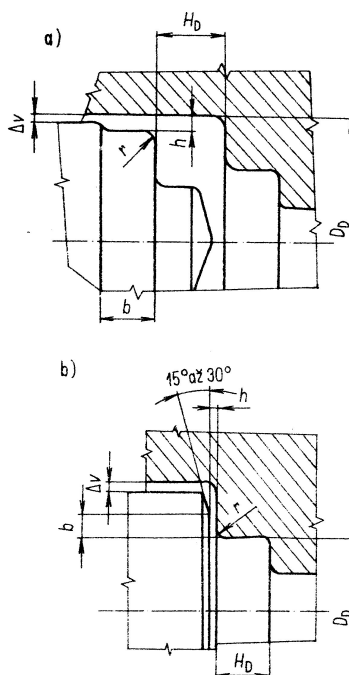
1. Kove se z kruhových tyčí nebo tlustostěnných trubek o průměru $d_0 \leq 240$ mm, výkovek má minimální výronek (vyšší využití kovu).
2. Zhotovují se plné i duté výkovky různé délky, tvarově složité s minimálními technologickými přídavky a malým bočním úkosem (obr. 11.2).
3. Při děrování nevzniká odpad.

Nevýhody HKS :

1. Vyšší pořizovací náklady, menší tvarový sortiment.
2. Vyšší požadavky na rozměrovou přesnost výchozího polotovaru.
3. Nebezpečí zakování okují.
4. Nižší životnost zápustky.

Používá se postupové kování ve vyvlozkovaných zápustkách. Jeden díl se upíná k lisovníku a zbývající dva díly k svíracím čelistem. Kovací dutiny se výrazně liší od dutin ostatních tvářecích strojů. Převládají dutiny pýchovací a děrovací, dutiny ohýbací, tvarovací, ostřihovací a oddělovací.

Osově souměrné výkovky se kovou bez výronku z tyčí s vyšší rozměrovou přesností (loupané a tažené tyče). Výkovky osově nesouměrné se kovou s podélným popř. příčným výronkem, který se vytváří ve výronkové drážce (obr. 11.3).



Obr. 11.3. Základní tvary výronkové drážky u zápustek na vodorovných kovacích strojích
a) podélná, b) příčná

Nejrozšířenější je kování s příčným (radiálním) výronkem, který se snadněji ostříhuje, a to buď přímo na vodorovném kovacím stroji, nebo na ostříhovacím klikovém lisu. Podélný výronek zůstává vesměs na výkovku, protože se obtížně odstraňuje. Podstatnou část sortimentu kovaného na HKS tvoří osově souměrné výkovky, které lze rozdělit do dvou skupin:

1. Výkovky plné s dříkem, které se kovou z tyče, jejíž průměr se rovná průměru dříku, délka nesevřené části tyče (obr. 11.4a) musí splňovat podmínku:

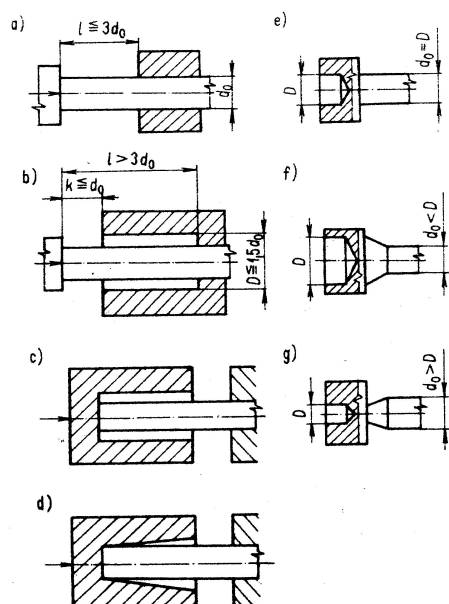
$$l \leq (2,5 \text{ až } 3) d_o \quad (11.1)$$

Pokud nelze podmínku dodržet, provádí se předpěchování volné části tyče ve válcové dutině čelisti (obr. 11.4b) nebo válcové (obr. 11.4c), popřípadě kuželové dutině (obr. 11.4d) lisovníku. Mezi průměrem napěchované hlavy a dříkem platí vztah :

$$D_1 \leq 1,5 d_o \quad (11.2)$$

Vhodný je kuželový tvar předpěchovací dutiny v lisovníku, protože žádoucího zesílení se dosáhne nejmenším počtem operací.

2. Výkovky děrované se kovou z tyče, jejíž průměr se shoduje s průměrem díry (obr. 11.4e). Pokud tuto zásadu není možné dodržet, pak se v místě přechodu z tyče do výkovku vykově kuželová část tak, aby se její průměr v místě napojení na výkovek rovnal průměru díry (obr. 11.4f, g). Tímto postupem se dosahuje téměř bezodpadového děrování.



Obr. 11.4. Základní pravidla pro kování na vodorovných kovacíh strojích

Deformační síla se vypočítá podle vztahu :

$$F = \frac{5}{10^6} (1 - D_v) (100 \sigma_p + 10)^2 \sigma_p \quad (11.3)$$

kde F je síla [MN],
 D_v je průměr výkovku v dělicí rovině [m],
 σ_p je přirozený deformační odpor [MPa].

11.2 Zápustkové kování na hydraulických lisech

Na hydraulických lisech o síle do 200 MN (výjimečně až 750 MN) se zhotovují zápustkové výkovky z oceli, ale především z hliníkových a hořčíkových slitin. Hydraulické lisys o nízké pracovní rychlosti ($0,15$ až $0,20 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$) se uplatňují zpravidla tehdy, nelze-li pro daný výkovek použít jiných tvářecích strojů, zejména v případech:

1. Kování nízkotvařitelných slitin, vyžadujících velmi nízkou deformační rychlost,
2. Kování velkých výkovků, především pro letecký průmysl,
3. Kování protlačováním,
4. Tváření dlouhých dutých výkovků,
5. Přesné kování tvarově složitých výkovků v dělených zápustkách

Na hydraulickém lisu se převážně kove v jednodutinové zápustce, tj. v dokovací dutině. Pokud se použijí přípravné dutiny, tak to jsou dutiny pěchovací, ohýbací a zužovací. Výchozím polotovarem jsou válcované tyče a předkovky.

11.3 Příprava předkovků na kovacích válcích

Kovací válce jsou tvářecím strojem, na němž se zhotovují předkovky pro klikové a vřetenové lisys, na nichž nelze uskutečnit přípravné operace prodlužování a rozdělování. Na kovacích válcích se zhotovují jednoduché předkovky bez tenkých žebér a výstupků. Tváření je tím snazší a dokonalejší, čím plynulejší jsou změny příčného průřezu výkovku. Z hlediska návazného kování je nejvýhodnější navrhnout tvar předkovku z kovacích válců podle průřezového obrazce ideálního předkovku, nebo postupem, kdy určíme průřezové plochy výkovku v rozhodujících průřezech (obr. 11.6.) :

1. Určí se tvar předkovku. Plochy průřezů výkovku C-C', D-D' a E-E' (obr. 11.6a) se zvětší o plochu výronku a jednotlivé plochy převedeme na kruhový nebo čtvercový profil.
2. Podle největšího průřezu předkovku se určí profil výchozího materiálu a podle objemu (hmotnosti) výkovku se určí délka. Délka výchozího materiálu se určí podle největšího průřezu (C-C') a následně se stanoví průměr výchozího materiálu. Z dílčích objemů části a, b, c, d, e, f, g se stanoví celkový objem a pomocí něho pak výchozí délka materiálu :

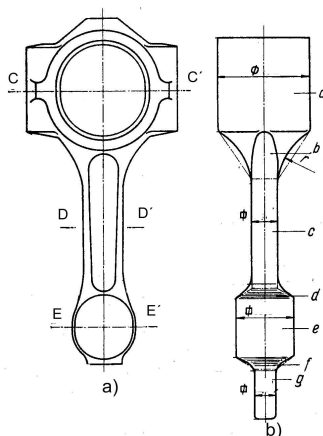
$$L = \frac{V}{S}$$

(11.4)

kde L je délka výchozího materiálu [mm]
V je objem výchozího materiálu [mm³]
S je největší příčný průřez výkovku [mm²].

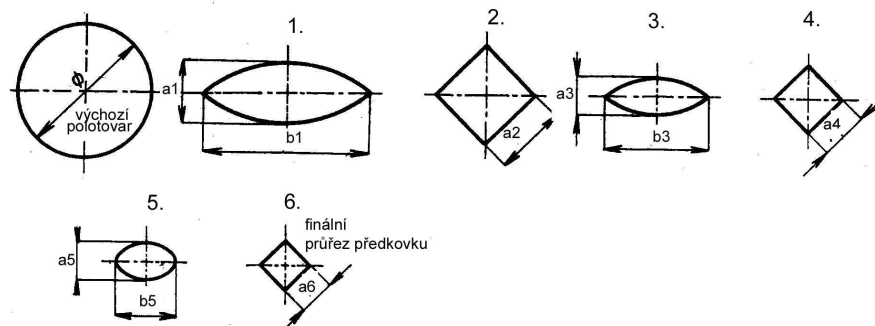
1. Z výchozího průřezu (S₀) a z nejmenšího průřezu výkovku (S₁) se určí celková redukce ε:

$$\varepsilon = \frac{S_0 - S_1}{S_0} \cdot 100 \quad (11.5)$$

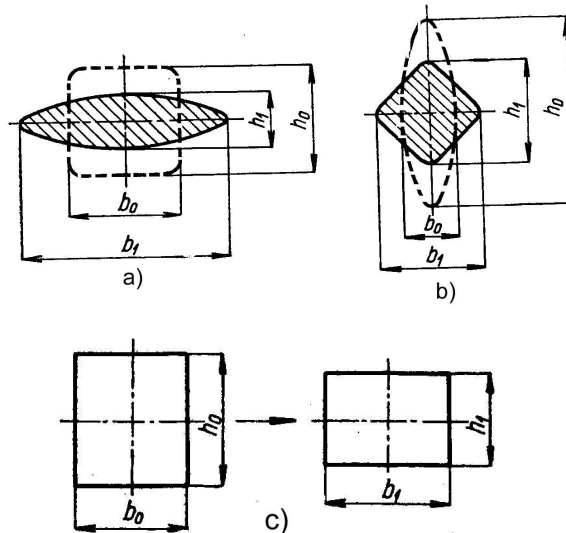


Obr. 11.6. Postup při konstrukci předkovku ojnice:
a) tvar výkovku, b) tvar předkovku vyrobeného na kovacích válcích

Používané způsoby tváření předkovků v kalibrech jsou znázorněny na obr. 11.7:



Obr.11.7. Změna příčného průřezu předkovku při tváření šesti průchody na kovacích válcích v kalibrační řadě ovál - čtverec



Obr. 11.8. Kalibrace pro válcování předkovků
a) čtverec – ovál, b) ovál – čtverec, c) čtverec- obdélník

Způsob válcování se volí s přihlédnutím k součiniteli prodloužení :

$$\lambda = S_o/S_p \quad (11.4)$$

kde S_o je příčný průřez výchozího polotovaru [mm^2]
 S_p je plošný obsah největšího příčného průřezu předkovku [mm^2].

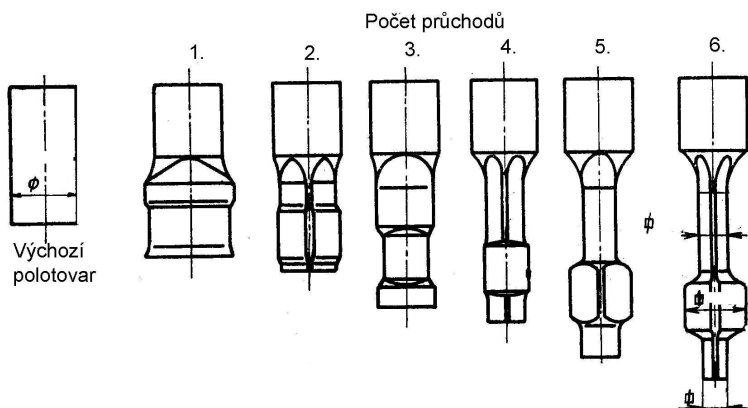
Jestliže $\lambda < 1,43$ válcuje se v jednom kalibru jedním průchodem. Pokud $\lambda > 1,45$ může se podle tvaru předkovku válcovat buď v jednom kalibru více průchody, přičemž po každém průchodu se polotovar hraní o 90° , nebo v několika kalibrech s jedním průchodem každým kalibrem. Kombinace kalibrů při válcování naznačuje obr. 11.7.

Počet průchodů, a tím i kalibrů se určí ze vztahu :

$$n = \frac{\ln S_o - \ln S_p}{\ln \lambda_s} \quad (11.5)$$

kde λ_s je střední součinitel prodloužení; $\lambda_s = 1,2$ až $1,3$.

Postupné tváření předkovku pro ojnice je znázorněno na obr. 11.9.



Obr. 11.9. Postup tváření předkovku ojnice na kovacích válcích

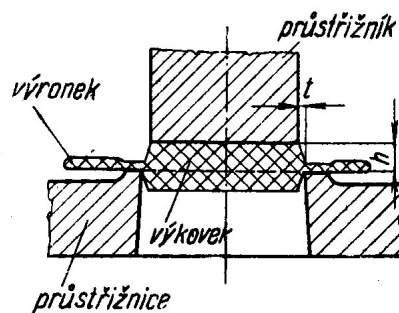
11.3 Ostřihování a děrování výkovků

Těmito operacemi se dokončuje tváření výkovků. Uskutečňuje se za tepla nebo za studena na nástrojích, ostřihovadle a děrovadle, upnutých na ostřihovacích lisích. Ostřihovací lisys mají větší výrobnost než buchary, vřetenové a hydraulické lisys, a proto je výhodnější ostřihovat výkovky z těchto tvářecích strojů za studena. Tak se zpracovávají menší výkovky z uhlíkových ocelí ($w_c < 0,45 \%$) a nízkolegovaných ocelí ($w_c < 0,25 \%$). V takovém případě se počítá s jedním ostřihovacím lisem na dva základní tvářecí stroje. K ostřihování za tepla se přistupuje ve všech ostatních případech, především u vysoce výkonných svislých kovacích lisů. Střížná síla pro stříhání či děrování se počítá ze vztahu :

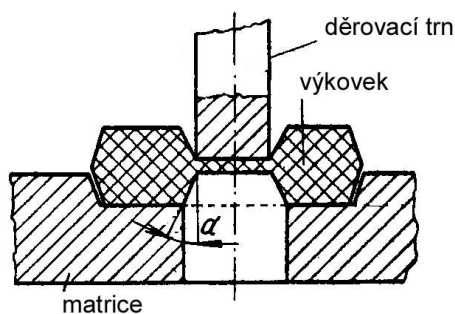
$$F = \gamma \cdot \sqrt{R_m} \cdot o \cdot s \quad (11.6)$$

kde R_m je pevnost materiálu (MPa)
 o je obvod výronku (mm)
 s je tloušťka výronku (mm)

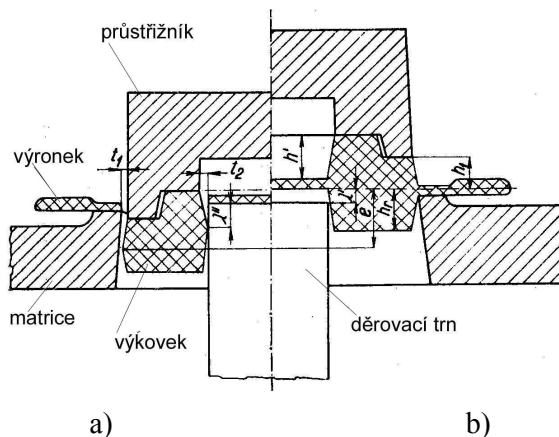
Konstrukční provedení ostřihovadla a děrovadla znázorňují obr. 11.10 a 11.11. Kromě uvedených nástrojů se používají tzv. sdružený nástroj, na němž ostřihování a děrování probíhá současně, obr. 11.12.



Obr. 11.10. Ostřihování výronku



Obr. 11.11. Schéma děrování



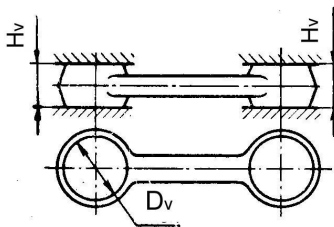
Obr. 11.12. Nástroj pro ostřihování a děrování :
a) závěrečná fáze ostřihování a děrování, b) počáteční fáze

11.4 Rovnání a kalibrování

Výkovky s tenkými žebry se při ostřihování výronku poněkud zkříví. Menší výkovky rovnají za studena, velké výkovky za tepla. Rovnání se provádí přímo v dokovací dutině zápustky, nebo v rovnací zápustce upnuté na ostřihovacím lisu.

Na klikových, kolenových lisech se kalibrováním zpřesňují rozměry výkovku a zlepšuje jejich povrchová jakost. Plošným kalibrováním prováděným za studena se zpřesňují rozměry mezi rovnoběžnými plochami výkovku (obr. 11.13). Objemovým kalibrováním se dosahuje

větší přesnosti všech rozměrů výkovku. Kalibruje se za studena nebo za tepla, přebytný kov je vytlačován do malého výronku, který se v závěrečné operaci obrušuje.



Obr. 11.13. Plošné kalibrování výkovku

11.5 Namáhání zápustek

Při kování jsou zápustky vystaveny mechanickému a tepelnému namáhání. Tato namáhání se cyklicky opakují při jednotlivých kovacích operacích. Zvyšováním rychlosti kovacích operací používání vysokolegovaných materiálů na výkovky apod. se ještě více zvyšuje nejen celkové namáhání, ale i požadavky na kvalitu zápustek.

Mechanická namáhání

Různé způsoby zápustkového kování, rozličná členitost a velikost výkovků vyvolává i různý charakter mechanického namáhání. Síly působící při kování vyvolávají jednak stlačování a roztahování zápustky, jednak způsobují úder - ráz.

Kromě toho dochází v zápustce k otěru, a to zejména v přechodech kolem výronků:

Proto se požaduje od zápustky na dobrou odolnost proti tlakům dostatečnou houževnatost. Dobrá odolnost proti zvýšeným tlakům i proti otěru úzce souvisí s pevností (tvrdostí) zápustky. Čím vyšší je pevnost, tím lépe zápustka odolává těmto vlivům. Vysoká pevnost, však snižuje houževnatost a může vést za určitých okolností k prasknutí zápustky.

Tepelná namáhání

Příliš vysoká provozní teplota snižuje pevnost zápustek na funkčních částech a zvyšuje plastické vlastnosti oceli. Tím podporuje deformaci zápustkové dutiny, zvyšuje opotřebení otěrem a ovlivňuje i rychlejší ztrátu rozměrů.

Dalším činitelem tepelného namáhání je střídání teplot na funkční části zápustky. To je způsobeno ohřevem zápustkové dutiny a následujícím ochlazením při jednotlivých kovacích operacích. Periodické střídání teplot vyvolává objemové změny, které vedou v povrchových vrstvách dutin k vzniku pnutí, a tím k torbě sítě trhlinek. Trhlinky tepelné únavy podporují rychlejší opotřebení zápustek, popř. mohou být zárodkem větších trhlin a únavových lomů. Při kování zatéká tvářený materiál do těchto trhlinek, čímž podporuje jejich vydírání a zvětšování.

Navrhovaná pevnost zápustek závisí na :

- a) druhu výkovků (velikostí, členitostí, druhu kovaného materiálu, jeho výchozím tvaru a mezitvaru),
- b) velikosti zápustek,
- c) druhu nástrojové oceli pro zápustku,
- d) způsobu kování a výkonu kovacího stroje,
- e) provozních podmínkách (kovací teplotě, provozní teplotě zápustky, způsobu zacházení se zápustkou atd.).

Z toho je zřejmé, že při volbě pevnosti zápustek je nutno vycházet z provozních zkušeností. Pevnost se u různých typů zápustek pohybuje v rozmezí od 1000 do 1800 MPa. Je známo, že velká pracovní pevnost zvyšuje odolnost proti otěru a plastické deformaci, ale zároveň snižuje houževnatost a odolnost proti tvorbě trhlin z tepelné únavy. Velká pevnost, zejména u bucharových zápustek, obvykle vede k prasknutí, nebo při něm spolupůsobí. Tvorbou trhlinek se podporuje nejen lom z únavy, ale i rychlejší opotřebení. Malá pevnost zvyšuje sice podstatně houževnatost, ale má naopak za následek rychlou ztrátu rozměrů a tvaru zápustkové dutiny vlivem zvýšeného otěru a plastické deformace. Existují všeobecné směrnice pro volbu pevnosti, stanovené podle provozních zkušeností. Uvádají však jen určité rozmezí pevnosti zápustek podle jednoho, dvou nebo maximálně tří hledisek, jako např. podle:

- a) hmotnosti zápustky,
- b) velikostí a charakteru zápustkové dutiny,
- c) druhu a výkonu kovacího stroje,
- d) podle hmotnosti zápustky a hloubky zápustkové dutiny, materiálu použitého na zápustku a druhu kovacího stroje.

Je pochopitelné, že rozsah používaných pevností podle uvedených hledisek není uveden jednoznačně. Podle vlivu jednotlivých činitelů můžeme stanovit tyto všeobecné zásady:

- a) čím větším rázem pracuje kovací stroj, tím nižší je volená pevnost. Pevnosti u kovacích lisů budou v průměru vyšší než u bucharů,
- b) větší výkon kovacího stroje (bucharu) podmiňuje nižší pevnosti zápustek,
- c) výkon kovacího stroje má odpovídat velikosti zápustky, čím větší je zápustka, (výkovek) a čím hlubší a složitější je tvar dutiny, tím nižší se používá pevnost zápustky. Čím menší je zápustka (výkovek) a čím jednodušší a mělký je tvar dutiny tím větší se používá pevnost.

Oceli na zápustky

Vzhledem k mimořádnému mechanickému a tepelnému namáhání kovacích nástrojů se na zápustkové oceli kladou tyto požadavky:

1. vysoká pevnost a houževnatost v celém rozmezí kovacích teplot,
2. dobrá prokalitelnost a co nejvyšší popouštěcí teplota,
3. nízká teplotní roztažnost a co nejvyšší tepelná vodivost,
4. vysoká ořezuvzdornost,
5. odolnost proti trhlinám tepelné únavy,
6. dobrá obrobitelnost a příznivá cena oceli.

Všechny uvedené vlastnosti nelze získat žádnou kombinací přísadových prvků, a proto se výrobci soustřeďují na zabezpečení rozhodujících vlastností. Podle obsahu hlavních legujících prvků se nástrojové oceli pro práci za tepla rozdělují na :

- a) wolframové,
- b) chrom molybdenové,
- c) niklové,
- d) chromové,
- e) uhlíkové

Chemické složení vybraných značek zápustkových ocelí obsahuje tab. 1, jejich doporučené použití je v tab. 2.

Tabulka 1. Chemické složení zápustkových ocelí

Značka oceli	Chemické složení (%)							
	C	Mn	Si	Cr	Mo	W	V	Ni
19 464	0,40 0,50	0,50 1,00	0,70 1,20	1,70 2,20	–	–	0,20 0,40	–
19 512	0,35 0,45	0,50 1,00	max. 0,50	2,20 2,80	0,40 0,80	–	0,35 0,60	–
19 552	0,30 0,40	0,20 0,50	0,80 1,20	4,50 5,50	1,10 1,70	–	0,35 0,60	
19 642	0,30 0,40	0,40 0,70	max. 0,45	0,70 1,20	–	0,20 0,60	–	4,20 5,30
19 650	0,50 0,60	0,40 0,90	0,20 0,60	0,90 1,30	–	0,30 0,80	0,05 0,25	1,40 1,90
19662	0,50 0,60	0,40 0,90	0,20 0,60	0,50 0,90	0,15 0,30	–	0,07 0,20	1,40 1,90
19 663	0,50 0,60	0,40 0,90	0,20 0,60	0,90 1,30	0,25 0,50	–	0,10 0,30	1,40 1,90
19720	0,25 0,35	0,20 0,50	0,15 0,50	2,00 2,80	–	3,80 4,80	0,45 0,65	
19721	0,25 0,35	0,20 0,50	0,15 0,50	2,00 2,70	–	8,50 10,00	0,10 0,30	
19 740	0,25 0,35	0,20 0,50	0,80 1,40	1,00 1,50	–	3,20 4,00	0,10 0,30	
								–

Tabulka 2. Použití zápustkových ocelí

Oceli	Doporučené použití nástrojových ocelí se zřetelem k			
	velikostí zápustky	namáhání zápustky	druhu kovacího stroje	materiálu výkovku
19 464	malé a střední zápustky	mírně tepelně namáhané nástroje	buchary, vřetenové lisy, kovací lisy	nelegované a nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů a olova
19 512	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	středně tepelně namáhané nástroje	buchary, vřetenové lisy, kovací lisy	nelegované, nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů
19 552	malé zápustky o tloušťce do 200 mm	vysoce tepelně namáhané houževnaté nástroje	buchary, vřetenové lisy, kovací lisy	nelegované, nízkolegované oceli, slitiny lehkých kovů

Literatura k dalšímu studiu:

ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL/ALFA. Praha 1988, 520 s.

Příklad :

Sestrojení tvaru výkovku

Zadání : Vypracujte výkres výkovku a stanovte rozměry výchozího polotovaru. Výkovek má tvar objímky a je z oceli 12 050 ($R_m = 540$ MPa). Základní rozměry součásti (viz. obr. 1):

$$\varnothing d_1 = 124 \text{ mm}$$

$$\varnothing d_2 = 34 \text{ mm}$$

$$\varnothing d_3 = 8 \text{ mm}$$

$$h_1 = 14 \text{ mm}$$

$$h_2 = 60 \text{ mm}$$

$$\alpha = 18^\circ$$

Výchozí materiál je ve stavu 12 050.0, $R_m = 540$ MPa, konečný materiál: 12 050.8, třída odpadu: 002.

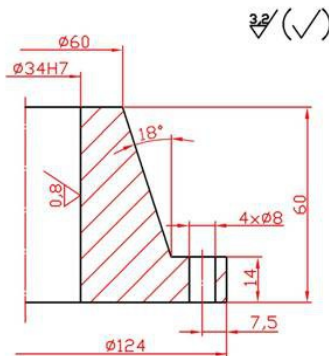
Postup řešení :

1. Výkres součásti – objímky.
2. Zařazení výkovku dle složitosti tvaru dle ČSN 42 9002.
3. Technologické parametry – určení přídavek na obrábění ploch a mezních úchylek rozměrů a tvarů (kovářské a technologické přídavek, úchylky rozměrů a tvarů).
4. Výkres výkovku.
5. Tvar a rozměry výronkové drážky.
6. Výpočet výchozího rozměru polotovaru.
7. Potřebná práce posledního úderu bucharu dle ČSN 22 8303.

1. Výkres součásti

Návrh technologického postupu výroby zápusťkového výkovku:

- vypracování výkresu výkovku
- vypracování výkresu předkovku
- určení výchozího polotovaru
- výpočet potřebné kovací síly – volba kovacího lisu
- volba postupu kování
- návrh způsobu a zařízení pro ohřev polotovaru
- postup tepelného zpracování a způsobu kontroly a přejímání výkovků



Obr. 1

2. Zařazení výkovku dle složitosti tvaru dle ČSN 42 9002

- tvarový druh: 5 – výkovek kruhovitěho průřezu dutý
- tvarová třída: 5 – osazené s kuzelem (jehlanem, klínem)
- tvarová skupina: 4 – výkovky duté
- technologické hledisko: 3 – výkovky s dělicí plochou kolmou na hlavní osu souměrné

3. Technologické parametry

Zápusťkové výkovky se vyrábějí dle ČSN 42 9030 ve 4 stupních přesnosti provedení:

- a) obvyklé provedení (ano)

- b) přesné provedení
- c) velmi přesné provedení
- d) provedení dle dohody

Kovářské přídavky na obrábění ploch se pro obvyklé provedení volí v závislosti na největším průměru (střední hodnotě šířky a délky výrobku ve směru kolmo k rázu) a největší výšce hotového výrobku.

V řešeném případě: $\varnothing d_1 = 124 \text{ mm}$
 $h_2 = 60 \text{ mm}$ → přídavek na obrábění: 2,5 mm

Volba stupně přesnosti pro provedení obvyklé:

Volí se dle zařazení výkovku podle složitosti tvaru (ČSN 42 9002) pro kování na bucharu:

rozměry kolmé ke směru rázu: IT 5

rozměry rovnoběžné se směrem rázu: IT 6

Volba mezních úchylek a tolerancí rozměrů:

Volí se dle stupně přesnosti IT 5 v závislosti na největším průměru výkovku ($\varnothing d_1 = 124 \text{ mm}$) a rozměru výkovku ve směru rázu ($h_{2v} = 65 \text{ mm}$):

mezní úchylky rozměrů : $\begin{matrix} +1,4 \\ -0,6 \end{matrix} \text{ mm}$; tolerance rozměrů : 2,0 mm

pro IT 6 kolmo ke směru rázu:

mezní úchylky rozměrů : $\begin{matrix} +2,1 \\ -1,1 \end{matrix} \text{ mm}$; tolerance rozměrů : 3,2 mm

Velikost bočních úkosů pro zápusťkové výkovky se volí z důvodu snadnějšího vyjmutí ze zápusťky: vnější 3°, vnitřní 7°.

Zaoblení hran a rohů výkovku a jejich úchylky se volí dle závislosti výšky výkovku na poměru výšky výkovku od dělicí roviny a průměru výkovku:

vnitřní poloměr : $R = 10^{+0,2}_{-0,4} \text{ mm}$; vnější poloměr : $r = 4^{+0,50}_{+0,25} \text{ mm}$

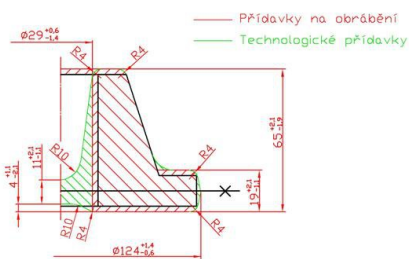
Nejmenší tloušťka blány se volí dle závislosti největšího rozměru výkovku ve směru kolmém k rázu na největší výšce výkovku:

$H_1 = 13 \text{ mm}$

Hodnota dovoleného přesazení p, dovoleného otřepu a sestřižení g je rovna „minusové“ mezní úchylce stanovené pro daný výkovek a daný rozměr úchylek kolmo k rázu:

přesazení : $p = +0,6 \text{ mm}$; otřep a ostřížení : $g = +0,6 \text{ mm}$

4. Výkres výkovku



Obr.2

5. Tvar a rozměry výronkové drážky

K určení velikosti výchozího polotovaru, ze kterého bude daný výkovek kován, je třeba stanovit celkový objem polotovaru, který zahrnuje objem výkovku s výronkem a přídavek na ztráty objemu opalem:

$$V_c = V_v + V_{výr} + V_{op} = 294\,549,444 + 24\,193,405 + 9\,562,285 = 328\,305,1 \text{ mm}^3$$

Objem výkovku se vypočte ze součtu objemů elementárních tvarů:

$$V_v = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_b = 108\,576,584 + 67\,151,543 + 81\,288,710 + 34\,918,802 + 2\,613,805 =$$

$$= 294\,549,5 \text{ mm}^3$$

$$V_1 = \frac{\pi}{4} \cdot (124^2 - 90^2) \cdot 19 = 108576,584 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \frac{\pi}{4} \cdot (90^2 - 60^2) \cdot 19 = 67151,543 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = \frac{\pi}{4} \cdot \left(\frac{90^2 - 60^2}{2} \right) \cdot 46 = 81288,710 \text{ mm}^3$$

$$V_4 = \frac{\pi}{4} \cdot (60^2 - 54^2) \cdot 65 = 34918,802 \text{ mm}^3$$

Objem blány :

$$V_b = \frac{\pi}{4} \cdot 16^2 \cdot 13 = 2613,808 \text{ mm}^3$$

Objem výronku je závislý na tvaru výronkové drážky dle ČSN 228308, její rozměry se určí pomocí tloušťky výronku h:

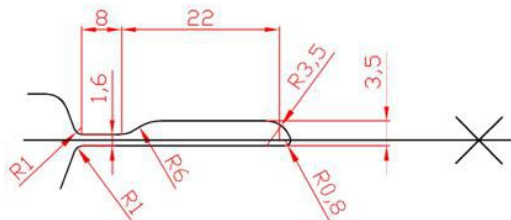
$$h = 0,015 \cdot \sqrt{S_D} = 0,015 \cdot \sqrt{12076,282} = 1,648 \text{ mm}$$

kde S_D je plocha průřezu výkovku do dělicí roviny [mm²]

$$S_D = \frac{\pi}{4} \cdot D^2 = \frac{\pi}{4} \cdot 124^2 = 12076,282 \text{ mm}^2$$

Dle velikosti tloušťky výronku h se určí další rozměry výronkové drážky:

$$\begin{aligned} h &= 1,6 \text{ mm} \\ n &= R = 3,5 \text{ mm} \\ s &= 8 \text{ mm} \\ s_z &= 22 \text{ mm} \\ S_{\text{výr}} &= 1,02 \text{ cm}^2 = 102,0 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$



Obr. 3

Přechod tvaru dutiny zápustky do dělicí roviny r je dán vztahem:

$$r = \frac{\sqrt{S_D}}{4} + 0,5 \cdot H_D = \frac{\sqrt{12076,282}}{4} + 0,5 \cdot 9,5 = 9,99 \approx 10 \text{ mm}$$

→ zaokrouhlujeme na nejbližší vyšší celé číslo

kde H_D je polovina výšky výkovku [mm], ($h = 19 \text{ mm} \rightarrow H_D = 9,5 \text{ mm}$)

Dle Guldinovy věty se vypočítá vlastní objem výronku:

$$V_{\text{výr}} = S_{\text{výr}} \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot D_t = 102 \cdot 0,5 \cdot \pi \cdot 151 = 24190,88 \text{ mm}^3$$

kde D_t [mm]; průměr vztažený k těžišti plochy výronku:

$$D_t = D + 2 \cdot s + \frac{s_z}{2} = 124 + 2 \cdot 8 + \frac{22}{2} = 151 \text{ mm}$$

0,5 → vyjadřuje zaplnění prostoru výronkové drážky dle složitosti tvaru na $(50 \div 70) \%$ → zvoleno 50 %.

Objem přídavku na opal se pohybuje v intervalu $(3 \div 5)\%$ objemu výkovku s výronkem, zvolena 3 %:

$$V_{op} = (V_v + V_{vyr}) \cdot 0,03 = (294\,549,444 + 24193,405) \cdot 0,03 = 9562,285 \text{ mm}^3$$

6. Výpočet výchozího rozměru polotovaru.

Rozměry polotovaru musí respektovat pravidlo přechování, tj. štihllostní poměr λ , který je dán poměrem délky polotovaru k jeho průřezu, vzhledem k nekontrolovatelnému vybočení do strany v počátku přechování (hrozí ztráta stability).

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

→ $\lambda = 2$ (zvoleno) pro předběžný průměr polotovaru

$$L_0 \rightarrow V = \frac{\pi \cdot D_0^2}{4} \cdot \lambda \cdot D_0 \Rightarrow D_0 = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot V}{\pi \cdot \lambda}} = \sqrt[3]{\frac{4 \cdot 328\,305,134}{\pi \cdot 2}} = 59,345 \text{ mm}$$

$$D_0 = 59,345 \text{ mm} \rightarrow D_0 \dot{=} 60 \pm 1 \text{ mm}$$

→ skutečný průměr polotovaru bude $D_0 \pm 1 \text{ mm}$ dle rozměrové normy ČSN 42 6510.

$$L_0 = \frac{4 \cdot V_c}{\pi \cdot D_0^2} = \frac{4 \cdot 328\,305,134}{\pi \cdot 60^2} = 116,114 \text{ mm}$$

Délka polotovaru:

$$L_0 = 116,114 \text{ mm} \rightarrow L_0 \dot{=} 116 \pm 1 \text{ mm}$$

→ skutečná délka polotovaru bude $116 \pm 1 \text{ mm}$ dle rozměrové normy ČSN 42 6510.

$$\lambda = \frac{L_0}{D_0} = 2,8 \div 1,5 \rightarrow \lambda = \frac{116}{60} = 1,9\bar{3} \in \langle 2,8; 1,5 \rangle$$

Kontrola štíhllosti polotovaru: → vyhovuje.

7. Potřebná práce posledního úderu bucharu dle ČSN 22 8303.

$$A = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot D_D) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{D_D}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot D_D^2) \cdot D_D \cdot \sigma_s = 18 \cdot (1 - 0,005 \cdot 14) \cdot \left(1,1 + \frac{2}{14}\right)^2 \cdot (0,75 + 0,001 \cdot 14^2) \cdot 14 \cdot 75 = 25684,926 \text{ J}$$

kde D_D [mm] průměr výkovku s výronkem, $D = D + 2 \cdot s = 124 + 2 \cdot 8 = 140 \text{ mm}$
 σ_s [MPa] střední přirozený přetvárný odpor

Závěr:

Návrh bucharu potřebného pro vykování dané součásti se provádí dle vypočtené potřebné práce ($A = 25,7 \text{ kJ}$). Jeho jmenovitá energie úderu musí být vyšší, proto lze zvolit buchar KH-4 o jmenovité energii úderu 40 kJ.

12.TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ A OCHLAZOVÁNÍ VÝKOVKŮ

Členění kapitoly :

- Prodlužování
- Operace volného kování
- Výpočet deformační síly a práce



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete stanovit zásady pro prodlužování a děrování předkovků ve volných kovárnách
- Budete umět vypočítat deformační síly a využití vstupního materiálu
- Seznámíte se základními operacemi volného kování



Výklad

12.1 Ochlazování velkých výkovků

Ochlazování výkovků má vliv na výsledné vlastnosti výkovku. Kovaný polotovár chladne ihned po vytažení z pece. Většina výkovků se po kování ochlazuje na vzduchu. Pro dobu ochlazování výkovku platí přibližně vztah:

$$\tau = 0,0066 \Delta T d \quad (12.1)$$

kde τ je doba ochlazování (s)

ΔT je teplotní rozdíl po průřezu výkovku (K).

d je průměr (m)

U výkovků většího průřezu z ocelí se sníženou tepelnou vodivostí se přistupuje k zpomalenému ochlazování, aby se dosáhlo předepsaných mechanických vlastností, zamezil

vznik povrchových a vnitřních trhlin, uvolnila zbytková pnutí a zabránilo povrchovému zakalení. Nejvýhodnější je spojit ochlazování s následným tepelným zpracováním.

V počáteční fázi ochlazování ($t > 550\text{ }^{\circ}\text{C}$) vznikají na povrchu výkovku tepelná pnutí tahová a v jádře výkovku tepelná pnutí tlaková. V závěru ochlazování ($t < 550\text{ }^{\circ}\text{C}$) se smysl tepelných pnutí mění. V jádru výkovku může v mezním případě dojít k porušení soudržnosti.

Naznačená představa vzniku a změny smyslu tepelných pnutí platí pro měkké oceli. Při ochlazování oceli o vyšší pevnosti je změna smyslu tepelných pnutí málo pravděpodobná (omezená relaxační schopnost oceli), takže i mikroskopické povrchové trhliny se mohou vlivem tahových pnutí rozšířit natolik, že zcela znehodnotí výkovky. Kromě tepelných pnutí je při ochlazování výkovků nutno počítat se vznikem pnutí překrystalizačních a zbytkových.

Aby se omezila vnitřní pnutí, snižuje se rychlost ochlazování výkovků ochlazováním v hromadách, v kovových bednách, v izolačním zásypu, ve vychlazovacích jamách nebo pecích.

Výkovky z nelegovaných (uhlíkových) ocelí se ochlazují na vzduchu, jestliže jejich průměr d a hmotnostní podíl uhlíku splňují podmínku:

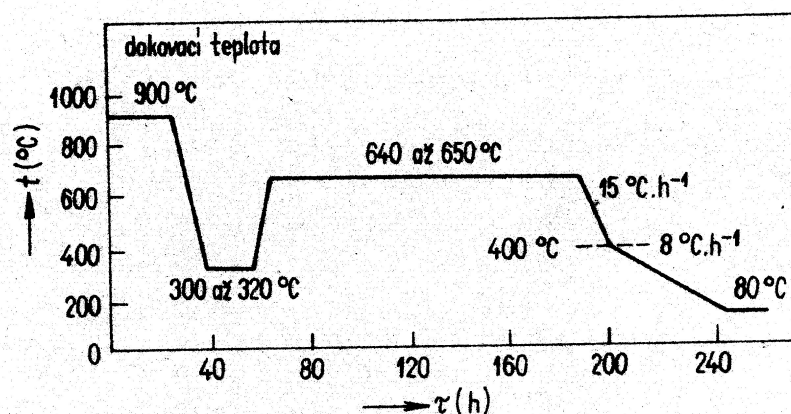
$d < 200\text{ mm}$	$w_C \leq 0,45$
$d = 200\text{ až }600\text{ mm}$	$w_C \leq 0,40$
$d > 600\text{ mm}$	$w_C \leq 0,30$

Pro výkovky z legovaných ocelí se doporučuje ochlazovací postup:

1. prodleva na teplotě $650\text{ až }700\text{ }^{\circ}\text{C}$ po dobu $\tau = d/25\text{ (h)}$, kde d je průměr výkovku (mm),
2. ochlazování v peci rychlostí $10\text{ až }12\text{ K} \cdot \text{h}^{-1}$ na teplotu $200\text{ }^{\circ}\text{C}$,
3. ochlazování na vzduchu.

Zvláštním případem vnitřních vad, které vznikají při ochlazování výkovků, jsou vločky. Příčinou vzniku vloček je současné působení dvou činitelů: kritické koncentrace vodíku v oceli ($H \geq 2\text{ cm}^3/100\text{ g oceli}$) a vnitřního pnutí ve výkovku. Vznik vloček se vysvětluje mechanismem zbrzděného lomu, který se rozvíjí až po určité inkubační době, a to účinkem nižšího napětí, než odpovídá pevnosti v tahu.

Vzniku vloček se čelí protivločkovým žiháním, které přímo navazuje na dokovací teplotu (obr. 12.1). Účelem tohoto žihání je snížit koncentraci vodíku v oceli pod kritickou mez.



Obr. 11.1. Protivločkové žihání výkovku o $d_{\max} = 1\,030\text{ mm}$ z oceli 34ChN3M

7.8 Tepelné zpracování výkovků

I když kování má příznivý vliv na strukturu a vlastnosti výkovků, navazuje na ně většinou tepelné zpracování, jímž se celková jakost výkovků dále zlepšuje, a to s přihlédnutím k jejich dalšímu zpracování a určení. K základním způsobům tepelného zpracování výkovků patří:

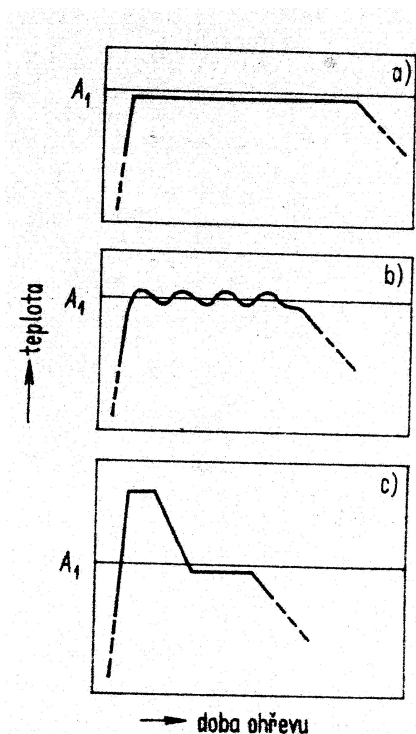
a) Žihání ke snížení pnutí

Zařazuje se pro uvolnění vnitřních pnutí, která se ve výkovku kumulovala při rovnání, svařování, pálení a ochlazování a která by po dalším obrábění mohla vést ke zkřivení, zborcení či lomu součásti. Obvykle se používá postup:

1. pomalý ohřev na teplotu 450 až 650 °C (nejlépe s využitím tepla výkovku chladnoucího z dokovací teploty),
2. prodleva na žihací teplotě po dobu $\tau = d/25$ (h), kde d je průměr výkovku (mm),
3. ochlazování v uzavřené peci rychlostí 10 až 12 K · h⁻¹ na teplota 200 °C. .
4. ochlazování v otevřené peci, popřípadě na volném vzduchu či v pískovém zásypu.

Žihání na měkko

Účelem je sferoidizovat karbidy ve feritické matici, a tím zlepšit obrobitelnost ocelí se zvýšenou koncentrací uhlíku ($w_C > 0,5 \%$) a ocelí legovaných. Podstatou je dlouhodobé žihání těsně pod teplotou A_{c1} , (obr. 123a), které však u některých eutektoidních a nadeutektoidních ocelí trvá i přes 40 h. Úspornější postupy naznačují obr. 123b, c.



Obr. 12.2. Způsoby žihání na měkko u ocelí na válivá ložiska:

- a) žihání pod teplotou A_1 , b) žihání s cyklováním kolem teploty A_1 , c) žihání po austenitizaci

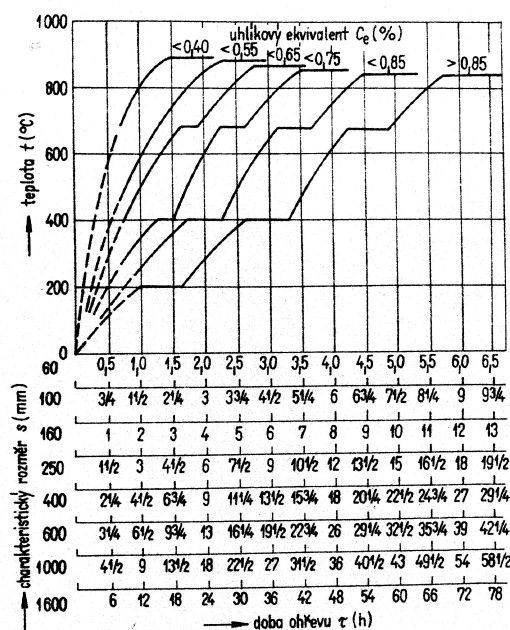
Normalizační žíhání

U výkovků z podeutektoidních ocelí se uvedeným žíháním získá rovnoměrná a jemnomrná struktura. Podstatou je ohřev 30 až 50 °C nad teplotu A_{c3} , prodleva (austenitizace) a následné ochlazování. Ohřivací režim lze stanovit podle diagramu na obr. 12.3 na základě uhlíkového ekvivalentu C_e :

$$C_e = w_C + 0,2w_{Mn} + 0,25w_{Cr} + 0,33w_{Mo} + 0,1w_{Ni} + 0,2w_V + 0,2w_{Si} + 0,1w_W + 0,2w_{Ti} + 0,1w_{Al} - 0,1 \quad (12.2)$$

kde w_i je hmotnostní podíl i-tého prvku v oceli (%). Rovnice (12.2) platí pro oceli tohoto chemického složení:

$$w_C \geq 0,9\%, w_{Mn} \leq 1,1\%, w_{Cr} \leq 1,8\%, w_V \leq 0,25\%, w_W \leq 2,0\%, \\ w_{Si} \leq 1,8\%, w_{Mo} \leq 0,5\%, w_{Ni} \leq 5\%, w_{Ti} \leq 0,5\%, w_{Al} \leq 2\%.$$



Obr. 12.3. Režimy normalizačního žíhání (charakteristický rozměr s se určuje z tab. 1).

Tabulka 1. Charakteristický rozměr výkovku pro stanovení doby ohřevu při normalizačním žíhání výkovků

Tvar výkovku		Charakteristický rozměr s
Výkovky podélné	kruhového průřezu	Průměr výkovku d
	čtvercového průřezu	Strana čtverce a
	obdélníkového průřezu	Výška obdélníka h

Dutá tělesa		Tloušťka stěny t
Kotouče plné		Výška kotouče h
Kotouče děrované a kroužky		Výška výkovku h nebo tloušťka stěny t

Sázecí teplota se počítá ze vztahu (397), prodleva na austenitizační teplotě $\tau = t/60$ {h}, kde t je tloušťka výkovku (mm). Se vzrůstající koncentrací přísadových prvků se prodleva prodlužuje, aby se úplně rozpustily karbidy.

Ochlazování z austenitizační teploty musí být rychlé, aby se dosáhlo nejjemnější disperzity výsledné struktury. U menších průřezů stačí ochlazování na vzduchu, u větších průřezů se ochlazování urychluje proudícím vzduchem, popřípadě ponořením do olejové lázně.

Požadavky na vlastnosti oceli pro náročné výkovky

Je znám nepříznivý účinek doprovodných prvků na mechanické vlastnosti oceli. Fosfor, antimon, arzen v interakci s křemíkem a manganem způsobují popouštěcí křehkost a vedou ke snížení lomové houževnatosti K_{IC} a k posunu tranzitní teploty k vyšším teplotám. Sulfidy a nekovové vměstky na bázi hliníku a křemíku mohou usnadňovat tvorbu kavit na hranicích zrn i uvnitř zrn a přispívat tak ke vzniku creepových lomů za zvýšených teplot a ke vzniku plastických lomů v oblasti nad horní tranzitní teplotou. Pokroky v metalurgii v posledních letech způsobily, že nežádoucí prvky mohou být omezeny pod hranici 20 ppm, vytváří se možnost vyrábět tzv. *čisté* oceli. Omezení síry pod hranici 10 ppm již nevyžaduje přísadu manganu do oceli a mangan může být redukován na 0,01 až 0,02 %. Takovéto oceli se označují pojmem „superčisté oceli“.

Výrobu čistých a superčistých ocelí umožnila sekundární metalurgie za využití pánvové pece ve spojení s vakuovým zpracováním v pánvi a při odlévání. Tyto postupy umožnily vyrábět oceli o takové čistotě, která do té doby byla zatím možná pouze v laboratořích. Tavby jsou vedeny tak, aby Mn , Si a P byly odstraněny již v oxidačním stadiu taveb, neboť tyto prvky oxidují snadněji než železo a vstupují do oxidační strusky.

To je obecně možné v elektrické obloukové peci. Cín, arzen a antimon jsou v prvním kole redukovány volbou čistého šrotu, který je taven zásaditým oxidačním procesem. Z tavby v elektrické obloukové peci se stáhne oxidační struska a tavba je přelita do pánvové pece s redukční struskou, která umožní odstranit síru. Při vakuovém zpracování odsířené oceli v pánvové peci a za probublávání tavby argonem se uskutečňuje dezoxidace procesem VCD. To zajišťuje méně částic oxidů v tavbě, než při dezoxidaci cestou přísady křemíku. V tomto stadiu se také přidávají legující přísady. Pochod je zakončen odléváním do ingotu v kesonu. Tímto relativně vysokým odplyněním za účinné podpory probublávání argonem je odstraněn dusík, vodík a také kyslík. Výsledkem je superčistá ocel, která má v maximální míře snížené obsahy škodlivých prvků, stejně jako obsah oxidů a sulfidů. Uvedené oceli se současně době intenzivně využívají pro některé typy náročných volných výkovků.

Oceli pro turbínové rotory

Čisté a superčisté oceli mají zvýšenou lomovou houževnatost a vysokou odolnost vůči popouštěcí křehkosti (tab.1). Tyto vlastnosti jsou požadovány při výrobě rotorů a disků turbin.

Důvodem jsou známé havárie rotorů a disků při špičkových tepelných napětích, vznikajících při startu a odstavování, dále při vysokorychlostních testech nebo při normální práci při nízkých teplotách.

Příkladem časového vývoje čistoty je ocel $1Cr1Mo0,25V$, která byla vyráběna již v 50. letech. Původní tolerované obsahy fosforu a arzenu byly 250 ppm, v případě síry 200 ppm, v případě cínu 150 ppm a v případě antimonu 50 ppm. V 90. letech je tato ocel vyráběna s tolerancí P , Sn a As na úrovni 30 ppm, S 20 ppm a Sb 15 pp. Výrazná zlepšení nastala také u NT ocelí na bázi Ni. Jako příklad lze uvést chemické složení $3,5NiCrMoV$ oceli ve stávajícím běžném stavu, ve stavu čistém a ve stavu superčistém, který v tab. 2. U této oceli je byl vypočítaný J faktor $[J = (Mn+Si) (P+Sn).10^4]$ v prvním případě 48, v druhém případě 10 a v třetím jen 1,6.

Zajímavé jsou výsledky zavádění těchto ocelí v průmyslu. Zatím bylo v údobí let 1990 až 1993 vyrobeno 200 000 t rotorové oceli, z toho cca 5 % na superčisté oceli. U evropských výrobců byly výhrady k maximálnímu obsahu cínu a arzenu, kdežto japonští výrobci měli výhrady pouze k dosažení požadavku na arzen. S nízkým obsahem antimonu nebyly zásadní problémy. U dvou výrobců byl požadavek na zmírnění max. obsahu Mn na max. 0,10 až 0,12%. U evropských výrobců vznikl další požadavek na snížení hraničních obsahů As , Sb a Sn . To je v souladu se situací se šrotem na evropském teritoriu.

V nejbližší budoucnosti je nutno prověřit a definovat limitní obsahy prvků P , S , As , Sb a Sn , které v synergii s ostatními legujícími prvky již nevedou k dalšímu zlepšení oceli v provozním cyklu. Další požadavky se kladou na maximální přípustný obsah Mn u superčistých ocelí. Obdobně se objevil zvýšený zájem o výrobu superčisté oceli $CrMoV$ a 12% Cr oceli.

Zřejmě je nezbytné, aby potřeba čistých a superčistých ocelí byla dána do souladu s konstrukčním návrhem a požadavky na provoz turbin. Současně je nutné, aby byly sladěny požadavky výrobců a zákazníků, neboť např. potřeba tranzitních teplot vrubové houževnatosti a úrovně lomové houževnatosti K_{IC} je často rozdílná od případu k případu.

Tabulka 2. Varianty oceli $3,5NiCrMoV$

Ocel	C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	Mo	V	As	Sb	Sn
Běžná	0,26	0,30	0,042	0,008	0,012	3,47	1,77	0,39	0,12	0,006	0,001	0,006
Superčistá (max.)	0,30	0,05	0,05	0,005	0,002	3,75	2,00	0,50	0,15	0,005	0,002	0,005
Cílová	0,25	0,02	0,02	0,002	0,001	3,50	1,65	0,45	0,10	0,002	0,001	0,002

K požadavkům na čistší ocel se hlásí také další odvětví průmyslu, jako je chemický průmysl, výrobci tlakových nádob a dalších tlakových komponent a průmysl pro stavu mimopobřežních konstrukcí.

Oceli pro hydroprocesní nádoby

I v dalších průmyslových oblastech se začínají objevovat nové požadavky na čistotu ocelí,

která je spojena s úrovní tranzitních teplot, náchylností ke koroznímu praskání v agresivním prostředí, náchylnosti k popouštění křehkosti a s vodíkovým zkřehnutím oceli.

Příkladem je ocel pro výrobu hydroprocesních nádob pro rafinerie ropy. Stávající koncepce je vysoce čistá ocel $2,25Cr-1Mo$, ve světě (a hlavně v Japonsku) se však v průběhu posledních let objevily i oceli na bázi $Cr-Mo-V$, a to jako původní oceli $2,25Cr-1Mo$ s přísadou vanadu, nebo jako nové oceli typu $3Cr-1Mo-V$. U původní oceli je použito jednak kritéria J -faktoru, jednak faktoru X dle *Bruscata*. Hodnoty J -faktoru se nacházejí na úrovni max. 50 a faktor X je vyžadován na úrovni nižší než 12. Faktor X je původně uvažován pro svarové spoje a je uveden v následující rovnici:

$$\overline{X} = \frac{(10P + 5Sb + 4Sn + As)}{100}$$

kde obsahy prvků se uvádějí v ppm.

Při výrobě ocelí pro hydroprocesní tlakové nádoby je možno očekávat stabilní metalurgii, takže jediným proměnlivým prvkem se stává cín, resp. fosfor a cín. U oceli $2,25Cr-1Mo$ lze dosáhnout při metalurgii typu VCD hodnot faktoru J i na úrovni 10 až 20, avšak při podstatné redukci Mn a Si . Proti tomu však stojí zvýšené požadavky na pevnost, které neumožňují pokles substitučních prvků Mn a Si na úroveň, která je dána požadavky na superčisté oceli pro turbíny. Obecně se uvádí, že pokud $P+S$ dosáhne hranice 0,010 %, nelze již očekávat význačnější posuv v tranzitní teplotě. Toto je možno potvrdit vítkovickými výsledky jak z let 1985-86, tak ze současnosti. Z dřívějších výsledků, kdy byla ke zhotovení oceli $2,25Cr-1Mo$ použita duplexní technologie s přípravou oceli v SM-pecích vyplývá, že pro většinu taveb s faktorem J do 80 lze dosáhnout posunu tranzitní teploty vrubové houževnatosti do 20 °C. Tento posuv je příznivý tehdy, když se dosahuje tranzitní teploty v dodaném stavu na úrovni –100 až –80 °C.

Oceli pro mimopobřežní konstrukce (kotevní systém)

U těchto ocelí je požadována vysoká pevnostní úroveň spojená s nízkou tranzitní teplotou a vysokou houževnatostí na úrovni horní tranzitní teploty. Ze světového hlediska se používají pro kotevní systémy plošin typ TLP (*tension leg platforms*) oceli typu $Cr-Mn$, $3,5NiCrMoV$, $3NiCrMo$, $2,8NiMo$ a $2NiCrMoCuNb$. Uhlíkový ekvivalent se pohybuje u těchto ocelí od 1 do 0,7 %, u oceli na bázi $NiMo$ je dokonce na úrovni 0,5 %. Ve VÍTKOVICÍCH byla z ocelí $A707$, $HY-80$ a oceli dle požadavků NORSOK vyrobena 50 t tavba, která vyhověla jak z hlediska nízké úrovně uhlíkového faktoru, tak z hlediska vysokých požadavků na pevnostní vlastnosti a houževnatost oceli. U cca 75 % výše uvedených ocelí je požadavek na škodlivé prvky definován úrovní 50 ppm. V **tab. 3** jsou uvedeny rámcové vlastnosti vyvinuté oceli a současně hodnoty vrubové houževnatosti při –40 a –60 °C. Jak vyplynulo z dalšího hodnocení, ocel je rovněž plně odolná vůči katodickému vodíkování, které nastává při expozici výkovku v mořské vodě.

Tabulka 3. Mechanické vlastnosti oceli pro kotevní systém plošin

Deska/tloušť ka	Místo odběru	R _e [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	Z [%]	KCV [Jcm ⁻²]	
						-40 °C	-60 °C
872/175	A	549	630	22	76	268-249- 282	228-260- 242
	Z	542	637	24	78	296-232- 292	228-230- 230

Supermartenzitické oceli

U supermartenzitických ocelí zaujala stavitele námořních plošin jejich odolnost jak vůči mořské vodě, tak vůči agresivní směsi ropy, zemního plynu s H₂S, mořské vody a CO₂. Vysoká odolnost této oceli vůči uvedené směsi a mořské vodě se dosahuje v první řadě vysokou čistotou oceli a v druhé řadě vhodnou volbou mikrostruktury (martenzit a reverzní austenit). Co se týká čistoty oceli, jsou primární požadavky vedeny k razantnímu omezení obsahu uhlíku pod 0,015 % a dále k omezení síry (max. 0,002 %) a fosforu (max. 0,020 %). Snížením obsahu uhlíku se omezí precipitace karbidů typu M₂₃C₆ na hranicích zrn, což vede k vysoké odolnosti vůči koroznímu praskání pod napětím a vodíkové křehkosti. Omezení fosforu není sice výrazné, avšak i na této úrovni lze brát v úvahu, že náchylnost k popouštěcí křehkosti je výrazně omezena. Nízký obsah síry zvyšuje houževnatost vysokopopuštěného martenzitu a celkově přispívá k úrovni houževnatosti. K ilustraci tohoto případu je v tomto příspěvku uvedena **tabulka 4**, obsahující výsledky taveb oceli 16/5Mo, které mají chemické složení, blížíící se požadovanému řešení.

Tabulka 4. Mechanické vlastnosti výkovků z oceli 16/5Mo

Výrobek	Zpracování	R _{p0,2} [MPa]	R _m [MPa]	A ₅ [%]	Z [%]	KCV [Jcm ⁻²]
Výkovek	Laboratorní TZ	790	887	21,5	70,6	177
	Průmysl TZ	769	875	21,5	66,8	152

Závěr

Při omezování obsahu škodlivých prvků a doprovodných prvků u rotorů turbin bylo dosaženo zvýšené lomové houževnatosti, snížené přechodové teploty vrubové houževnatosti a úplné odolnosti vůči vývinu popouštěcí křehkosti při zachování nebo zvýšení creepové pevnosti a plasticity oceli.

Současně to znamená, že zlepšené vlastnosti oceli se odrazí ve zvýšené životnosti, vyloučení neočekávaných odstávek, prodloužení intervalu mezi plánovanými inspekcemi, rychlejší rozběh provozu a možnost cyklování, vyloučení předeřhřevu před napětím na provoz a zvýšení účinnosti NT rotorů kvůli zvýšené pracovní teploty.

Byly uvedeny i další oblasti průmyslu, kterých se dotýká efektivnost snížení obsahu škodlivých prvků. Jedná se v pravé řadě o tlakové nádoby a zařízení, pracující při zvýšených

teplotách, oceli pro mimopobřežní konstrukce a supermartenzitické oceli.

Otázky:

1. Jak můžete charakterizovat základní operace volného kování?
 2. Jak vypočítáte deformační sílu a práci při prodlužování ?
 3. Jak stanovíte tvarové změny při prodlužování pravoúhlých průřezů na rovných kovádlech ?
 4. V jakém intervalu se používá poměrná délka záběru ?
-

Úlohy k řešení :

1. Vypočítejte optimální, poměrnou délku záběru pro pravoúhlý průřez s výškou $a = 700$ mm.
 2. Vypočítejte deformační sílu a deformační práci při prodlužování pravoúhlého průřezu 700×500 mm. Polotovár je z oceli tř. 12 600.
-

Literatura k dalšímu studiu:

SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, Vol. 14a, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.

GREGER, M. - SOMMER, B.: Modelluntersuchungen zum Werkstofffluss beim Lochen von Freiformschmiede- stücken. Neue Hütte, 1984, 1, 13.

ŽÍDEK, M., DĚDEK, V., SOMMER, B.: Tváření oceli. SNTL/ALFA. Praha 1988, 520 s..

Seznam veličin a jejich jednotek ke kapitole 7

Veličina

Jednotka

značka	název	
a	ukazatel strukturní dokonalosti ingotu	l
A	pěchovací ekvivalent	l
b, h, l, ...	rozměry výkovku	mm, m
B, H, L, ...	rozměry nástroje	mm, m
C _e	uhlíkový ekvivalent	%
d _a	vnitřní průměr výkovku	mm, m
d _č	průměr manipulačního čepu ingotu	mm
d _{ip}	střední průměr napěchovaného ingotu	mm
d _p	vnější průměr předkovku	mm
d _z	zabírací průměr výkovku	mm
D _d	průměr děrovacího trnu	mm
D _p	průměr příložky	mm
D _{pr}	průměr prodlužovacího trnu	mm
D _r	průměr rozkovacího trnu	mm
f	ukazatel šíření	l
F	deformační síla	MN
hp	výška předkovku	mm
hz	zabírací výška výkovku	mm
k _t	úkos těla ingotu	%
K	stupeň prodlužování ingotu	l
K'	stupeň prodlužování na trnu	l
K''	stupeň rozkování na trnu	l
l _z	délka záběru	mm, m
m _b	hmotnost beranu	kg
m _{ti}	hmotnost těla ingotu	t
m _{uz}	užitková hmotnost ingotu	t
m _v	hmotnost výkovku	kg
m _{vd}	hmotnost výděrku	kg
m _{vj}	jmenovitá hmotnost výkovku	kg
m _{vt}	teoretická hmotnost výkovku	kg
m _o	hmotnost výchozího polotovaru	kg
n	počet pěchovacích operací	l
0	opal	%
p	pěchovací ukazatel	l
P	stupeň pěchování ingotu	l
P'	stupeň pěchování v poslední pěchovací operaci	l
PK	stupeň prokování	l
r	poloměr ohybu	mm
r	poloměr zaoblení	mm
s _o	štíhlost výchozího polotovaru	l

S	soudkovitost	%
S _i	plošný obsah středního příčného průřezu ingotu	mm ²
210		
S _{ip}	plošný obsah středního příčného průřezu napěchovaného ingotu	mm ²
S _{kr}	plošný obsah osového průřezu kroužku	mm ²
S _{kt}	plošný obsah osového průřezu děrovaného kotouče	mm ²
S _s	plošný obsah příčného průřezu špalku	mm ²
S _v	plošný obsah největšího příčného průřezu výkovku	mm ² , m ²
S _{vp}	střední příčný průřez napěchovaného výkovku	mm ² , m ²
S _o	plošný obsah příčného průřezu výchozího polotovaru	mm ² , m ²
t	technologický odpad	%
t	teplota	°C
t	tloušťka	mm, m
t _{dt}	tloušťka stěny dutého tělesa	mm
t _{ka}	tloušťka stěny děrovaného kotouče	mm
V _v	objem výkovku	m ³
w _i	hmotnostní podíl i-tého prvku	%
z	míra osazování	mm
z'	hloubka zatlačení příložky	mm
α	úhel ohybu	(°)
α	úhel výřezu úhlových kovadel	(°)
α	úhel zkroucení	(°)
β	součinitel šíření	1
Δh	absolutní výškový úběr	mm
dT	teplotní rozdíl	K
ε	poměrný výškový úběr	%
R	využití výchozího polotovaru	%
v	součinitel tvaru kovadla	1
ρ	hustota	kg. m ⁻³
σ _p	přirozený deformační odpor	MPa
τ	doba ohřevu, popř. ochlazování	s, h
φ	průřezový ukazatel	1
ω	úhel hranění	(°)

Indexy

o počáteční (výchozí),

k konečný,

n pořadové číslo průchodu

c celkový

min nejmenší

Léternatura ke kapitole 7

(1) Chvojka, J.: Vady ingotů. Praha, SNTL 1968.

(2) ON 42 5101-63 Ingoty ocelové kovářské. Rozměrová norma, Praha, Vydavatelství ÚNM 1963.

(3~ Tarnovskij, I. J.-Trubin, V. N.-Zlatkin, M. G.: Svobodnaja kovka na pressach. Moskva, Mašinostrojenije 1967.

(4J Kamnev, P. V.: Soveršenstvovanijé koukl krupnych pokovok. Leningrad, Mašinostrojenije 1975.

(5~ Kovka i šampovka, 1. a 2. díl. Moskva, Mašinostrojenije 1985, 1986.

(6~ Ochrimenko, J. M.: Technologija kuznečno-stampovočnogo proizvodstva. Moskva, Mašinstrojenije 1976.

(7~ Sommer, B.: Soudobé kovářské ingoty. Hutník, 1977, č. 11, s. 34.

(8~ Kepka, M.-Baráčková, L.: Výroba oceli pro kovářské ingoty o velké hmotnosti. Hutnické listy, 1979, č. 5, s. 351 až 356.

(9~ Mostovoj, A. B.-Vygodner, L. F.-Kamenskij, L. A.: Novyje technologičeskije processy polučeniya kačestvennyh kuzněčnyh slitkov. Moskva, Metallurgija 1983. (10~ Kepka, M.: Výroba oceli pro tlakové nádoby jaderných reaktorů, rotorů parních turbín a turboalternátorů. Hutnické listy, 1982, č. 3, s. 166 až 177..

(11~ ČSN 420276-69 Výkovky ocelové volné v obvyklém provedení. Technické a dodací předpisy. Praha, Vydavatelství ÚNM 1970.

(12~ Ochrimenko, J. M.: Nerovnomernost deformacii pri kovke. Moskva, Mašinstrojenije 1969.

(13~ Sommer, B.: Inhomogenität der Formänderung beim Stauchen. Neue Hütte, 1980, č. 12, s. 451 až 453.

(14~ Drastík, F.: Výpočty z oboru kování a lisování. Praha, SNTL 1972.

(15) Petrou, L. N.-Kasatonov, V. F.-Etin, I. Z.: Kovka na molotach i gidravličeskich pressach. Leningrad, Mašinstrojenije 1980.

(16~ Judovič, S. Z.: Kovka na molotach zagotovok iz legirovannyh stalej. Moskva, Mašinstrojenije 1968.

(17~ Sommer, B.: Teoretické základy prodlužování výkovků. Sborník vědeckých prací VŠB, 1976, č. 3, s. 79 až 96.

(18~ Sommer, B.: Vliv hranění na intenzitu prodlužování při kování na rovných kovádlech. Hutnické listy, 1978, č. 1, s. 37 až 41.

212

(19) Herold, G.-Herold, K.-Schwager, A.: Massivumformung. Berlin, VEB Verlag Technik 1982.

(20) ČSN 429014-69 Výkovky ocelové volné v obvyklém provedení. Dutá tělesa. Praha, Vydavatelství ÚNM 1970.

(21) ČSN 429013-69 Výkovky ocelové volné v obvyklém provedení. Kroužky. Praha, Vydavatelství ÚNM 1970.

[22] Burda, S.-Elfmár, J.-Turoň, S.: Nejvhodnější způsob výroby kovaných kruhů. Hutnické listy, 1966, č. i, s. 16 až 23.

(23) Krzekotowski, Z.: Technologia kucia swobodnego i półswobodnego. Katowice, Śląsk 1964.

[24] Semenov, E. L.: Kovka i objemnaja šampovka. Moskva, Vyssšaja škola 1972.

[25] Elfmár, J.: Optimalizace děrování předkovků pro bezešvé prstence těžkých tlakových nádob. Hutnické listy, 1982, č. 3, s. 178 až 182.

(26) Sommer, B.: Základy děrování volných výkovků. Hutník, 1980, č. 11, s. 435 až 440.

(27) Sommer, B.: Nový způsob prodlužování kovářských ingotů. Hutník, 1973, č. 10, s. 394 až 398.

[28] ČSN 429011-69 Výkovky ocelové volné v obvyklém provedení. Podélné. Praha, Vydavatelství ÚNM 1970.

(29) Hašek aj.: Kování. Praha, SNTL 1965.

(30) ČSN 429010-69 Výkovky ocelové volné v obvyklém provedení. Kované tyče. Praha, Vydavatelství ÚNM 1970.

(31) ČSN 429012-69 Výkovky ocelové volné v obvyklém provedení. Kotouče a kruhové desky. Praha, Vydavatelství ÚNM 1970.

[32] Haller, H. W.: Handbuch des Schmiedens. München, Carl Hanser Verlag 1971.

[33) Technologie der Wärmebehandlung von Stahl. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1976.

[34) Freiformschmieden. Grundlagen und betriebliche Verfahren. Düsseldorf, Verlag Stahleisen 1980.

(35) Turoň, S.-Hčffer, F.-Barteček, R.: Nejvýhodnější technologie výroby volných výkovků kroužků. Hutnické listy, 1972, č. 2, s. 120 až 123.

[36) Hensel, A.-Spittel, T.: Kraft- und Arbeitsbedarf bildsamer Formgebung. Leipzig, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie 1978.

(37) ČSN 429001-69 Výkovky ocelové volné v obvyklém provedení. Všeobecná část. Praha, Vydavatelství ÚNM 1970.

13. VADY VÝKOVKŮ

Členění kapitoly :

- Vady ingotů
- Vady výkovků a jejich indikace
- Vady plynule litých polotovarů a válcovaných polotovarů
- Vady vznikající při ohřevu, kování a ochlazování výkovků



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete popsat povrchové a vnitřní vady vstupních polotovarů a výkovků
- Budete umět vypočítat deformační síly a využití vstupního materiálu
- Seznámíte se základními způsoby odstraňování vad v kovárnách

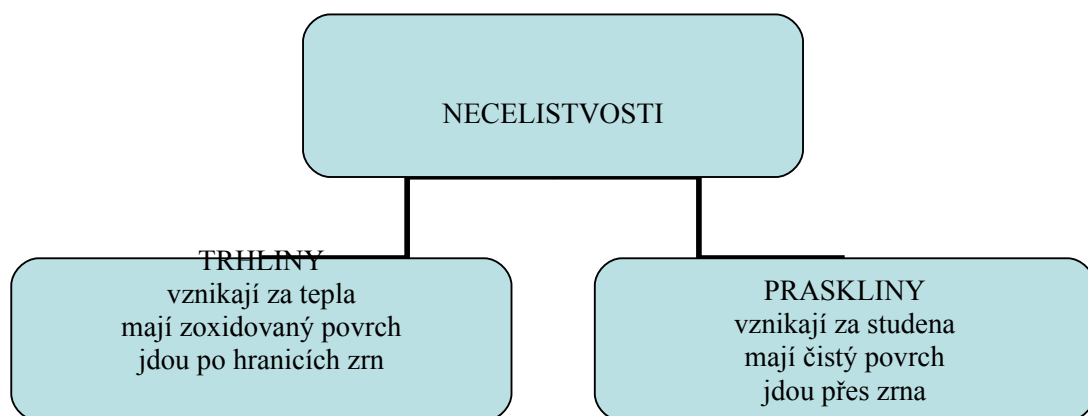


Výklad

1. Úvod

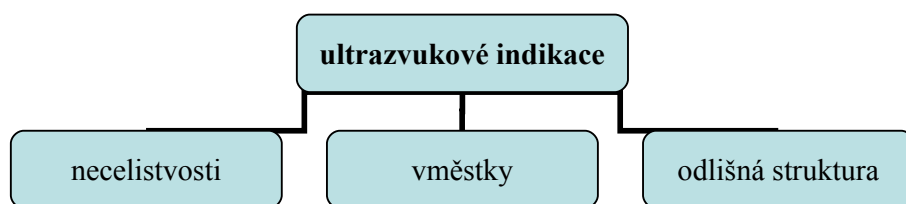
Necelistvosti (vady), které vznikají při volném kování, představují většinou velmi nepříjemný technický a ekonomický problém. Výkovky jsou totiž zpravidla dražší než odlitky. Jelikož „stojí více, více se od nich očekává“. Proto je třeba se vadám soustavně věnovat a hledat cesty, jak jim předcházet.

Rozlišují se trhliny a praskliny, jak ukazuje obr. 1.



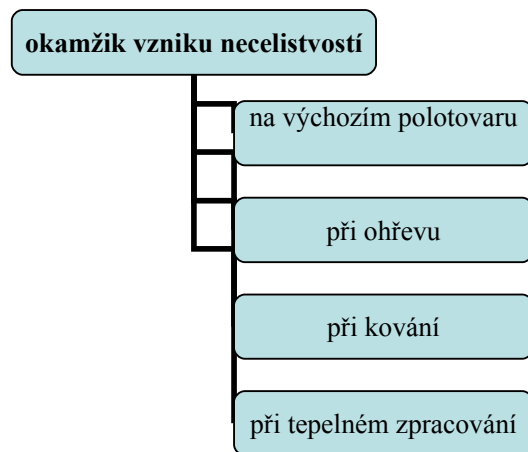
Obr. 1 Hlavní rozdíly mezi trhlinami a prasklinami

Necelistvosti uvnitř výkovků se většinou odhalují při ultrazvukové zkoušce. Ultrazvukové indikace však nutně nemusí znamenat, že v objemu výkovku jsou necelistvosti, jak ukazuje obr. 2. Může jít také o hrubé vměstky, nebo oblasti s odlišnou strukturou. Například hrubé feritické pásy nebo Widmanstättenova struktura se může projevit jako indikace.



Obr. 2 Možné příčiny ultrazvukových indikací

Přehledu vad vyskytujících se na volných výkovcích byly věnována velká pozornost. Jednotlivé práce se však dosti liší, podle toho, v které oblasti autor sbíral zkušenosti. V dalším rozboru budeme při dělení necelistvostí vycházet z okamžiku, kdy tyto vady vznikají, jak je schematicky znázorněn na obr. 3.

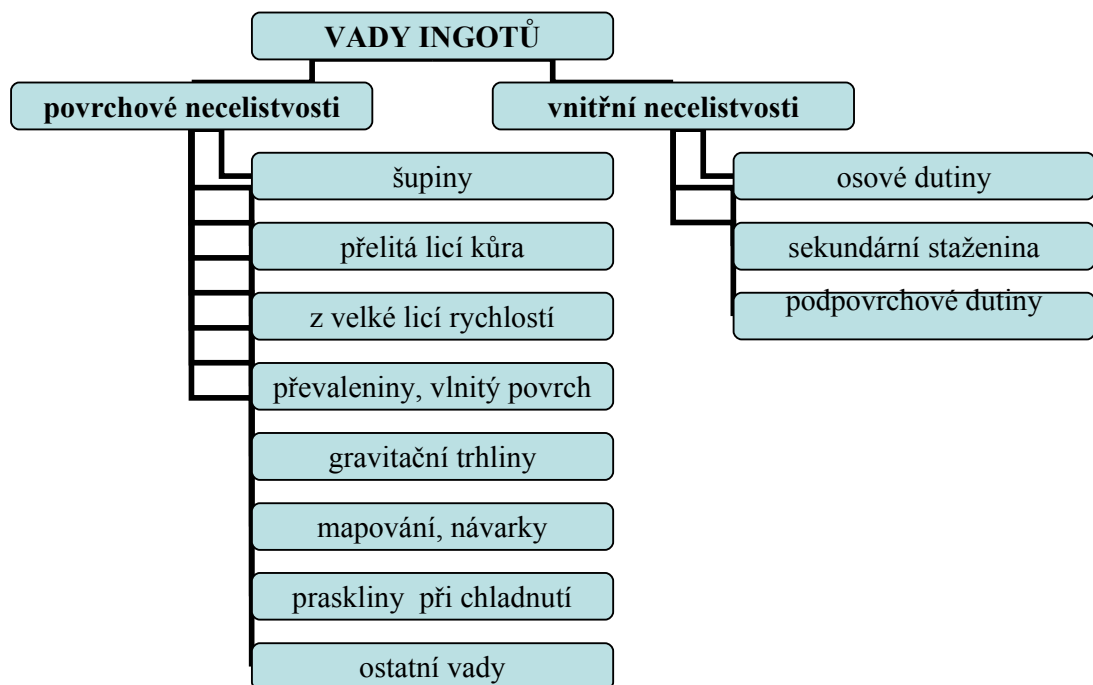


Obr. 3 Schéma dělení necelistvostí podle okamžiku vzniku

Vstupními polotovary pro výrobu volných výkovků jsou kovářské ingoty, kontislitky a v menší míře i válcované sochory.

2. Necelistvosti na ingotech

U ingotů se vyskytuje velká řada vad. Probereme jen ty nejčastější. Jejich přehled je na obr. 4.



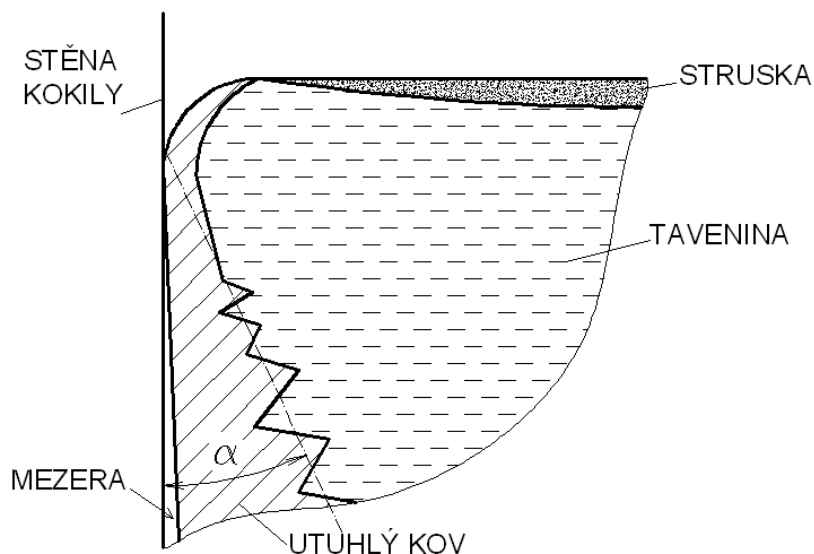
Obr. 4 Přehled hlavních vad ingotů

2.1 Povrchové vady ingotů

Šupiny vznikají rozstříkáním kovu při lití horem. Kov vystříklý na stěnu kokily utuhne dříve než je zalit stoupající hladinou. Šupiny se mohou vyskytnout kdekoli na povrchu těla a mají nepravidelný tvar. Nebývají hluboké a lze je snadno vypálit při kování. Dnes převládá lití ingotů spodem, které všeobecně vede ke zlepšení povrchu.

Převaleniny a vlnitý povrch se projevují většinou na velké části nebo i na celém povrchu těla ingotu. Při vysvětlování jejich vzniku vyjdeme ze situace při lití ingotů znázorněné na obr. 3. Tekutá ocel nesmáčí povrch kokily, proto má hladina konvexní tvar. Na hladině plave vrstva strusky a roztaveného licího prášku. V blízkosti stěny kov velmi rychle tuhne. Tuhnutí pak pokračuje ve směru hlavních krystalografických os, tloušťka stěny je tedy od určitého okamžiku nerovnoměrná, nicméně lze utuhlou vrstvu charakterizovat úhlem α . Na horním okraji je utuhlá vrstva zahnutá směrem dovnitř. Při stoupání hladina se tato zahnutá část musí narovnávat. Pokud je však příliš silná, již se nenarovná a přelije se tekutým kovem. Tímto mechanismem může v hladké kokile vzniknout ingot s nevzhledným zvlněným povrchem. Příčinou je nízká licí teplota a nízká licí rychlost. Některé oceli, především výše legované, jsou velice náchylné k těmto vadám. Tato vada často vyžaduje čistit celý povrch ingotu.

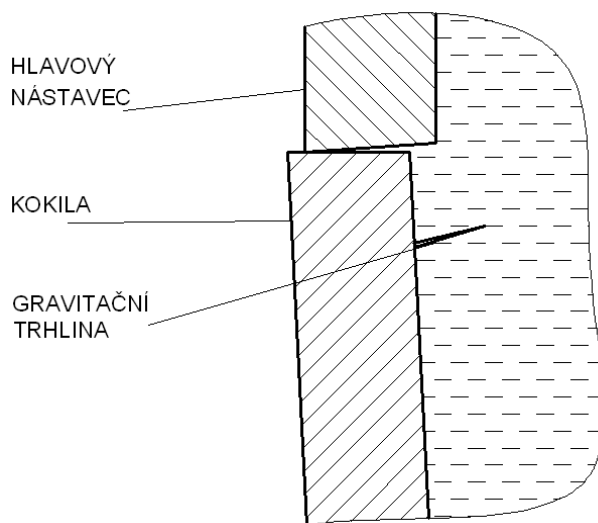
Přelitá licí kůra je hrubá necelistvost, často dost hluboká, zaplněná struskou, kolmá k ose ingotu. Při vysvětlování jejího vzniku opět vyjdeme z obr. 5. Vrstva strusky, která pluje na hladině, se zachytí na okraji kokily a je přelita dalším kovem. Tato vada často vede k vyřazení ingotu.



Obr. 5 Lití ingotu

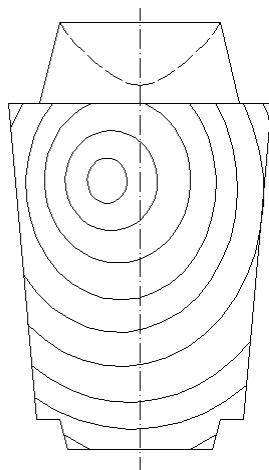
Trhliny vzniklé velkou licí rychlostí jsou orientovány příčně. Utuhlá vrstva kovu, jak je vidět na obr. 5, se vlivem smršťování oddaluje od stěny kokily. Při velké rychlosti lití je utuhlá vrstva tenká a navíc je její tloušťka nerovnoměrná, může se pak vlivem tlaku tekutého kovu protrhnout. Rychlost lití by měla být přizpůsobena teplotě kovu. Při vyšší teplotě, kdy kov tuhne pomaleji, by rychlost lití měla být nižší, při nižší teplotě odlévaného kovu by měla být rychlost lití vyšší.

Gravitační trhliny vznikají, když kov zůstane „viset“ v kokile, jak je znázorněno na obr. 6. Nejčastěji k tomu dochází tak, že tekutý kov zaběhne do spáry mezi hlavovým nástavcem a tělem. Okamžitě utuhne a vytvoří se jakýsi límec, na němž zůstane ingot viset. Délka ingotu se vlivem smršťování kovu při tuhnutí zkracuje. Gravitační trhliny mají příčnou orientaci a bývají nejčastěji v blízkosti hlavy. Většinou je lze vypálit.



Obr. 6 Vznik gravitační trhliny

Trhliny vzniklé nerovnoměrným ochlazením vznikají např. tak, jak je schématicky znázorněno na obr. 7. Jsou zde znázorněny izotermy pro dva případy tuhnutí ingotu. Pokud např. při lití horem směřuje proud kovu k jedné straně kokily, je nejteplejší kov mimo osu. Při tuhnutí je na povrchu teplejší místo. Na povrch však vlivem smršťování vznikají tangenciální tahová pnutí. Při vyšších teplotách, kdy je materiál plastický, se tato pnutí eliminují plastickou deformací, při nižších teplotách pak ingot praskne. Při lití spodem je tento mechanismus málo pravděpodobný.



Obr. 7 Příklad nerovnoměrného chladnutí ingotu vlivem excentrického nalití

Jiným příkladem nerovnoměrného ochlazování je položení ingotu po stripování na kovové podložky. V místě podložek je výrazně vyšší odvod tepla, čímž opět vzniká gradient, který u některých značek ocelí může vést až k prasknutí.

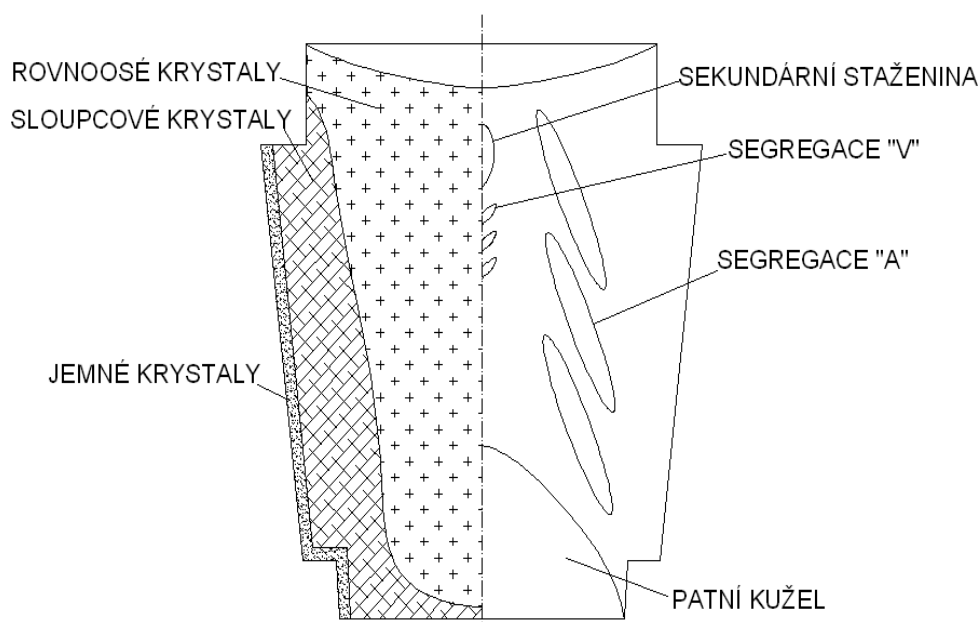
Jiným případem je tuhnutí kovu v kokile, u níž byla mezera mezi vlastní kokilou a hlavovým nástavcem zamáznuta žáruvzdorným materiálem. Při tuhnutí se toto místo ochlazuje výrazně pomaleji, protože žáruvzdorný materiál izoluje. Vlivem značně rozdílné rychlosti ochlazování zde vzniká silné pnutí, které může vést až k porušení soudržnosti.

Mapování a návarky vznikají při liti do opotřebovaných kokil. Kokily jsou při liti vystaveny silnému teplotnímu namáhání, které se projeví mj. sítí trhlin a prohlubněmi na vnitřní ploše. Dosáhne-li poškození určitého stupně, přenáší se na povrch odlévaných ingotů.

Praskliny vzniklé při chladnutí jsou rovné, rovnoběžné s osou, často jdou přes patu a jsou značně hluboké, znamenají vyřazení ingotu. Vznikají především u legovaných ocelí, např. nástrojových, následkem rychlého ochlazování.

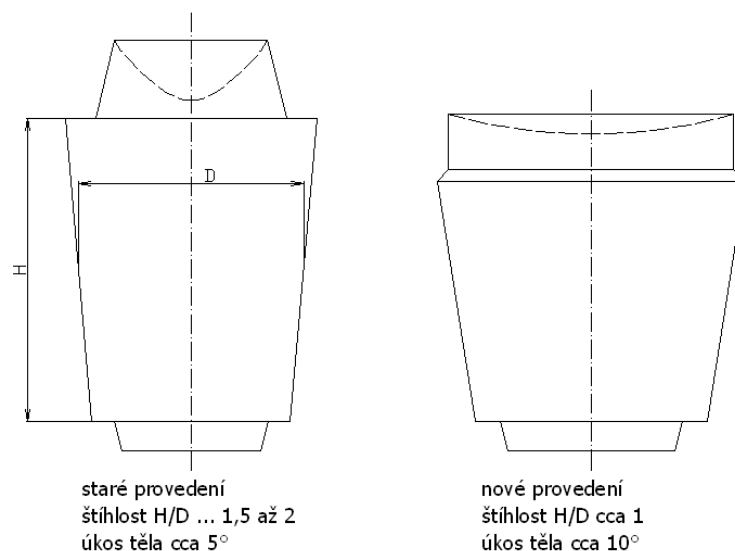
2.2 Vnitřní vady ingotů

Kovářské ingoty mají obvykle velké rozměry, proto jsou u nich výrazně rozvinuty segregací procesy. Struktura ingotu je znázorněna na obr. 8.



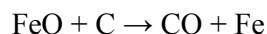
Obr. 8 Struktura kovářského ingotu

Na povrchu je vrstva jemných krystalů vznikající rychlým ochlazením kovu ve styku s kokilou. Pak následuje vrstva krystalů protáhlých v radiálním směru, tj. ve směru odvodu tepla. Uprostřed je oblast hrubých rovnoosých krystalů. V této základní struktuře se vyskytují vady. Jsou to V-segregace v ose. Pokud má ingot vhodnou geometrii, V-segregace se nevyskytují. Za vhodnou geometrii považujeme štíhlost okolo 1 a dostatečný úkos těla, jak ukazuje obr. 9.



Obr. 9 Geometrie kovářského ingotu

Rovněř tak podhlavová stařenina se nevyskytuje, pokud má ingot dobře izolovanou hlavu a použije se izolační zászyp na hladinu. V tom řpřípadě je malá i primární stařenina. Velký rozsah mohou mít A-segregace. Jejich tvorba souvisí s objemovými změnami v okamřiku tuhnutí. Objemové změny řpří tuhnutí souvisí s chemickým slořením oceli. Pokud ocel má minimální obsah křemíku, je změna objemu řpří tuhnutí malá a rozsah A-segregací je malý. Výjimečně se mohou objevit podpovrchové dutiny. Jsou to dutiny v blízkosti bočního povrchu řěla. Jsou následkem chemických reakcí, které probíhají po odlití. Nejčastěji jde o reakci oxidu řeleza s uhlíkem



Můře to být v řpřípadě, ře ocel je nedostatečně uklidněná, což by se ovšem u kovářských ingotů nemělo stávat. Častější řpříčinou je zrezivělý nebo nečistý vnitřní povrch kokily. Tyto podpovrchové dutiny jsou nejnebezpečnější. Osové dutiny, pokud se objeví, se řpří kování snadno uzavírají, podpovrchové dutiny se však snadno protrhnou a projeví se jako povrchová vada.

3. Vady plynule odlévaných sochorů

Plynule odlévané sochory, neboli kontislitky, mají u nás průměr do 520 mm, v zahraničí se odlévají až do průměru asi 600 mm, zřídka kdy větřím. Odlévají se i řtyřhranné sochory. Řpří velkém průměru je u nich zvýšené nebezpečí vzniku osových necelistvostí, které souvisí se smrřřřováním řpří tuhnutí. Řpříčné trhliny často souvisí s ohýbáním kontislitky v oblasti sekundárního chlazení. Konečně se na povrchu objevují pavoukovité trhliny. Jejich řpříčina není dostatečně objasněna. Je pravděpodobné, ře jde o sníženou pevnost hranic zrn následkem rozpouřřění mědi z krystalizátoru. Negativně působí i znečiřřění oceli povrchové aktivními prvky jako je řín, antimon, vizmut a arzen, které rovněř oslabují pevnost hranic zrn. Tyto prvky se vyskytují ve zvýšené míře v oceli vyrobené z komunálního řrotu

4. Vady na válcovaných polotovarech

Může jít o povrchové a vnitřní vady, které pocházejí z výchozího kontistliku, mají však následkem protažení při válcování protáhlejší tvar než výchozí vada.

Dále se mohou vyskytovat přeložky a podélné „lampasy“, které vznikají při válcování.

Dnes je však možné vyžadovat od válcoven dodávku tyčí bez vnitřních a vnějších vad.

Cenová přírážka za zvýšenou kvalitu se vyplatí tím, že odpadnou potíže s vadami u výkovků.

5. Trhliny vzniklé při ohřevu

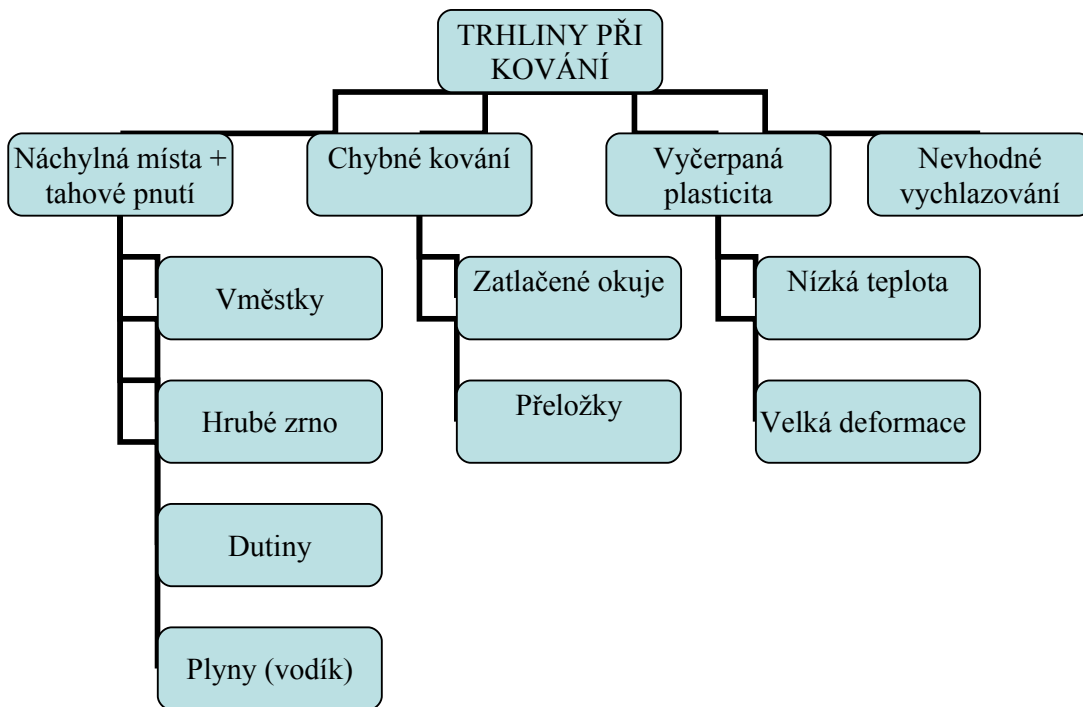
Při ohřevu vznikají rovněž pnutí a pokud je ohřev rychlý, mohou dosáhnout takové úrovně, že dojde k porušení soudržnosti materiálu. Toto nebezpečí hrozí u některých legovaných ocelí.

Při ohřevu roste zrno. Pokud je dlouhá výdrž na horní kovací teplotě, může dojít k přehřátí – nadměrnému zhrubnutí zrna. Nečistoty, které jsou na hranicích zrna, jsou pak výrazněji koncentrovány a v tom je nebezpečí přehřáté oceli. Takovýto materiál lze kovat, ovšem opatrně, malými úběry, jinak hrozí porušení celistvosti.

Při překročení horní teploty ohřevu začnou okraje růst po hranicích zrn směrem dovnitř a to až do poměrně značné hloubky. Takováto ocel se při kování rozpadá.

6. Trhliny vzniklé při kování

Na vzniku trhlin při kování se podílí několik vlivů. Schematicky jsou znázorněny na obr. 10.



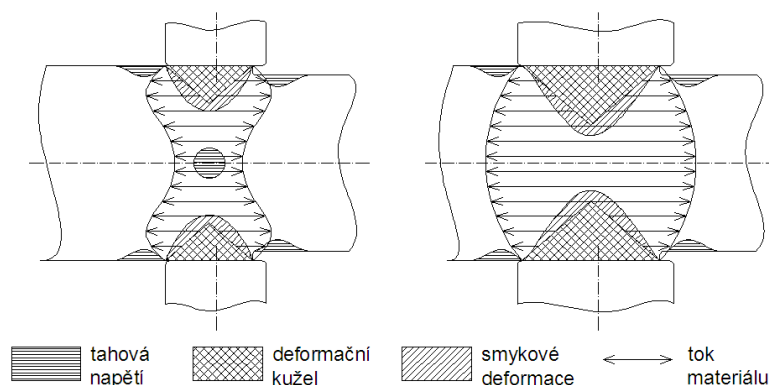
Obr. 10 Schéma vlivů působících na vznik vad při vlastním kování

Prodlužování je charakterizováno úběrem Δh a délkou záběru l_z . Důležitou veličinou je

poměrný úběr $\varepsilon = \frac{\Delta h}{h_0}$

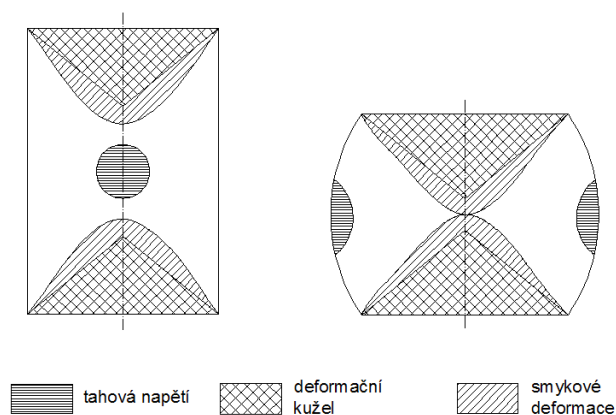
a poměrná délka záběru $\lambda = \frac{l_z}{h_0}$

Nebezpečné jsou tahová napětí. Při prodlužování vznikají v ose a na povrchu v blízkosti hrany kovádky, jak ukazuje obr. 11.



Obr. 11 Schematické znázornění rozložení napětí při prodlužování s malou poměrnou délkou záběru (vlevo) a s velkou poměrnou délkou záběru (vpravo)

Tahová napětí se objevují v ose a na povrchu v blízkosti hran kovádel. Osová tahová napětí lze omezit tak, že se volí poměrná délka záběru 0,4 až 0,6. Dokonce stačí, když jenom jedno z kovádel je dostatečně široké. Tahová napětí na povrchu však působí stále a způsobují rozšiřování i malých povrchových defektů. Schéma rozložení napětí při pěchování je na obr. 12. Oblast tahových napětí je opět v ose a po vzniku soudkovitosti se na obvodu objevují tangenciální tahová napětí.



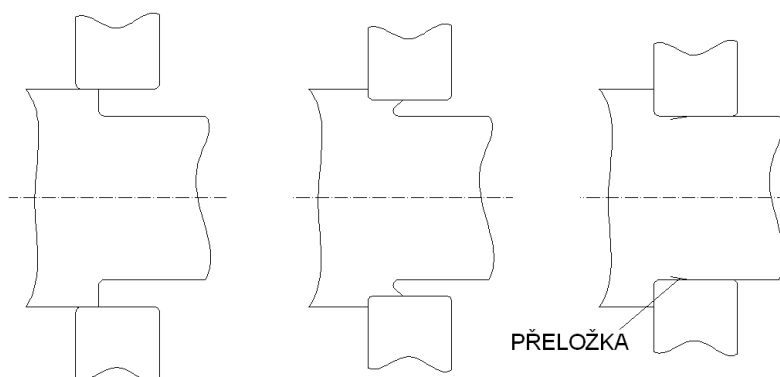
Obr. 12 Schematické rozložení napětí při pěchování

Další vady, které mohou při kování vzniknout, souvisí s vyčerpáním plasticity. Připomeňme, že materiál snese jen určitou deformaci, jejíž velikost závisí na teplotě. K porušení soudržnosti může dojít nejnádhodněji v oblasti největších smykových deformací. Jde o tzv. kovářský kříž. Vzniká u hůře tvařitelných materiálů při prodlužování příliš širokými kovádky.

Při prodlužování materiálů, které mají úzký rozsah kováčích teplot (oceli s vysokým obsahem uhlíku – nástrojové) vznikají trhliny na hranách. Ty rychleji chladnou a snadno se dostanou pod dolní kováčí teplotu.

Řešením všech dosud vyjmenovaných problémů při prodlužování může být vybavení lisu zařízením pro rychlou výměnu kovádel. Při prodlužování lze postupně měnit kovádla za užší, tím se prodlužuje stále s vhodným poměrným záběrem. Omezuje se tak rozsah tahových napětí v ose i nebezpečí vzniku kovářského kříže. U hůře tvařitelných ocelí lze pracovat s úhlovými kovádky a tím se vyhnout nebezpečí tvorby trhlín na chladnějších hranách.

Mezi necelistvosti vzniklé při kování lze řadit i přeložky, které vznikají, když se prodlužuje velkými úběry s malou poměrnou délkou záběru, jak ukazuje obr. 13.



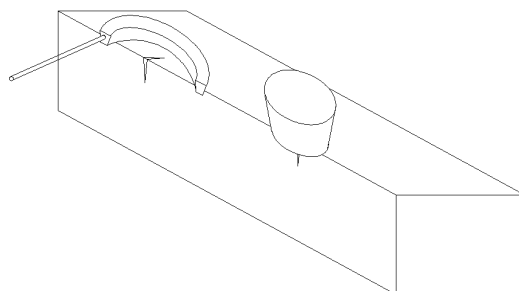
Obr. 13 Schéma vzniku přeložek při nesprávné geometrii prodlužování

Jestliže má kovádko velký rádius zaoblení hrany, přeložky nevznikají tak snadno. Zařízení pro rychlou výměnu kovádel může tedy pomoci řešit i tento problém. Na počátku prodlužování se použijí kovádla s velkým radiusem, při závěrečném osazování se vezmou kovádla s ostřejší hranou.

Jako povrchové vady se mohou projevit i zatlačené okuje. Při kování je třeba dbát na jejich odstraňování a mít na paměti, že u některých značek ocelí okuje pevně ulpívají na povrchu.

7. Odstraňování vad při kování

Povrchové vady, které se objeví v průběhu kování, se odstraňují většinou vypalováním kyslíkem. U některých legovaných materiálů to však není vhodné, jednak napětí, které při vypalování vzniká, působí další růst vady směrem dovnitř, jednak struska u ocelí legovaných chromem je velmi hustá a špatně se vyfukuje. Proto se u těchto ocelí používá vysekávání, postup je znázorněn na obr. 14. Jak je vidět vysekává se buďto ohnutým sekáčem nebo i děrovacím trnem.



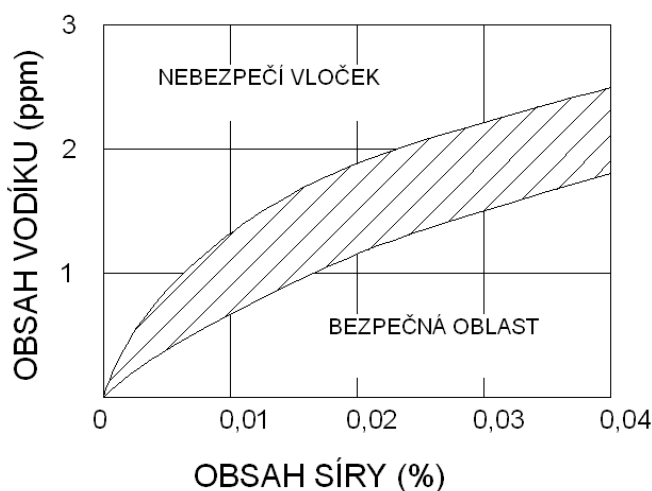
Obr. 14 Postup vysekávání vad ohnutým sekáčem a děrovacím trnem při kování legovaných ocelí

8. Vady vzniklé při ochlazování

Napětí vznikající při ochlazování může vést až k porušení soudržnosti výkovků. Je proto třeba výkovky velkého průřezu a výkovky z legovaných ocelí ochlazovat zpomaleně.

Zvláštní pozornost je třeba věnovat nebezpečí tvorby vloček. Mezní rozpustnost vodíku je při pokojové teplotě výrazně nižší než za tepla. Při teplotě rozpadu austenitu klesá rozpustnost vodíku skokem. Vodík, který se vylučuje způsobuje pnutí a vede až k prasknutí. Vločky vznikají při teplotě cca 300 °C, často až několik hodin po vychladnutí, někdy až po několika dnech.

Přípustný obsah vodíku závisí na obsahu nečistot, především síry. V sirnicích je totiž větší rozpustnost vodíku, nečistoty působí jako „pasti“, v nichž se vodík chytá. Podle některých názorů tato závislost vypadá podle obr. 15.

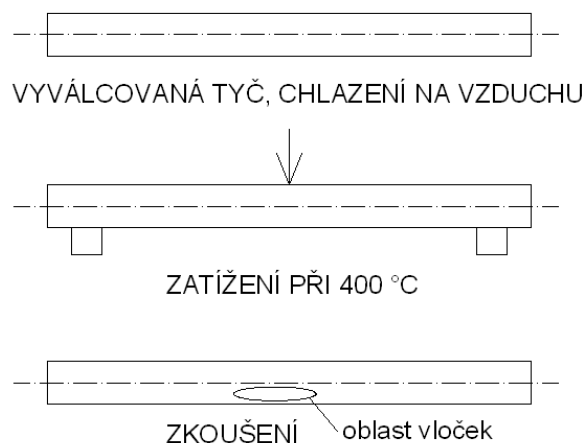


Obr. 15 Nebezpečí tvorby vloček v závislosti na obsahu vodíku a síry

Platnost tohoto diagramu však někteří popírají – poukazují na to, že mnoho výkovků s vyšším obsahem vodíku než odpovídá tomuto diagramu, nepopraská.

Ke vzniku vloček či trhlin ve vycezeninách je třeba současná přítomnost vyššího obsahu vodíku a působení tahového napětí. Dokazuje to pokus znázorněný na obr. 16. Ve

vyválcovaných sochorech vznikaly při vychlazování na vzduchu vločky. Pokud se sochor při teplotě okolo 400 °C dal na dvě podložky a uprostřed se zatížil, vločky vznikly pouze v oblasti tahových napětí. Při chladnutí výkovků vznikají tahová napětí v jejich ose.



Obr. 16 Vliv tahových napětí na vznik vloček

8. Kalicí trhliny

Při kalení vznikají značná pnutí, která mohou vést až k porušení celistvosti. Může k tomu nejspíše dojít v místech, kde dochází ke koncentraci napětí, tedy např. na vrubu. Na to je třeba pamatovat, když se velké výkovky kalí v ohrubovaném stavu. Dále je třeba zvolit pro kalení odpovídající médium a tím i vhodnou rychlost ochlazování.

K porušení soudržnosti dochází hlavně v oblasti martenzitické přeměny, kdy k teplotnímu pnutí přistupuje ještě transformační pnutí vyvolané přeměnou austenitu na martenzit. Z tohoto hlediska je vhodným médiem pro ochlazování roztok polymerů, poněvadž u něho je v této oblasti rychlost ochlazování nízká.

9. Závěr

Není bez zajímavosti připomenout, že přípustná velikost vady se v průběhu let výrazně zpřísnila.

Z uvedeného výčtu je vidět, že příčin, které vedou k porušení soudržnosti výkovků je celá řada a to jsme zde nevyjmenovaly všechny. Dále je třeba uvést, že většině vad lze předejít celým souborem opatření počínaje volbou vhodné technologie výroby oceli a lití ingotu či sochoru a konče vhodným postupem tepelného zpracování.

K prošetření příčiny vzniku trhliny většinou je třeba odebrat vzorek pro metalografické zkoumání a záznam o technologickém postupu výroby. V některých případech je třeba ještě provést chemickou analýzu.

Otázky:

1. Jak můžete charakterizovat základní vady v ingotech?
2. Jakými způsoby lze odstraňovat vady vstupních polotovarů ?
3. Které vady vznikají při ohřevu a ochlazování výkovků ?
4. Jak stanovíte optimální délku záběru ?

Úlohy k řešení :

1. Vypočítejte optimální, poměrnou délku záběru pro pravoúhlý průřez s výškou $a = 700$ mm.
2. Určete možnosti snížení množství vad ve výkvcích.

Literatura k dalšímu studiu:

1. SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.
2. JÍLEK, L. Vady ve výkvcích. Kovárenství, 2003, 22, s. 19-22.

14. SPOTŘEBA ENERGIE V KOVÁRNÁCH

Členění kapitoly :

- Energetická náročnost kovářských operací
- Spotřeba energie v závislosti na tvářecích strojích
- Vliv technologie kování a teploty kování na spotřebu energie
- Infračervený ohřev v kovárnách



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete stanovit spotřebu energie pro základní kovářské operce
- Budete umět vybrat optimální technologie kování
- Seznámíte se s možností infračerveného ohřevu v kovárnách
- Dokážete posoudit energetickou náročnost kovárenských technologií v zahraničí



Výklad

V přednášce je proveden rozbor spotřeby energie v kovárnách a jsou zkoumány faktory, které mají na ní vliv. Pozornost je věnována vlivu technologických parametrů při zápusťkovém kování.

1. Úvod

Náklady na energii tvoří významnou položku ve zpracovacích nákladech a mají tendenci stále růst. V kovárnách představují 5 až 25 % a mají tendenci stále růst. Proto se nad omezením spotřeby energie zamýšlejí pracovníci kováren a řeší se výzkumné úkoly podporované ze státních nebo i nadnárodních fondů.

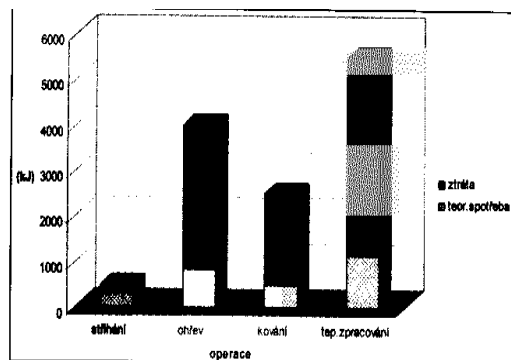
2. Růst cen energie

Sotva se stabilizovaly ceny oceli (v posledním období však rychle stoupala cena mědi), je tady hrozba růstu cen energií. „Opět jsme na energetické křižovatce“ nebo „Hledejme způsob zastavení krváčení“ jsou výrazy, které používají zahraniční komentátoři, kteří píšou o této hrozbě. Ve Spojených státech se dokonce mluví o tom, že cena zemního plynu stoupne o 100 %.

Jako lék se navrhuje více řešení, dominují však zde dvě rady. Jednou se obrací na průmysl a ta zní: Využijme všech možných opatření ke snížení spotřeby energie. Druhou se obrací na politiky a ekonomy a ta zní: Vybudujme energeticky efektivní ekonomiku. Poukazují na to, že při energetické krizi v r. 1973 toto vyhlásila japonská vláda jako svůj program a po třech letech skutečně došlo k výraznému snížení spotřeby energie v japonském hospodářství. My bychom se měli však zabývat tou první radou. Cesty jsou známy. Důsledně využívat výměníky tepla u všech plynem vytápěných pecí. Musíme si být vědomi toho, že keramické rekuperátory mají velké netěsnosti a nejsou tak účinné jako kovové. Při indukčním ohřevu lze optimalizovat spotřebu energie správnou volbou velikosti indukční cívky a použitím vhodného kmitočtu. Některé režimy tepelného zpracování, hlavně u velkých výkovků, jsou nadsazené, lze je zkrátit. K optimalizaci lze využít matematické modelování. U zápusťkových výkovků lze řízeným kovááním a vychlazováním zcela odstranit tepelné zpracování. Teplo chladnoucího materiálu lze využívat pro vytápění budov nebo ohřev vody a tak ušetřit za plyn.

3. Spotřeba energie na jednotlivé operace

Příklad spotřeby energie na výrobu zápusťkových výkovků je na obr. 1.

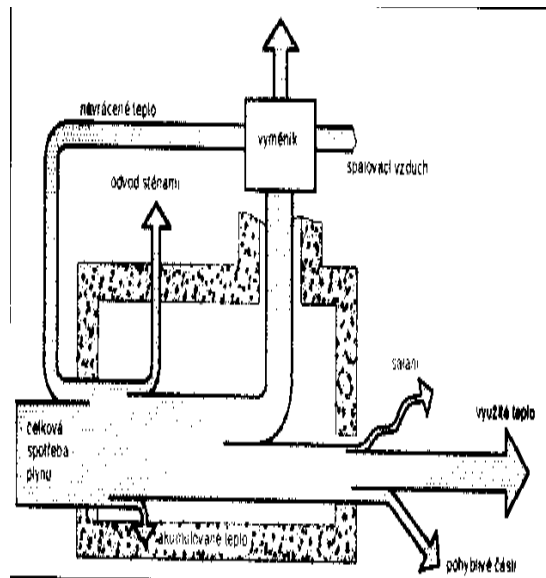


Obr. 1 Spotřeba energie na výrobu 1 kg běžného zápusťkového výkovku

Jedná se o případ kováání v jedné dutině na klikovém lisu, po kováání následuje kalení a popouštění. Spotřeba energie silně závisí na typu výkovku, technologii kováání, stavu zařízení atd. Obecně platí, že nejvíce energie vyžaduje tepelné zpracování a ohřev. Je pravda, že účinnost všech operací při kováání je velmi nízká.

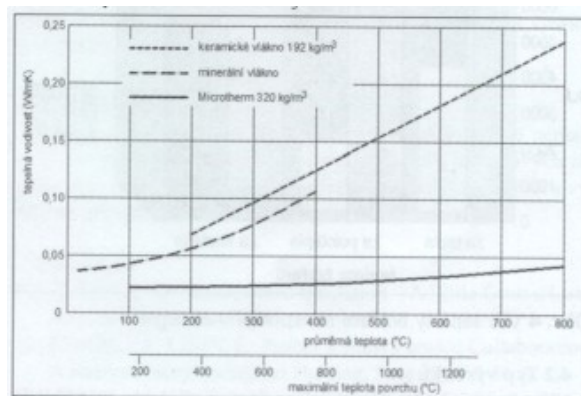
3.1. Spotřeba energie při ohřevu a tepelném zpracování

Bilance plynem vytápěné pece je schematicky znázorněna na obr. 2.



Obr. 2 Schématické vyjádření bilance spotřeby energie plynové pece s výměníkem tepla

Hlavní ztrátu představuje teplo, které odnášejí spaliny. Při užití rekuperátoru nebo regenerátoru, ve kterém se ohřívá vzduch pro spalování, se část tohoto tepla může vrátit do pece. Další ztráty představuje akumulace tepla ve stěnách při roztápění pece. Při nepřetržitém provozu tato položka odpadá. Ztráta tepla pohyblivými částmi vzniká např. při tepelném zpracování zápuskových výkovek v koších. Ztráta sáláním závisí na těsnosti pece. Množství tepla odvedeného stěnami závisí na druhu vyzdívky. Charakteristika vyzdívacích materiálů je na obr. 3.



Obr. 3. Tepelná vodivost jednotlivých materiálů v závislosti na teplotě

Diagram ukazuje závislost koeficientu tepelné vodivosti v závislosti na průměrné teplotě stěny a maximální teplotě na vnitřním povrchu. Nejlepší izolační vlastnosti má materiál Microtherm, který obsahuje mikroskopické póry, v nichž je vzduch. Vzduch je, jak známo, dobrý izolant, ovšem pouze tehdy, když nemůže proudit. Poněkud horší izolační vlastnosti mají vláknité materiály, které rovněž uzavírají množství vzduchu mezi jednotlivými vlákny. Tepelná vodivost šamotu, žárobetonu a dalších vyzdívacích materiálů leží mnohem výše.

Ve Spojených státech se v rámci akcí na úsporu energie podařilo uvést do provozu narážecí pec, která slouží pro ohřev sochorů o průřezu 160 x 160mm při délce 12 m.

Sochory se ohřívají na teplotu 1 100 °C. V peci jsou 3 řady hořáků nahoře a 3 řady dole. Používá se vzduch předehřátý na 442 °C, odcházející spaliny mají teplotu 785 °C, spaluje se s přebytkem vzduchu 5 %. Účinnost pece je 65,8%, spaliny odnášejí 29% dodané energie, 0,7% energie uniká stěnami pece a 4,5 % energie odchází v chladicí vodě. Na konstrukci úsporné komorové pece pro kovářny se pracuje i v Německu. Účinnost běžných pecí leží podstatně níže.

4. Organizační opatření

Kromě technických opatření je třeba se zaměřit na organizační opatření, která většinou nevyžadují žádné investice a mohou vést k významným úsporám. Především je třeba

- Plně využívat kapacitu pece
- Pracovat na více směn
- Používat minimální koše při tepelném zpracování
- Starat se o dobrý stav pece a regulace

Při přerušovaném provozu pece jsou velké ztráty akumulací tepla, obzvláště v případě, že má pec klasickou (šamotovou) nebo podobnou vyzdívkou. Pokud je pec ve špatném technickém stavu, zpravidla to vede ke zvýšené spotřebě paliva.

5. Vliv typu lisu

Spotřeba energie při kování je závislá i na typu lisu. Nejmenší spotřebu při dané síle má vřetenový lis s přímým pohonem. Na druhém místě je klikový lis a na třetím třecí lis. Hydraulický lis spotřebuje přibližně desetkrát víc energie než klikový lis.

Rozbor práce klikového lisu ukázal, že z přivedené energie se na tvářecí práce spotřebuje 77 %. Největší ztráta 6% vzniká třením v uložení ojnice, 5 % energie se ztrácí deformací kliky. Ostatní ztráty jsou zanedbatelné.

U hydraulického lisu závisí spotřeba energie na druhu pohonu. Při akumulátorovém pohonu se stále pracuje s maximálním tlakem. Pokud je tvářecí síla výrazně menší než jmenovitá, dochází ke ztrátám. U přímého pohonu dochází ke ztrátám energie v případě, že se vlivem příliš vysokého deformačního odporu výrazně sníží rychlost pohybu příčnicku. Energie dodávaná čerpadlem se přeměňuje v teplo, které způsobuje ohřev hydraulické kapaliny a je nutné ji chladit. Ke snížení rychlosti dochází při konci každého kovacího cyklu, čerpadla však odebírají stále stejný výkon. Ve Spojených státech byl vyvinut pohon označovaný UNiGY. Pohon instalovali v americké kovárně Consolidated Industries v Cheshire, kde provozují hydraulický lis 25 MN pro zápusťkové kování. Lis je starý 50 let. Spotřeba elektrické energie se snížila o 66 %. Nová čerpadla umožňují ekonomický provoz při proměnlivém průtoku.

6. Vliv technologie kování

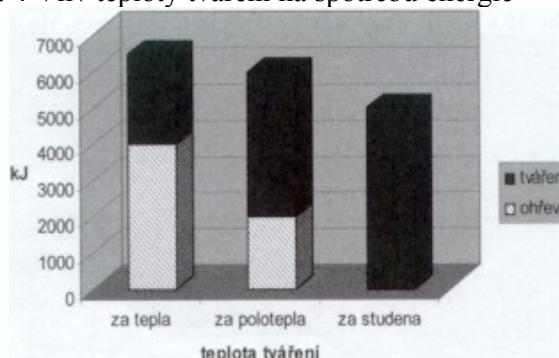
Pokud jde o volné kování, většinou technické vybavení pracoviště neumožňuje větší variabilitu volby technologie. Širší možnosti jsou při zápusťkovém kování, kdy lze

zpravidla použít více variant, které vyžadují různé tvářecí síly a tím i různou spotřebu energie.

6.1 Teplota kování

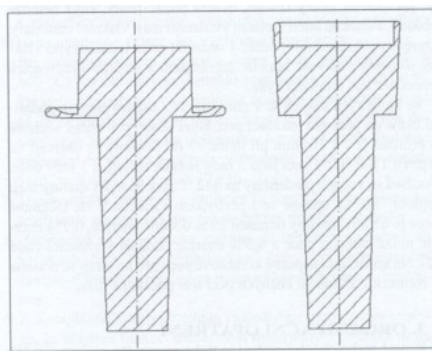
Pokud jde o volbu tvářecí teploty, pak obecně platí, že při snížení teploty ohřevu se ušetří energie na ohřev, vzroste však energie spotřebovaná na tváření. Sumární spotřeba energie je při nižší tvářecí teplotě nižší. Názorně to ukazuje obr. 4.

Obr. 4 Vliv teploty tváření na spotřebu energie



6.2 Typ výronku

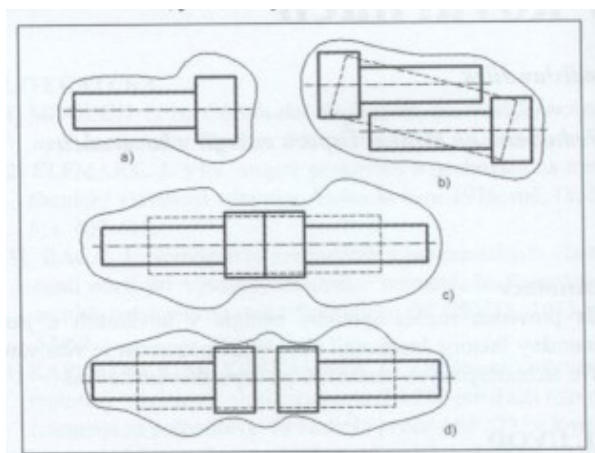
Vliv různých technologických variant si ukážeme na příkladu kování výkovku tvaru hříbku. Při kování ve svislé poloze, kdy se hlava vytváří napěchováním, můžeme volit různé druhy výronku, jak ukazuje obr. 5. Nejrozšířenější radiální výronek zvětšuje styčnou plochu asi na dvojnásobek, přičemž víme, že tvářecí síla závisí na styčné ploše. Axiální výronek nebo kování v uzavřené zápustce styčnou plochu nezvyšuje a je energeticky výhodnější.



Obr. 5 Výkovek tvaru hříbku kovaný ve svislé poloze s radiálním (vlevo) a axiálním (vpravo) výronkem ,

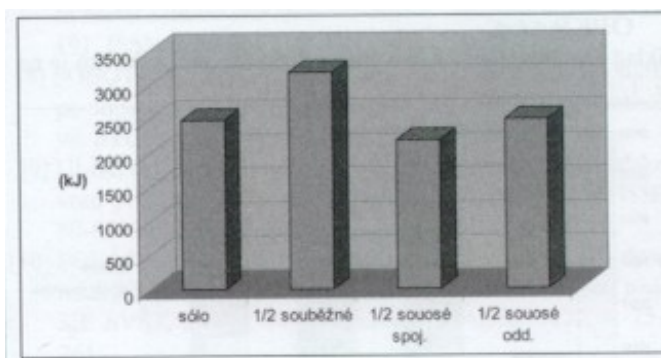
6.3 Kování dvojkusů

Vliv kování dvojkusů si ukážeme opět na případě kování stejného výkovku tvaru hříbku kovaného na ležato. Opět je možné použít více variant, jak ukazuje obr.6



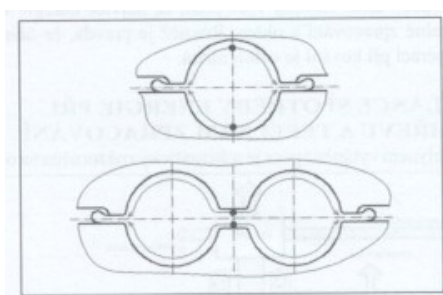
Obr. 6 Varianty kování výkovku tvaru hříbku na ležato a) kus sólo, b) dvojkus, kusy souběžné přesazené c) dvojkus, kusy souosé, spojené, d) dvojkus, kusy souosé, oddělené

Spotřeba energie při těchto postupech, je na obr. 7.



Obr. 7 Spotřeba energie při kování dvojkusů

Je zde porovnávána spotřeba energie při kování jednotlivého kusu s polovinou spotřeby při kování dvojkusu. Při kování dvojkusu se součástkami souběžně vedle sebe je spotřeba energie největší. Při kování dvojkusu se součástkami uloženými souose je spotřeba energie přibližně stejná jako při kování kusu sólo. Při uložení dvou kusů vedle sebe je tok materiálu při kování značně ztížen, jak ukazuje obr. 8.

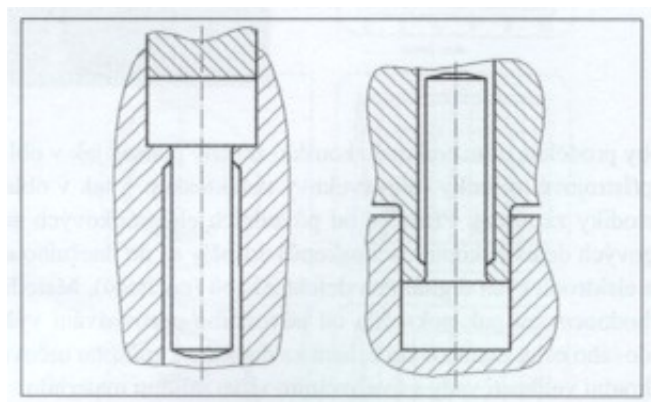


Obr. 8 Příčný řez se schematickým vyznačením toku materiálu při souosém a souběžném kování dvojkusu

Axiální výronek lze v tomto případě ostříhnout tak, že se ostříhne úkos po obvodu hlavy. Je vidět, že u dvojkusů se souběžným uspořádáním je tok materiálu při kování výrazně komplikovanější než u sousého dvojkusů nebo u kusů sólo. Celý postup je třeba posuzovat komplexně. Kromě spotřeby energie na kování je nutné posuzovat i spotřebu kovu atd. Při kování souběžného dvojkusů lze ohřátý špalík přímo vložit do zápustky, ve dvou ostatních případech je nutné předkování (tak tomu bylo v případě kování kusů sólo), nebo je velký odpad (jak je naznačeno u sousého dvojkusů). U sousého dvojkusů neodděleného je navíc třeba zajistit následné dělení.

6.4. Protlačování

Výkovek tvaru hříbku zkoumaný výše je možné zhotovit i protlačováním, jak ukazuje obr. 9.



Obr. 9 Výroba výkovku tvaru hříbku protlačováním. Vlevo dopředné protlačování, vpravo zpětné.

Při dopředném protlačování je spotřeby energie větší než při zpětném. Při dopředném se totiž posunuje sloupec kovu v zásobníku, přičemž zde působí velký tlak a třecí síla na stěnách je velká. Výroba tohoto typu výkovku zpětným protlačováním je však složitější. V obou případech je však větší spotřeba energie než při kování v zápustce ve svislé poloze napěchováním.

7. Další možnosti úspor energie v kovárnách

Uvedeme ještě několik typů na úsporu energie v kovárnách, které již někde byly vyzkoušeny. Nejde tedy o nerealizovatelné rady.

- Při volném kování tyčí lze rozestavět izolační panely okolo rozkovku nebo na něho navléknout izolační rukáv. Materiál chladne pomaleji a ušetří se příhrěvy.
- Pro vytápění pecí se místo zemního plynu použije bioplyn. V zahraničí je jeho využití mnohem častější než u nás. Převážně se využívá pro ohřev vody nebo k topení. Existuje však i malá elektrárna spalující bioplyn.

- Nasazením teplosměnných trubek se využije teplo spalin za rekuperátorem nebo i teplo výkovků.
- Používáním mikrolegované oceli a řízeného vychlazování můžeme ušetřit tepelné zpracování. Toto řešení ovšem vyžaduje dohodu s konstruktérem.
- Používat chladicí vodu od indukčních ohříváčů k vytápění budov.
- Přejít při ohřevu i při tepelném zpracování na průběžné pece, pokud je to možné.
- Automatická regulace kompresorů může přinést úsporu energie v kovárnách pracujících s buchary.
- Ohřev zápuštěk v odporové peci nebo infračervenými zářiči je úspornější než jejich ohřev plynovými hořáky. Navíc je přesnější a rychlejší. U malých zápuštěk lze uvažovat i o indukčním ohřevu.
- Kalení z dokovací teploty a popouštění vnitřním teplem je využitelné pro některé typy výkovků. Kalení z dokovací teploty je použitelné i u hliníkových slitin.

Komplexní přístup k úsporám energie může přinést významný efekt. V některých oblastech Británie došlo k úsporám energie v rozmezí 10 až 30% .

7.1 Zavedení infračerveného ohřevu hliníkových slitin před kováním

Hliníkové slitiny se běžně ohřívají v elektrických pecích, v muflových pecích, v olejových pecích, indukčně, v pecích s fluidním ložem a odporově. Hliníkové slitiny mají poměrně úzké rozmezí kovací teplot a vyžadují vysokou přesnost ohřevu, často $\pm 5^\circ\text{C}$. Účinnost ohřívacích pecí je nízká, nepřekračuje 25 %. Jako řešení se zde jeví ohřev infračerveným zářením. Ohřívacím prvkem je wolframová halogenová lampa, která se rozehřívá v čase kratším než 1 s a dává o řád vyšší hustotu energetického toku, který zde činí 20 až 40 W/cm², zatímco u běžných zdrojů to je jen 2 až 4 W/cm². Jedno zařízení je vhodné pro ohřev různých typů polotovarů, není třeba měnit žádné prvky, jako u indukčního ohřevu. Pro laboratorní zkoušky byl použit panel o ploše 0,6 m² a výkonu 88 kW. Ohřívaly se tyče ze slitiny 2014 o průměru 23 milimetrů na teplotu 425 °C. Tyče byly ohřáté po 6 minutách.

Pak se přistoupilo k provozním zkouškám. V kovárně byla pec s plynovým infračerveným ohřevem a ohřívaly se zde špalíky o hmotnosti 0,26 kg. Doba ohřevu činila 13 minut. Užívá se zde i ohřev v plynem vytápěné peci, kde jsou doby ohřevu ještě delší. Použitím elektrického infračerveného ohřevu se zkrátila na 3,4 minuty. Zkušební výkovky se rozřezaly a provedlo se metalografické zkoušení. Ukázalo, že výkovek vykovaný po elektrickém infračerveném ohřevu měl výrazně menší zrna. Další vzorky se odebraly po tepelném zpracování. U nich byl rozdíl ve velikosti zrna ještě výraznější.

Energetická bilance ukázala, že při elektrickém infračerveném ohřevu se spotřebovalo výrazně méně energie než při ohřevu v konvenční peci.

Mikrovlnná pec použitá v běžné výrobě má několik halogenových lamp umístěných nahoře i dole a doba ohřevu je zde výrazně kratší než v plynové peci. Například při ohřevu špalíků o průměru 87 mm se doba ohřevu zkrátila z 60 minut na 20 minut.

Spotřeba energie je nižší o 40-50 %. Oproti indukčnímu ohřevu je pec univerzální, lze ji využít pro různé tvary a rozměry polotovarů. Použití infračerveného záření v průmyslu začalo už ve 30. letech minulého století, a to při vypalování laků na automobilech. Později se začalo využívat i při zpracování dalších druhů povlaků, při zpracování plastů, při sušení papíru, v potravinářském průmyslu a v mnoha dalších oborech. Ve Spojených státech se věnuje úsilí k rozšíření jeho využívání. Americký svaz výrobců ohřívacích zařízení (IHEA) dokonce vydal příručku věnovanou infračervenému ohřevu.

Toto zařízení bylo využito i pro ohřev zápustek. Zápustka o rozměrech 305 x 355 x 165 mm byla ohřátá na teplotu povrchu 300 °C za 20 minut.

Zařízení pro infračervený ohřev bylo v jedné kovárně v provozu v blízkosti bucharů po dobu 11 měsíců. Za tu dobu bylo třeba pouze vyměnit dvě z 12 instalovaných lamp, každá stála 40 \$. Kovy jsou ovšem dobré vodiče a při mikrovlnném ohřevu na nich přeskakují elektrické oblouky. Při použití nízkotlakého plazmatu se však zabránil jejich tvorbě a lze ohřívat různé součásti pomocí mikrovln.

Hlavní výhody elektrického infračerveného ohřevu jsou : - nižší investiční náklady

- nižší provozní náklady
- jednodušší a levnější údržba
- snáší těžké provozní podmínky
- lze ho využívat pro ohřev různých polotovarů
- lze ho využívat pro přehřev zápustek.

7.2 Úspory při tepelném zpracování

Tepelné zpracování je obor, který se uplatňuje nejen v kovárenství, ale i ve slévárnách, při svařování a v řadě dalších výrobních oborů. Vyznačuje se velkou spotřebou energie a současně má velký vliv na výsledné užité vlastnosti výrobků. Proto se soustavně věnuje velká pozornost všem možným zdokonalením, které se zde nabízejí. Ve Spojených státech založili institut, který se zabývá racionalizací tepelného zpracování. Prvým jeho úkolem je úspora energie. Ukazuje se, že v běžných provozech lze při tepelném zpracování ušetřit 20% energie a současně se cyklus zkrátí rovněž o 20 %. Při návrhu nových postupů se dbá na omezení deformací při zpracování. Optimalizuje se i difúzní tepelné zpracování a minimalizují se emise.

Práce jsou zaměřeny rovněž na sběr dat prováděný v kalírnách, na jejich základě lze provádět další vylepšování režimů. Velká pozornost se věnuje kalení pomocí stlačených plynů.

Mexická firma FRISA Forjados S.A. de C.V Monterrey, která denně vyválcuje 120 t kroužků, se rovněž zaměřila na racionalizaci tepelného zpracování. Pro tepelné zpracování kroužků má 16 pecí a šest kalicích nádrží. Každá má obsah 90 m³. Nádrže obsahují vodu nebo roztok polymerů. Lázně mají nucené proudění. Použité trysky vyvolávaly proudění chladicího media o rychlosti 0,015 až 0,04 m/s, což se ukázalo jako nedostatečné. Při této rychlosti se neodtrhává parní polštář, který se vytváří na povrchu součásti a snižuje rychlost ochlazování. K odtržení polštáře je třeba rychlost proudění minimálně 0,3 m/s. Původně se proudění zajišťovalo tryskami, místo nich se začaly používat vodní šrouby umístěné v rozích nádrže. Aby se snížila rychlost ochlazování v

oblasti teplot 350 °C, přešlo se na polymery s větší atomovou hmotností. Další objektem racionalizace byly rošty, na které se kladou kroužky. Jejich životnost byla jen několik měsíců. Používané ocelové rošty měly hmotnost 3000 kg. Byly nahrazeny rošty z lehké slitiny o hmotnosti 1000kg, po 14 měsících služby jsou ve velmi dobrém stavu. Tato racionalizační opatření vedla při roční výrobě 18 000 t kroužků k úspoře 720 000 dolarů. Rostoucí zájem o kroužky vedl k rozšíření zařízení pro tepelné zpracování.

7.3 Úspory energie v zahraničních kovárnách

K růstu ceny energií došlo v západních zemích dříve než u nás. Kovárny tam byly silněji nuceny hledat úspory energie. Některá úspěšná řešení byla publikována.

Jednou z takových je kovárna Jernberg Industrie v Chicagu. Tato kovárna byla založena v r. 1937 a tvrdí o sobě, že je první komerční kovárnou, která začala využívat klikové lis pro zápustkové kování. Dnes se zde ročně vyrábí více než 70 tisíc tun výkovků především pro automobily a motocykly.

Závod má sedm nůžek pro dělení výchozích tyčí. Střihá se po předeřevu. Kove se na deseti kovací linkách, ostřihuje se na samostatných lisech. Asi polovina výkovků se tepelně zpracovává. Dříve se používalo pět pecí, v nichž se výkovky zpracovávaly v dávkách. To se ukázalo jako neoperativní, výrobní cyklus byl příliš dlouhý. Přešlo se proto na průběžné pece, čímž se ušetřilo významné množství plynu.

Další úspory přinesla oprava vadného rekuperátoru. Chladicí voda z indukčních ohříváček, která se dříve ochlazovala ve venkovních věžích, se začala používat k vytápění budov, které se před tím vytápěly zemním plynem. Náklady na tuto rekonstrukci činily 25 000 dolarů, roční úspora plynu na vytápění činila 23 700 dolarů, návratnost tedy byla 1,1 roku.

Dále byla zavedena regulace tempa ohřevu v indukčních ohříváčkách tak, aby ohřáté špalíky zbytečně nechladly před lisem. Náklady na tuto regulační smyčku činily půl milionu dolarů a dosáhla se roční úspora 4,1 milionů kWh u deseti linek, což představuje 247 tisíc dolarů za rok. Návratnost tedy byla dva roky.

Stanice na výrobu stlačeného vzduchu byla obsluhována ručně. Zavedením automatické regulace se dosáhlo, že tlak vzduchu kolísá minimálně a ročně se ušetří 1,8 milionu kWh elektrické energie.

Rozsáhlejším využíváním mikrolegovaných ocelí řízeně ochlazovaných na vzduchu se dosáhla další úspora.

Další úsporu přinesla výměna opotřebovaných kompresorů. Posledním opatřením, které se zde realizovalo, byla změna způsobu ohřevu zápustek po jejich výměně. Původně se ohřívaly plynem, doba ohřevu činila asi 20 minut. Místo toho se použil ohřev infračervenými paprsky, zápustky se dostanou na pracovní teplotu během 4 až 5 minut. Cena infračerveného ohříváče byla 5000 dolarů, zaplatil se za 0,7 roky díky úspoře pracovního času lisu. Celkové roční úspory, které se realizací projektu dosáhly, představují 791 tisíc dolarů, náklady na projekt činily 2 miliony dolarů. Druhým příkladem je americká společnost Mataldyne. Ta ve své kovárně v Royal Oak ustanovila tým, který hledal různé možnosti úspor energie.

Za povšimnutí stojí, že práci týmu finančně podpořilo americké Ministerstvo energetiky (Department of Energy DOE). Z celkových nákladů na práci ve výši 200 000 \$ US přispělo ministerstvo částkou 100 000 \$ US. K ohřevu vody, vytápění a k pohonu klimatizace a částečně k vytápění některých pecí v kovárně se používá zemní plyn, k ostatním účelům se používá elektřina. Hlavními výrobními stroji jsou kovací automaty za tepla Hatebur, lisy pro kování za polotepla, lisy pro kování za tepla a válcovačky kroužků. Celkem bylo přijato 21 úsporných opatření. Zde jsou hlavní z nich:

Byl upraven pneumatický pohon vyhazovačů u některých lisů tak, že byla použita úsporná tryska a tím se snížila spotřeba tlakového vzduchu.

V kovárně je osm indukčních ohříváček. Každá je složena z více dílů, mezi nimiž jsou mezery potřebné pro údržbu. Tyto mezery byly zakryty izolací s okénky.

Pro výkovky a vyválnované kroužky, které se odesílají na tepelné zpracování k externímu dodavateli, bylo zavedeno řízené vychlazování v koších, které zajišťuje rovnoměrné ochlazování všech součástí.

Modernizace upínání zápustek a použití automatického lokátoru zápustek umožnilo zkrátit dobu potřebnou pro výměnu nástrojů a tím i prostoje.

Kovárna měla ve skladu výchozího materiálu zásobu na jednoměsíční výrobu. Tým doporučil zásoby snížit na 50 %. To si vyžádalo několik organizačních opatření. Např. pro každý typ výkovků byla stanovena minimální a maximální potřebná zásoba vstupního materiálu. Zároveň byla snížena velikost minimální dodávané série.

Byly omezeny i zásoby hotových výrobků, které byly mnohdy i nevhodně skladovány na nádvoří.

Bylo přijato i několik opatření, např. iontová nitridace, které vedou ke zvýšení životnosti používaných nástrojů.

8. Závěr

Snížit spotřebu energie při výrobě výkovků vyžaduje úsilí, ale je to možné. Kromě izolovaných akcí v jednotlivých závodech by bylo vhodné hledat možnosti kolektivního řešení s využitím celospolečenských zdrojů.

Otázky:

1. Jak můžete charakterizovat vliv postupu kování na spotřebu energie ?
2. Jaké možnosti úspor energie existují ve volných a zápustkových kovárnách ?
3. Jak se řeší možnosti úspory energie v zahraničních kovárnách ?

Literatura k dalšímu studiu:

1. SEMIATIN, S.L. et al: ASM Handbook, vol. 14A, Metalworking- Bulk Forming. Materials Park, Ohio 2005, 887 s.
2. BARTEČEK, R., GREGER, M.: Možnosti úspory energie ve volných kovárnách. Kovárenství, 2003, 22, s.7-11.

15. SOUČASNOST ZÁPUSTKOVÉHO KOVÁNÍ

Členění kapitoly :

- Použití zápusťkových výkovků v průmyslu
- Polotovary a jejich ohřev
- Tvářecí stroje a kovací linky
- Roboty, manipulátory a nástroje
- Jakost výkovků a ekologické problémy kování



Čas potřebný ke studiu : 120 minut

Cíl : Po prostudování této kapitoly

- Dokážete stanovit zásady kování zápusťkových výkovků
- Budete umět navrhnout technologický postup kování rotačně symetrických výkovků
- Seznámíte se základními tvářecími stroji v zápusťkové kovárně



Výklad

Použití zápusťkových výkovků, kvalita výchozích polotovarů – válcovaných sochorů a tyčí, dělení tyčí, ohřev ke kování, tvářecí stroje, konstrukce zápusťek, simulace toku materiálu při zápusťkovém kování, použití robotů, zápusťkové výkovky pro automobilový průmysl, zápusťkové výkovky pro letecký průmysl, postupové automaty, výroba zápusťek, mazadla, tepelné zpracování, zápusťkové výkovky z mikrolegovaných ocelí, perspektiva zápusťkového kování.

Úvod

Rozvoj automobilového, aerokosmického průmyslu, průmyslu valivých ložisek, ale i dalších průmyslových odvětví vyvolal i rozvoj zápusťkového kování. Zápusťkové výkovky jsou používány na nejnáročnější součásti automobilových motorů jako jsou klikové hřídele, ojnice apod., automobilový průmysl spotřebuje až 60% vyrobených zápusťkových výkovků. V letectví to jsou zejména lopatky turbin. Na součásti vyrobené ze zápusťkových výkovků

jsou kladeny vysoké požadavky, např. se požaduje vysoká odolnost proti dynamickému namáhání, vysoká žírupevnost. Kromě vysoké kvality se u zápustkového kování dosahuje vyšší produktivity oproti jiným technologiím např. obrábění, v některých případech je to až pětinasobek, současně se zvyšuje využití materiálu o dvacet až osmdesát procent. V současné době se zápustkové výkovky vyrábějí nejenom z ocelí, ale i z mědi a jejich slitin, hliníku a jeho slitin, niklových, kobaltových a titanových slitin. Hmotnost zápustkových výkovků se pohybuje od několika gramů až do hmotnosti několika set kilogramů, u protiběžných bucharů až do hmotnosti 15 tun. V posledních letech se rozšiřuje použití mikrolegovaných ocelí legovaných titanem, niobem, vanadem, dusíkem případně dalšími prvky. Cílem nových technologií v zápustkovém kování je výroba velmi přesných výkovků s minimálními kovářskými přírůstky a úzkými tolerancemi, vysoká produktivita dosahovaná maximální mechanizací a robotizací a splnění ekologických požadavků, zejména snížení hluchosti a otřesů.

Výchozí polotovary

Ocelové polotovary pro zápustkové kování, zejména válcované sochory a tyče kruhového a čtvercového průřezu, dodávají v ČR hutní podniky TŽ Třinec, NH Ostrava, Železárny Hrádek, ŽDB a v současné době již jen v malé míře Vítkovice. Tyto hutní podniky prošly v posledních letech modernizací technologie a výrobních zařízení, tím se podstatně zvýšila kvalita výchozích polotovarů – sochorů a tyčí pro zápustkové kování. Zejména ocelárny podniků TŽ Třinec, NHO a Vítkovice prošly podstatnou modernizací. Ve Vítkovicích to byl i přechod výhradně na elektrické obloukové pece a konvertory. Velké zlepšení kvality ocelí přinesla sekundární metalurgie. Byly realizované vakuové stanice, zařízení pro ohřev tekuté oceli typu LF, zařízení pro odsíření tekuté oceli. Účelem vakuování oceli je zamezení tvorby vloček ve vývalcích podstatným snížením obsahu vodíku, zlepšení mechanických vlastností vývalků, zlepšení ultrazvukové čistoty oceli, účelem ohřevu tekuté oceli v pánvi je rafinace oceli, zejména snížení obsahu síry, kyslíku a nekovových vměstků, účelem zařízení pro odsíření oceli je odstranění síry, teplotní a chemická homogenizace, úprava chemického složení odstranění doprovodných prvků a modifikace neodstranitelných nečistot do příznivých tvarů. Byl uskutečněn přechod technologie z lití ingotů na bloková kontilita v NHO a TŽ, který přinesl podstatné snížení nákladů a zvýšení kvality. U válcovaných tyčí z kontislítek je důležitý stupeň protváření, TŽ Třinec již vyrobil kontislítek o průměru 550 mm, tzn., že jeho válcovna může pracovat s daleko větším protvářením sochorů a tyčí po kontilitě než doposud. Rovněž elektroocelárna ŽDAS, která je v současné době významným dodavatelem nástrojové oceli pro zápustky, byla podstatně zmodernizována. Bylo realizováno vakuové odplynění, vakuové oxidační oduhličení, vakuové odlévání ingotů.

Dělení výchozích polotovarů

Dělení výchozího polotovaru na jednotlivé přířezy pro zápustkové kování se provádí řadou technologií a na různých dělicích zařízeních :

- řezání přířezů na vysokorychlostních okružních pilách, pilové kotouče jsou vybaveny zuby ze slinutých karbidů. Pracoviště dělení materiálu je vybaveno zásobníkem tyčí a tříděním přířezů. Předností technologie je dosažení kolmého řezu a čisté plochy řezu při minimální hluchosti,
- rozbrušování, velký řezný výkon, přesnost a kolmost řezu, řez bez otřepu, v dělicí rovině nedochází ke strukturním změnám, dělené plochy jsou hladké a čisté, nevýhody prašnost a hluchost,
- pásové pily doznaly velkého pokroku, řezací listy mají geometrii a tvar ozubení podle druhu a tvaru řezaného materiálu, elektronická kontrola přesnosti řezu,

tenzometr sledující napětí pásu, refraktometr, který umožňuje stálou kontrolu složení chladicí kapaliny,

- technologie řezání vodním paprskem, laserové řezání se používají zejména při tvarovém řezání plechů,
- plazmové řezání přineslo vysokou produktivitu práce a vysokou kvalitu řezu, plazmové stroje pro řezání dodává např. americká firma Hypertherm,
- termické dělení sochorů a tyčí acetyleno-kyslíkovým plamene dosahuje nejvyšší rychlosti hoření a největšího výkonu primárního plamene z používaných plynů (používá se i propan),
- lámání, technologie se používá u méně tvárných materiálů,
- stříhání objemově přesných přířezů, zařízení sestává ze zásobníku tyčí, hrotovací jednotky, snímacího zařízení pro odměřování odchylek průřezu tyče, řídicího mikroprocesorového systému, klikového lisu, střížného nástroje s předpětím, automatické nastavení dorazu podle okamžitých tolerancí tyče.

Ohřev na kovací teplotu

Ohřev přířezů před zápusťkovým kovááním se provádí několika technologiemi:

- indukční ohřev, kruhové nebo čtvercové přířezy, které mají být ohřáté na kovací teplotu, procházejí jedním nebo více induktory, těmi prochází střídavý proud o příslušné frekvenci, přířezy se pohybují buď po kolejnicích nebo kluzných deskách, každý induktor tvoří jeden monoblokový celek a linka pro ohřev přířezů může být složena z jednoho nebo více induktorů. Manipulace s přířezy může být zcela mechanizována,
- plynový ohřev, ohřívací pece byly v posledním období podstatně inovovány: vyzdívka pecí je tvořena keramickými rohožemi na bázi SiO_2 a Al_2O_3 , nové jsou konstrukce vysokotlakých hořáků, byly zavedeny automatické systémy řízení ohřívacího procesu, např. systém vypnuto – zapnuto, tato zlepšení přispěla ke zpřesnění ohřevu a snížení nákladů na ohřev,
- odporový ohřev přímým průchodem proudu je neefektivnější, když poměr délky k průměru ohříváního materiálu je v rozmezí min. 6 : 1 až 10 : 1, elektrický odporový ohřev je energeticky nejúspornější.

Měření teploty ohříváního materiálu se dostalo na mnohem vyšší úroveň, v současné době používané termometry (výsledky kosmického výzkumu) mají toleranci měření do teploty $1500^\circ\text{C} \pm 0,5\%$.

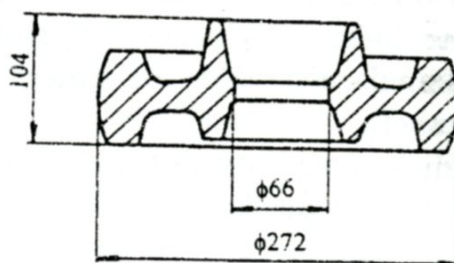
Tvářecí stroje

Tvářecí stroje pro zápusťkové kováání prošly v posledních létech značným rozvojem, zejména svislé kovací lisy, určené pro přesné kováání zápusťkových výkovků a kalibrování, vřetenové lisy, zápusťkové buchary, protiběžné buchary, rychloběžné buchary a vznikly i nové druhy tvářecích strojů. Základní požadavky na tvářecí stroje pro zápusťkové kováání jsou:

- vysoký počet pracovních zdvihů, krátká doba styku výkovku se zápusťkou,
- nízké investiční náklady, nízké náklady na energii,
- přesnost, malé kovářské přídavky a mezní úchyly, malé popř. žádné mechanické opracování.

Výroba tvářecích strojů pro zápusťkové kováání má v českých zemích dlouholetou tradici, dvě české firmy se dlouhodobě uplatňují na světovém trhu - Šmeral a ŽĐAS.

Šmeral – firma byla založena před 140 léty Ignácem Storkem, po druhé světové válce byla přejmenovaná na Šmeral, vyrábí pro zápusťkové kování především řadu svislých kovací lisů (od lisu LMZ 1000 až po lis LMZ 6500), tyto lisy jsou určeny pro přesné zápusťkové kování a kalibrování výkovků za tepla v sériové a hromadné výrobě. Hlavním spotřebitelem těchto výkovků je automobilový průmysl. Svislé kovací lisy prošly ve Šmeralu dlouholetým vývojem od typů LKM přes LKT, LZK až po dnešní typy LMZ. Např. na svislém kovacím lisu typu LKM 1000 byla zahájena výroba zápusťkových výkovků ve Vítkovické zápusťkové kovárně již v roce 1960. V té době se na něm vyráběly známé zápusťkové výkovky přední a zadní příloška pro kola autobusů. Na obr.1 je příklad zápusťkového výkovku vykovaného na svislém klikovém lisu LZK 6300.

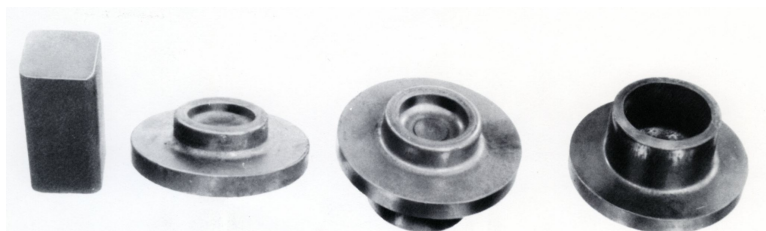


Obr.1. Zápusťkový výkovek vykovaný na svislém klikovém lisu LZK 6300.

Další zařízení, které Šmeral vyrábí, jsou vodorovné kovací lisy, které jsou určeny pro kování za tepla v jedné nebo několika zápusťkách, pneumaticko-hydraulické buchary, orážecí lisy, automatické transferové tvářecí linky, zařízení pro příčné klínové válcování, které válcuje mimo jiné předkovky pro následující zápusťkové kování. Šmeral vyrábí zápusťky pro zápusťkové kování včetně tepelného zpracování, iontové nitridace, kalení ve vakuu a obrábění v kaleném stavu.

ŽĎAS – vyrábí pro zápusťkové kování svislý kovací lis LMZ 6500, lisy klikové jednobodové řady LKJP, vřetenové lisy řady LVE. Kovací soubor pro kování ventilů spalovacích motorů s lisem LVE 400 s dvěma roboty pro manipulaci s materiálem a šest přechovacích strojů pro přechování hlavy ventilů byl v poslední době dodán do Asie. Nástrojárna vyrábí nástroje pro tváření zejména pro výlisky pro automobilový průmysl, zápusťky pro zápusťkové kování, při tepelném zpracování se využívá iontová nitridace.

Předností zápusťkových výkovků kovaných na svislých kovacích lisech jsou malé přídavky na obrábění a malé mezní úchytky. Tyto se dosahují spolehlivým vedením beranu, automatickým vyhazováním výkovků ze zápusťky, které umožňuje použít menší úkosy, stále rozměry výšky výkovků jsou dosahovány stálou velikostí zdvihů beranu.

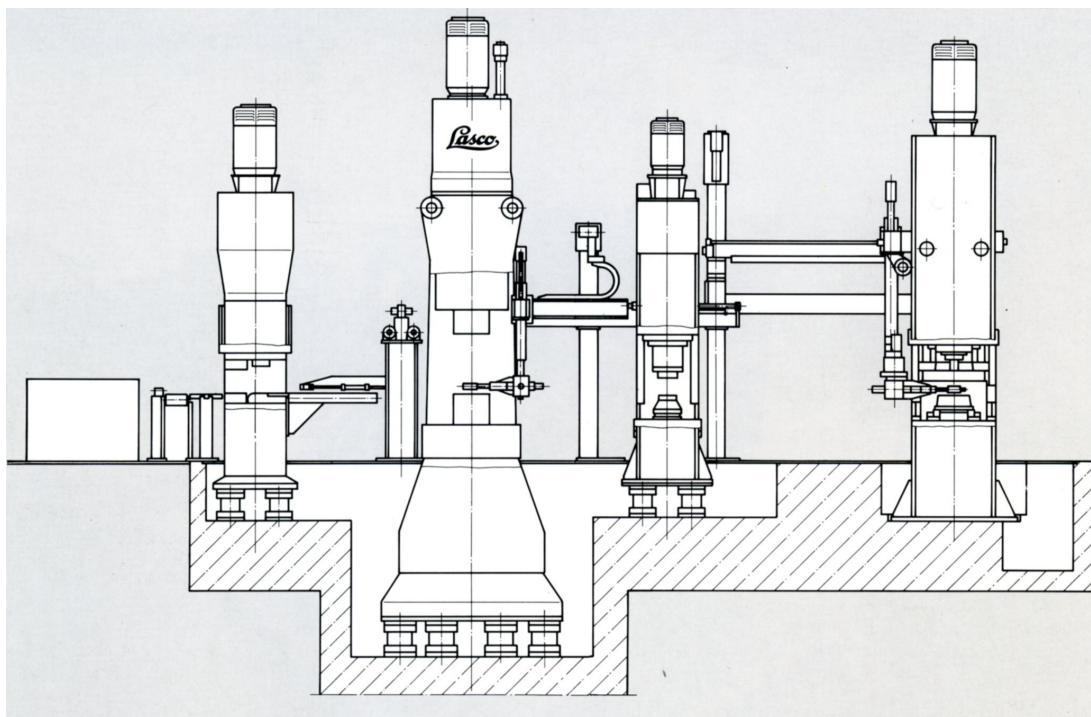


Obr. 2 Rotační výkovky kované na svislých kovacích strojích

Na svislých kovacíh lisech je možno kovat i slitiny s vysokým přetvárným odporem např. slitinu Nimonic. Kování na svislých kovacíh lisech je možno plně automatizovat což umožňuje zařadit kovací lisy do linek. Jedním z největších svislých kovacích lisů, který byl postaven je svislý kovací lis firmy Sumimoto o lisovací síle 110 MN. Přední výrobce zápusťkových bucharů firma Béch  vyrábí tyto typy zápusťkových bucharů:

- vzduchové zápusťkové buchary, hmotnost beranu do 2250 kg,
- krátkozdvihové buchary, rázová práce do 160 kJ,
- protiběžné buchary, rázová práce do 2500 kJ.

Dalšími výrobci zápusťkových bucharů jsou firmy Lasco, Banning a další. Předností zápusťkových bucharů je kování zápusťkových výkovků s velkou plochou v dělicí rovině.

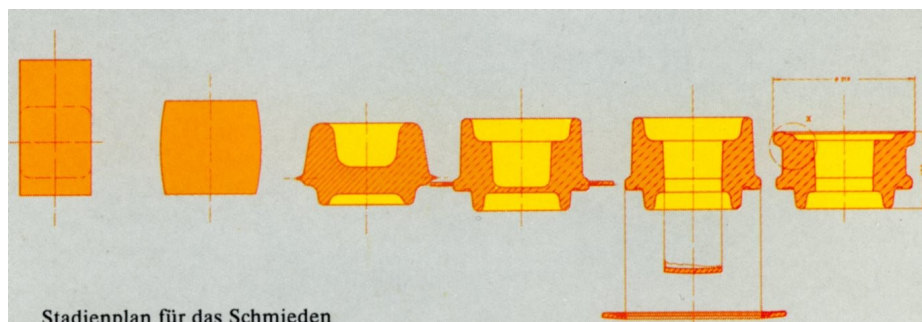


Obr.3. Kovací linka firmy Lasco pro kování kladek řetězů zemních strojů

Bucharý jsou řízeny elektronicky. Na obr. 3 je schématicky znázorněna automatická kovací linka firmy Lasco sestávající ze čtyř lisů, manipulace s tvářeným materiálem se provádí pomocí robotu :

1. Elektrohydraulický lis o lisovací síle 6300 kN;
2. Elektrohydraulický zápusťkový buchar o rázové síle 160 kJ;
3. Elektrohydraulický lis o lisovací síle 4000 kN;
4. Elektrohydraulický lis o lisovací síle 12500 kN.

Kovací linka slouží pro kování kladek řetězů zemních strojů, hmotnost zápusťkových výkovků 10 až 65 kg. Technologický postup kování kladek je uveden na obr. 4.



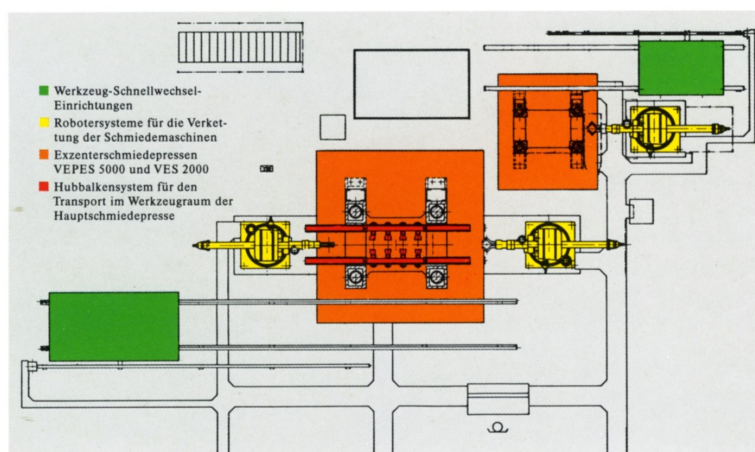
Obr.4. Technologický postup kování v kovací lince firmy SMS Hasenclever

Pro zápusťkové kování přesných výkovků lopatek plynových a parních turbin byl zkonstruován vřetenový lis o tvářecí síle 140 MN, pracoviště lisu je vybaveno karuselovou pecí o středním průměru 10000 mm, rozsah ohřívacích teplot je 400 až 1300°C. Na lisu jsou kovány zápusťkové výkovky z hliníku a jeho slitin, z legovaných a vysocelgovaných ocelí, niklových a kobaltových slitin z titanu a jeho slitin. Pracoviště lisu je vybaveno manipulátory o nosnosti 240 kg a kalicím zařízením pro kalení z dokovací teploty. Lis je poháněn šesti hydromotory, které pohánějí horizontální setrvačník, dávkování energie je účinné v rozsahu 10 až 100%.

Největší a nejtěžší zápusťkové výkovky se kovou na protiběžných bucharech a hydraulických zápusťkových lisech. Ve Francii je to hydraulický lis, výrobek firmy NKMZ, o lisovací síle 750 MN, vyrábí se na něm zalomené hřídele, turbinové běhouny, zápusťkové výkovky pro aerokosmický průmysl. Největší protiběžný buchar je instalován v USA na kterém se kovou zápusťkové výkovky do hmotnosti 15 tun.

Kovací linky

Technologické postupy zápusťkového kování se neustále rozvíjí, tvary zápusťkových výkovků jsou stále složitější, proto se tvářecí stroje sestavují do linek a manipulace mezi jednotlivými tvářecími stroji se provádí manipulátory nebo roboty, kovací linka jsou řízeny počítačem (obr.5).

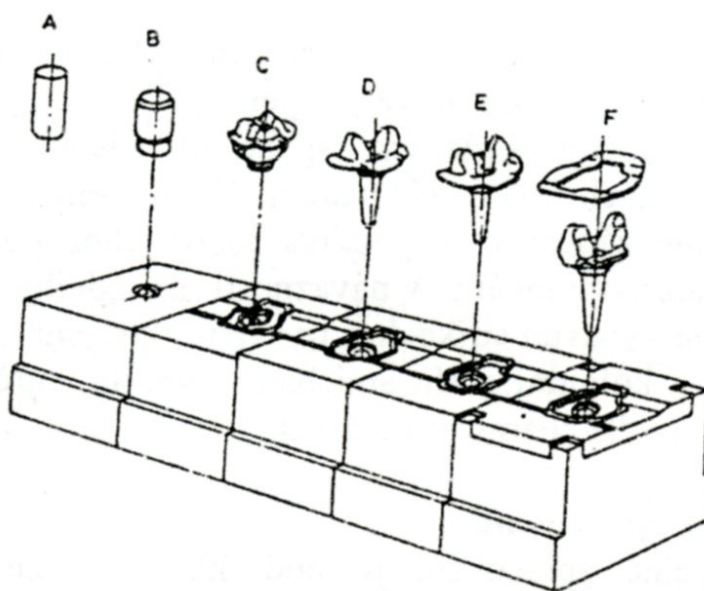


Obr. 5 Plně automatizovaná kovací linka řízená počítačem a obsluhovaná roboty

Příkladem je kovací linka na výrobu zalomených hřídelů pro diesselovy motory firmy Bofors - Kilsta, která se skládá ze zařízení pro indukční ohřev o výkonu $2,5 \text{ t.hod}^{-1}$, hydraulického lisu pro stříhání za tepla o stříhací síle 2 MN, automatických kovacích válců obsluhovaných dvěma roboty, excentrického lisu o lisovací síle 160 MN, který kove hřídele do hmotnosti 250 kg a do délky 1900 mm, mechanického ostříhovacího lisu o síle 12,5 MN obsluhovaného robotem, hydraulického zkrucovače o síle 2 MN obsluhovaného robotem, hydraulického rovnacího a kalibrovacího lisu o síle 16 MN obsluhovaného dvěma roboty, ochlazovací linky s třízonovým ochlazovacím tunelem o celkové délce 44000 mm.

V ČR vyrábí klikové hřídele pro motory osobních aut Kovárna ŠKODA AUTO v Mladé Boleslavi na kovací lince, která byly instalována v roce 1997. Je vybavená svislým kovacím lisem LZK 3500, robotem a ostříhovacím lisem LDO 500. Materiálem je mikrolegovaná ocel 38MnS6, hmotnost výkovku 13 kg. Kovací linka je řízená centrálním řídicím systémem.

Další možností je postupové kování, na obr. 6 je schématické znázornění technologie postupového kování zápustkového výkovku otočného čepu.

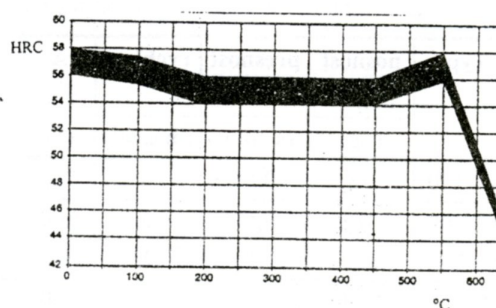


Obr.6. Technologický postup kování zápustkového výkovku otočného čepu.

Nástroje pro kování za tepla

Na zápustky pro kování za tepla se používají nástrojové ocele, které jsou odolné proti opotřebení za tepla. Hlavním výrobcem zápustkových ocelí byla v České republice firma Poldi Kladno. Po kolapsu této firmy převzaly tuto roli další ocelárny např. firma ŽŽAS, která vyrábí zápustkové oceli 19 520, 19 642, 19 655, 19 662, 19 663, 19 665, důležitou roli hraje dovoz od západních firem např. od švédské firmy Uddeholm Tooling AB. Špičkové ocelárny zkoušejí nové materiály na zápustky např. německá ocelárna Edelstahl Witten – Krefeld GmbH vyvinula novou ocel na zápustky, má označení DIN 45MoCrV5-3-1 o směrném chemickém složení C 0,45%, Si 0,30%, Mn 0,30%, Cr 3,00%, Mo 5,00% a V 1%. Tato ocel vykazuje podstatné zlepšení odolností vůči opotřebení za tepla, má zvýšenou žárupevnost a

vyšší tepelnou vodivost. Na obr.7 je popouštěcí diagram této oceli. Rozšířeno je navařování opotřeбенých částí zápustek. Např. firma Castolin Eutectic dodává zařízení pro plazmové navařování zápustek. Tepelné zpracování se provádí ve vakuových pecích, kalení v proudu plynů, opracování tvaru v kaleném stavu.



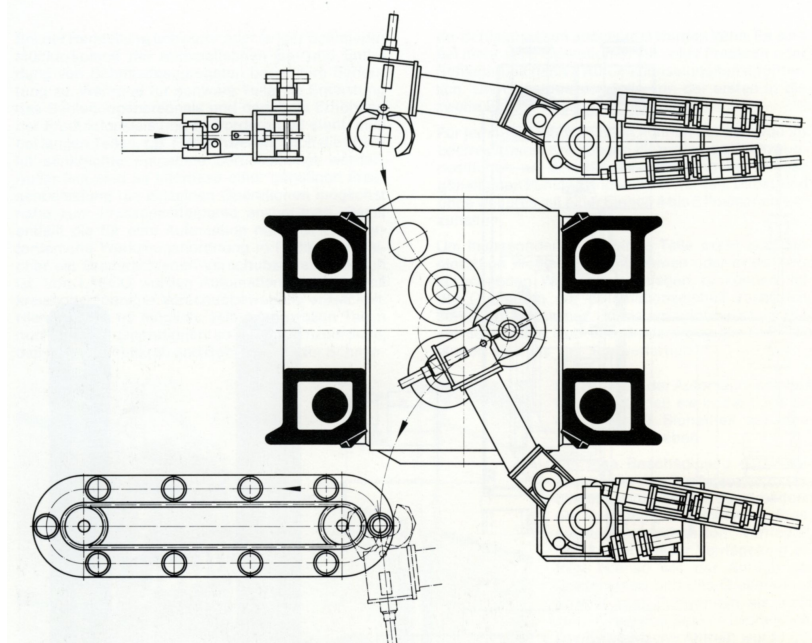
Obr. 7. Popouštěcí diagram nástrojové oceli pro zápustky DIN 45MoCrV 5-3-1

Simulace kování

Se stoupající složitostí zápustkových výkovků rostou požadavky na dokonalé zaplňování dutin zápustek. V současné době jsou k dispozici výkonné prostředky počítačové podpory, které umožňují sledovat tok materiálu v předem navržené dutině zápustky (simulace toku materiálu v zápustce), cílem je při kování dosáhnout dokonalé zaplnění dutiny zápustky a eliminace zákovků a přeložek. Je celá řada systémů, např. systém FORM-2D je založen na metodě konečných prvků.

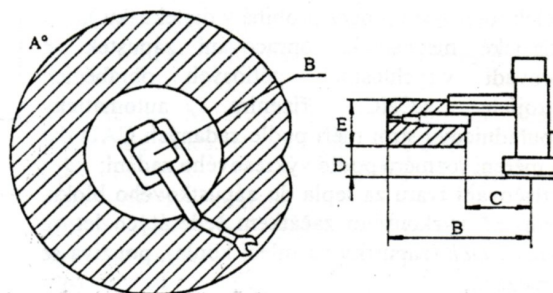
Manipulátory a roboty

Použití robotů pro manipulaci s přířezy a mezi tvářecími operacemi a mezi tvářecími lisy je ekonomické zejména při kování velkých sériích zápustkových výkovků jaké se vyskytují zejména v automobilovém průmyslu (obr. 8).



Obr.8 Robotizované pracoviště kovacího lisu

Základní parametry robotů jsou počet os (stupňů volnosti), opakovatelnost nastavení polohy, rychlost, hmotnost břemene, dosah, počet digitálních vstupů, režimy řízení, příkon. Další důležité vybavení robotu je termometr-umožňuje třídění správně a nesprávně ohřátých přířezů. Na obr. 9 je schématické znázornění robotů pro tváření za tepla firmy Lamberton Robotics a v tab.1 jsou technické parametry robotů této firmy.



Obr.9. Schématické znázornění dosahů (šrafovaně) robotů typů AA 150 až 700 pro tváření za tepla firmy Lamberton Robotics, dosahy A,B,C,D,E jsou uvedeny v tab.1.

Tab. 1. Parametry robotů pro tváření za tepla firmy Lamberton Robotics, pohon elektrický nebo elektro-hydraulický, počet stupňů volnosti 3 až 7.

Typ	Nosnost (kg)	Přesnost ustavení (± mm)	Rychlost (m.sek ⁻¹)	A arc (°)	B max. radius (mm)	C min. Radius (mm)	D min. výška (mm)	E vertikální pohyb (mm)
AA 150	200	0,50	6	30 0	3200	1500	700	1000 – 2000
AA 300	375	0,50	6	30 0	3200	1500	700	1000 – 2500
AA 700	850	0,75	2	36 0	3600	1800	1650	1200 – 2500
AA 1300	1500	3,50	1	36 0	3600	1800	1650	1200 - 2500

Využití zápusťkových výkovků v automobilovém průmyslu

V automobilovém průmyslu, který je největším spotřebitelem zápusťkových výkovků, směřuje jejich vývoj ke snižování hmotnosti automobilů s cílem snižování spotřeby paliva. V současné době má automobilový průmysl na ocelové zápusťkové výkovky tyto požadavky:

- používání oceli s vyšší pevností,
- zvyšování tuhosti použitím materiálů s vyšším modulem pružnosti,
- snižování výrobních nákladů.

Technologie výroby zápustek

Výroba zápustek se provádí klasickým způsobem na obráběcích strojích, před léty nastaly inovace, je to zejména elektrojiskrové obrábění, které se začalo rozvíjet před třiceti léty. Jsou dva způsoby elektroerozivního obrábění:

- elektroerozivní obrábění pomocí tvarové měděné nebo grafitové elektrody, úběr materiálu se provádí elektrojiskrovým výbojem, teplota 8000 až 12000°C způsobuje roztavení a odpařování kovu, CNC řídicí systém, hlavní předností elektroerozivního obrábění je beztřísková technologie, po naprogramování nevyžaduje proces trvalou přítomnost obsluhy,
- elektroerozivní obrábění pomocí drátové řezačky, namísto tvarové elektrody se používá tenký drát o průměru několika desetin milimetrů (elektroerozivní proces probíhá v dielektriku).
- klasické mechanické opracování zápustek se provádí v rychlosních pětiosých obráběcích strojích s CNC řízením, automaticky souřadnicový stroj měří podle zadaných CAD dat a měření rozměrů podle výkresového zadání,
- vtlačování tvaru za tepla do zápustkového bloku, bylo již vyzkoušeno začátkem šedesátých let ve Vítkovicích (zápustky na mlecí koule), používá se omezeně.

Mazání

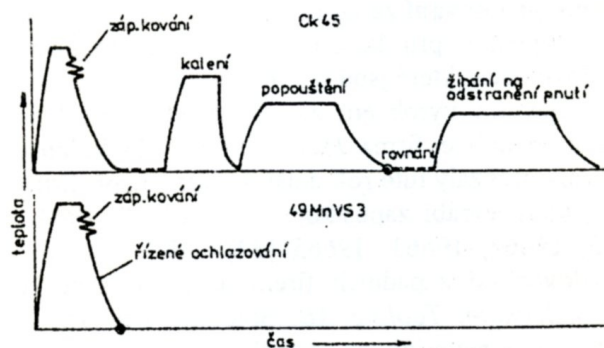
Maziva jsou důležitou součástí technologie zápustkového kování, funkce zápustkových maziv:

- tvorba kvalitního filmu
- snížení tření
- odolnost proti teplotě a otěru
- snadné vyjímání výkovku ze zápustky

Pro zápustkové kování ve nejúčinnějším mazivem grafit ve formě grafitové suspenze. Tyto suspenze jsou vyráběny s různým spektrem částic podle požadovaných podmínek tváření. K nanášení maziva na dutinu zápustky se používá robot jehož pohyby jsou naprogramovány v návaznosti na zdvihy lisu. Robot je vybaven stříkacími tryskami, kterými tryská mazivo-koloidní grafit smíchaný s vodou v určitém poměru podle charakteru tváření.

Tepelné zpracování

Tepelné zpracování je buď klasické, tzn., že zápustkové výkovky se normalizačně žíhají, zušlechťují, rovnají nebo se po vykování řízeně vychlazují, tyto zápustkové výkovky jsou vyrobeny z mikrolegovaných ocelí. Na obr.10 jsou uvedeny jednotlivé operace a teploty při kování a tepelném zpracování zápustkového výkovku z běžné oceli Ck 45 a zápustkového výkovku z mikrolegované oceli 49MnVS3.



Obr.10. Kování a tepelné zpracování zápustkových výkovků z běžné oceli Ck 45 a z mikrolegované oceli 49MnVS 3.

Jako kalicí média se kromě vody používají kalicí oleje - syntetické kalicí oleje na bázi poletylenglykolu, syntetické kalicí oleje na bázi syntetických esterů a polymerní kalicí přípravky na bázi polyalkylenglykolu, tyto oleje a kalicí přípravky jsou ekologicky nezávadné. Zařízení pro tepelné zpracování zápustkových výkovků se zařazují do kovacíh linek.

Ekologické problémy v kovárenství

Ekologie – v současné době, kdy manipulace s materiálem by měla v zápustkovém kování úplně mechanizována případně robotizována, odpadá častá nemoc kovářů - vazoneuróza. Hlavním ekologickým problémem se proto stává hluk, který způsobuje další nemoc kovářů – hluchotu. Na snížení hlučnosti se neustále pracuje s větším či menším úspěchem. Dalším problémem jsou otřesy.

Jakost výkovků

Požadavky na kvalitu zápustkových výkovků, zejména při jejich použití ve špičkových zařízeních stále rostou. Zápustkové výkovky musí splňovat geometrické rozměry v požadovaných mezních úchylnkách, nesmí vykazovat trhliny, oduhličení nebo nauhličení povrchových vrstev musí odpovídat dohodnutým podmínkám, rovněž tak mechanické hodnoty a vrubová houževnatost. Správný průběh vláken, který již není tak důležitý jako v minulosti, vzhledem k čistotě oceli, zvyšuje odolnost proti dynamickému namáhání. V současné době se používá řada zkušebních metod pro zjišťování rozměrů a kvality zápustkových výkovků Jsou to např.:

- automatický souřadnicový měřicí stroj pro zjišťování rozměrů zápustkových výkovků, předepsaná geometrie včetně mezních úchylek je zadaná počítači. Zjištěné hodnoty měření jsou registrovány a porovnávány se zadanými hodnotami. Měřicí přístroj je koncipován tak, že může co nejpřesněji změřit všechny rozměry zápustkových výkovků,
- dynamické zkoušky zápustkových výkovků na pulzátozech na kterých se provádí namáhání jmenovitým nebo vyšším než je vypočteno pro provozní podmínky a počtem cyklů přicházejícím v úvahu při celkové životnosti stroje v němž jsou zabudovány. Na pulzátoru, který byl instalován na VŠB - TU Ostrava byly ověřovány vlastnosti pružnic pro vítkovické velkostroje.

Shrnutí

Perspektiva zápusťkového kování spočívá ve zvyšování produktivity, tzn., automatizace a robotizace tvářecího procesu, zvyšování mechanických a plastických vlastností zápusťkových výkovků, přesné kování zápusťkových výkovků tzn. dosažení rozměrů blízkých opracované součástí (rozvoj zápusťkového kování do uzavřených zápusťek), snížení mechanického obrábění na minimum, snižování výrobních nákladů, bude kladen velký důraz na ekologii výroby (hluk, otřesy). Prosazovat se budou zápusťkové výkovky z mikrolegovaných ocelí a oceli s úzkou garancí prokalitenosti. Důležitý bude další rozvoj simulace zápusťkového kování.

Otázky:

1. Co představuje výronek a výronková drážka?
 2. Jaké tvary má dělicí rovina ?
 3. Jak stanovíte přídavky na obrábění rotačně symetrických výkovků ?
-

Úlohy k řešení :

1. Vypočítejte deformační sílu a deformační práci při kování rotačního výkovku (průměr 50 mm, $h_o = 105$ mm, $h_i = 40$ mm, $d_i = 75$ mm. Polotovar je z oceli tř. 12 600.
-

Literatura k dalšímu studiu:

SEMIATIN, S.I.: ASM Handbook. Vol. 14A, Metalworking, Bulk Forming Materials Park, Ohio 2005, 888 s.