

Česká zemědělská univerzita v Praze

Technická fakulta

Katedra materiálu a strojírenské technologie



Bakalářská práce

Kování

Ondřej Vinecký

© 2024 ČZU v Praze

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Ondřej Vinecký

Silniční a městská automobilová doprava

Název práce

Kování

Název anglicky

Forging

Cíle práce

- shromáždit literární poznatky o různých operacích základní práce kování se zaměřením na využití této technologie v automobilovém průmyslu.

Metodika

- výhody, nevýhody a využití technologie kování v praxi,
- používané materiály výkovků a zápustek,
- zařízení používaná k ohřevu tvářených polotovarů,
- používané nástroje a stroje,
- závěry a přínos práce.

Doporučený rozsah práce

cca 30 stran

Klíčová slova

zápustkové a volné kování; základní práce; operace; nástroj; výtvarěk

Doporučené zdroje informací

AKSENOV, L. B., KUNKIN, S. N.: Metal flow control at processes of cold axial rotary forging. Lecture Notes in Mechanical Engineering. St. Petersburg, Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University 2016. 175-181.

ČSN 22 6001 Názvosloví technologie tváření kovů. Praha, Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření 1967. 28.

FENG, B., HE, J., LI, S., GU, B., LIN, Z.: Sheet metal forging process for thin-walled structures with crossed ribs: process design, simulation and a forming experiment. METAL 2021 – 30th Anniversary International Conference on Metallurgy and Materials. Brno, Tanger 2021. 217-222.

GIULIANO, G. (Editor): Superplastic forming of advanced metallic materials: methods and applications. Cambridge, Woodhead 2011. 369.

KLIBER, J.: Základy tváření kovů. Ostrava, VŠB – TU 2008. 267.

NOVÁKOVÁ, A., BROŽEK, M.: Forming resistance determination of steel. 16th International Scientific Conference on Engineering for Rural Development. Jelgava, Latvia University of Agriculture et al. 2017. Vol. 16, 2017. 31-35.

PETRUŽELKA, J.: Tvařitelnost a nekonvenční metody ve tváření. Ostrava, VŠB – TU 2000. 144.

RUSZ, S.: Tváření, část I. Ostrava, VŠB – TU 2003. 155.

SUCHÁNEK, J., BRIKŠÍ STUNOVÁ, B., VONDROUŠ, P.: Fundamentals of technology I. Praha, ČVUT, FS 2019. 102.

Vědecké časopisy evidované v databázích Scopus a Web of Science
(<https://www.sic.czu.cz/cs/r-8833-odborne-databaze/r-8883-infozdroje>).

Předběžný termín obhajoby

2023/2024 LS – TF

Vedoucí práce

prof. Ing. Milan Brožek, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra materiálu a strojírenské technologie

Elektronicky schváleno dne 15. 1. 2023

prof. Ing. Miroslav Müller, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 8. 3. 2023

doc. Ing. Jiří Mašek, Ph.D.

Děkan

V Praze dne 25. 03. 2024

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Kování" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 25.3.2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu práce prof. Ing. Milanovi Brožkovi CSc. za odbornou pomoc při zpracování práce, za cenné konzultace a vstřícný přístup. Poděkování patří také mému otci Milanovi za přínosné rady a v neposlední řadě chci poděkovat mé přítelkyni Karolíně za její bezmeznou trpělivost a za odpovědi na mé otázky při formulování textu a citování práce.

Kování

Abstrakt

Bakalářská práce je zaměřena na literární rešerši technologického procesu kování. V úvodní části je shrnuta historie a vývoj kování. Následující část je věnována charakteristice kování včetně popisu změny struktury kovaného materiálu. Třetí část obsahuje rozdělení kování do dvou základních skupin, přičemž je podrobně rozebráno zejména zápustkové kování. Čtvrtý úsek práce pojednává o ohřívacích zařízeních a palivech používaných v kovárenském průmyslu. Dále jsou rozebrány typy strojů běžně používaných při kování a v poslední části jsou rozebrány materiály nejhojněji se vyskytující v automobilovém průmyslu při zpracování kováním.

Klíčová slova: zápustkové a volné kování; základní práce; operace; nástroj; výtwarek

Forging

Abstract

Bachelor thesis focuses on a literature research of the technological process of forging. In the introductory part, the history and development of forging is summarized. The following section is devoted to the characteristics of forging including a description of change in the structure of the forged material. The third part contains a division of forging into two basic groups, with a detailed discussion of closed die forging in particular. The fourth section of the thesis deals with heating devices and fuels used in the forging industry. Next, the types of machines commonly used in forging are discussed, and in the last section are discussed materials most commonly found in the automotive industry in forging.

Keywords: closed die and open die forging; basic work; operation; tool; forged piece

Obsah

1 Úvod	1
2 Cíl práce a metodika.....	2
3 Charakteristika kování.....	3
3.1 Změna struktury materiálu při kování.....	3
4 Rozdělení kování.....	5
4.1 Volné strojní kování.....	5
4.1.1 Pěchování	6
4.1.2 Prodlužování.....	7
4.1.3 Děrování	7
4.1.4 Osazování, prosazování a přesazování	8
4.1.5 Sekání	9
4.2 Zápustkové kování	9
4.2.1 Konstrukce zápustek.....	12
4.2.2 Maziva pro zápustkové kování.....	14
4.2.3 Materiály zápustek.....	15
4.2.4 Výroba a renovace zápustek.....	16
5 Ohřev kovaných materiálů	19
5.1 Ohřívací zařízení palivové	19
5.1.1 Komorové pece.....	19
5.1.2 Karuselové pece.....	20
5.1.3 Strkací pece.....	21
5.2 Ohřívací zařízení elektrické	21
5.2.1 Indukční pece.....	21
5.2.2 Odporové pece s přímým ohřevem.....	23
5.2.3 Odporové pece s nepřímým ohřevem.....	24
5.3 Paliva vhodná pro ohřev	24

6 Kovací stroje.....	25
6.1 Buchary.....	25
6.1.1 Pružinové buchary.....	26
6.1.2 Pneumatické buchary.....	26
6.1.3 Padací buchary.....	26
6.1.4 Protiběžné buchary.....	27
6.2 Mechanické lisy.....	28
6.2.1 Svislé klikové kovací lisy.....	28
6.2.2 Vodorovné klikové kovací lisy.....	29
6.2.3 Vřetenové lisy.....	29
6.3 Hydraulické lisy.....	29
7 Materiály využívané v automobilovém průmyslu.....	30
7.1 Uhlíkové a legované oceli.....	31
7.2 Hliník a jeho slitiny.....	32
7.3 Hořčík a jeho slitiny.....	33
7.4 Titan a jeho slitiny.....	34
8 Závěr.....	36
9 Seznam použitých zdrojů.....	38

Seznam obrázků

Obrázek 1 - Změna licí struktury prokováním.....	3
Obrázek 2 - Příklad ručního kování.....	5
Obrázek 3 - Typy kovadel při volném kování.....	5
Obrázek 4 - Operace pěchování.....	6
Obrázek 5 - Způsoby pěchování.....	6
Obrázek 6 - Operace prodlužování.....	7
Obrázek 7 - Operace jednostranného děrování.....	8
Obrázek 8 - Operace oboustranného děrování.....	8

Obrázek 9 - Operace osazování, prosazování a přesazování.....	9
Obrázek 10 - Operace sekání materiálu.....	9
Obrázek 11 - Schéma zápustkového kování.....	10
Obrázek 12 - Konstrukce zápustky.....	10
Obrázek 13 - Postupová bucharová zápustka.....	11
Obrázek 14 - Upínač s vložkami.....	13
Obrázek 15 - Výronková drážka s příčným rýhování.....	13
Obrázek 16 - Tok materiálu uvnitř zápustky při mazání.....	14
Obrázek 17 - Schéma lisování zápustky.....	16
Obrázek 18 - Schéma procesu elektroerozivního obrábění.....	17
Obrázek 19 - Proces navařování firmy RAMLAB.....	19
Obrázek 20 - Komorová pec.....	20
Obrázek 21 - Karuselová pec.....	20
Obrázek 22 - Indukční pece pro ohřev dlouhých polotovarů.....	22
Obrázek 23 - Pružinový buchar.....	26
Obrázek 24 - Mechanismy zdvihu padacího bucharu.....	27
Obrázek 25 - Princip protiběžného bucharu s ocelovými pásy.....	27
Obrázek 26 - Svislé kovací lisy.....	28
Obrázek 27 - Princip vřetenového lisu.....	29
Obrázek 28 - Podvozkové díly z kovaných slitin hliníku.....	33
Obrázek 29 - Disk ze slitiny hořčíku zhotoven kováním.....	34
Obrázek 30 - Ojnice motocyklu YAMAHA YZF-R1 ze slitiny titanu.....	35
Obrázek 31 - Palivová nádrž motocyklu HONDA CRF450R.....	35

Seznam tabulek

Tabulka 1 – Materiály zápustek.....	16
-------------------------------------	----

1 Úvod

Kování je jednou z nejstarších technologií tváření používané lidstvem. Historické prameny uvádí, že má kování historii dlouhou 6 000 let. Většinou se při kování používaly kamenné nástroje připomínající svým tvarem dnešní kladiva a údery byly prováděny na velkých kamenech. Jak si lze představit, tyto primitivní metody vedly k nerovnoměrným tloušťkám a necelistvostem dílů. Kování kovů za tepla se začalo rozvíjet v Mezopotámii nejméně 4 000 let př.n.l. Zlato bylo však prvním zaznamenaným kovem, který byl kován ohřátý za pomoci ohně. Rané zmínky metalurgie byly zaznamenány při výrobě bronzu, odolné slitiny mědi a cínu. Bronz se stal rychle oblíbeným kovem, z něhož byly vyráběny ruční nástroje, zbraně a šperky. Dalším oblíbeným kovem se stalo železo (oceli) pro svou vyšší dostupnost a pevnost. Ohřev byl prováděn zpočátku na malých otevřených ohních a později v ohništích s měchy spalujícími dřevěné uhlí, jež zaručovaly zvýšení kovací teploty. [39, 40]

Největší inovace v kovárenství přišly s průmyslovou revolucí v 19. století, jež se prohnala Evropou a Amerikou. Zejména vynález parního stroje měl významný dopad na kovářský průmysl. Pára se začala používat k pohonu bucharů a lisů. V této době se začaly vyvíjet i manipulátory, které umožňovaly tváření velkých výkovků. Kovářské svařování si našlo své uplatnění při výrobě nadrozměrných výkovků jako jsou hřídele o hmotnosti několika tun. Vzhledem k rostoucí poptávce po oceli začala Velká Británie vyrábět oceli s vysokým obsahem uhlíku, které byly levnější a své uplatnění našly zejména ve stavebnictví. [40]

Ve 20. století začala vznikat vysoká poptávka po výkocích v automobilovém, leteckém a kosmickém průmyslu. Vývoj přinesl vznik nových druhů specializovaných slitin, jež by splnily přísné požadavky každého odvětví, což umožnilo rozkvět metalurgie. Díky použití mikroskopu bylo možné lépe pochopit změny v mikrostruktuře materiálů. Rozšířila se také dostupnost elektřiny, s níž přišly elektrické pece, které výrazně ovlivnily kovářský průmysl z důvodu jejich přesného a efektivního ohřevu. [40]

2 Cíl práce a metodika

Cílem bakalářské práce je shromáždit literární poznatky o technologii kování, o různých operacích základní práce volného kování se zaměřením na zápustkové kování v automobilovém průmyslu. Dalším cílem je popsat ohřev materiálu a ohřívací zařízení, používané stroje při kování a materiály, které se v současné době vyskytují v automobilovém průmyslu.

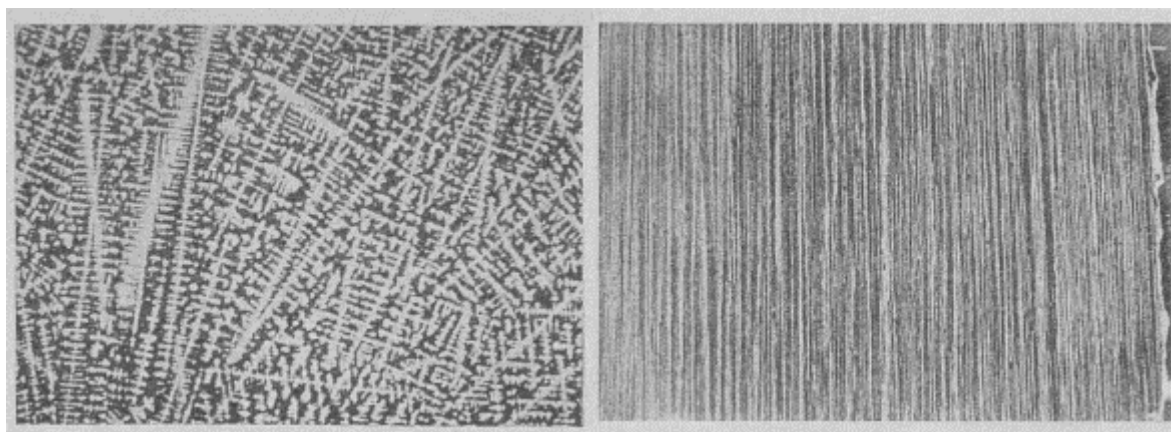
Pro splnění cílů práce budou použity literární prameny české i cizojazyčné zahrnující vědecké články, internetové zdroje a odborné knihy, jež se specializují na danou technologii. Témata jsou podložena v některých částech obrázky a tabulkami, které by mohly zajistit lepší pochopení dané problematiky.

3 Charakteristika kování

Technologií kování se rozumí tváření materiálu bez odebrání třísky za pomoci rázů či tlaku, čímž dochází k deformaci. Výkovky mohou být různých hmotností od několika gramů do stovek tun. Na rozdíl od technologie obrábění má kování tu výhodu, že při tváření materiál neztrácí žádoucí vlastnosti jako je houževnatost, nýbrž je zlepšuje. Je to také jeden z důvodů, proč se tato technologie uplatní zejména v automobilovém průmyslu, leteckém průmyslu či v zemědělství.

3.1 Změna struktury materiálu při kování

Struktura kovaného polotovaru bývá zpravidla nerovnoměrná. Ke sjednocení krystalické struktury se využívá právě proces prokování, který současně svařuje a uzavírá vnitřní necelistvosti. Změna struktury je vidět na *obrázku 1*, kde obrázek vpravo ukazuje sktrukturu po silném prokování. Úspěšnost procesu závisí zejména na kovací teplotě, volbě vhodných strojů a nástrojů, rychlosti deformace a volbě operací. Tohoto procesu se využívá zejména ve volném kování, kde není kovaný materiál nijak prostorově omezen a může se deformovat kolmo na stlačovanou stranu. [1, 2, 3]



Obrázek 1 - Změna lící struktury prokáváním [1]

Změna struktury je nejvíce znatelná při volném kování, kde se kovaný polotovar kove tak, aby se jeho průřez zmenšoval, a naopak se zvětšovala jeho délka. Poměr mezi výchozím a konečným průřezem udává stupeň prodlužování. Při prodlužování vzniká uvnitř materiálu takzvaná „vláknitost“, která se dle stupně prodlužování rozšiřuje po celém materiálu. Vláknitost se rozšiřuje od jádra ingotu až po celý průřez. Pomocí vhodně zvoleného směru a velikosti vláken se dají měnit mechanické vlastnosti materiálu. Volným kováním se nedá dosáhnout dokonale shodného průřezu po celé délce. To znamená, že vypočtený stupeň prodlužování je

pouze směrnou hodnotou, podle které se dá posoudit, zda je výkovek dostatečně přetvořen. [1, 5]

Vláknitost není zahrnována jako vlastnost daného materiálu a je tedy dána složením a obsahem nečistot. Vznik vláken je definován přítomností různých příměsí jako například síry, fosforu či kyslíku. Tyto příměsi se poté oddělují od primárních zrn oceli. Jejich koncentrace je nejvyšší právě ve vnějších vrstvách zrn, čímž dochází k tvorbě vláken. [1]

Stupeň prokování je parametr, který udává změnu struktury kovaného ingotu. Uplatní se při navrhování technologického postupu za cílem dosažení požadovaných mechanických vlastností. Pro výpočet stupně prokování tyčí a podélných výkovek s průřezem menším nebo stejným jako je průřez ingotu, se používá tento vzorec [5, 6]:

$$PK = A^n \cdot P^n \cdot K$$

Kde: PK – celkový stupeň prokování

A – pēchovací ekvivalent, velikost volí výrobce v rozmezí 0,7 až 0,9 [-]

P – stupeň pēchování [-]

K – stupeň prodlužování [-]

n – počet pēchovacích operací [-]

Potřebný stupeň pēchování (P) a prodlužování (K) pro výpočet stupně prokování (PK) se spočítá takto:

$$P = S_p/S_i \qquad K = S_i/S_v$$

Kde: S_p – plocha příčného průřezu napēchovaného ingotu [mm²]

S_i – plocha středního průřezu ingotu [mm²]

S_v – plocha největšího příčného průřezu výkovku [mm²]

4 Rozdělení kování

Kování se rozděluje na strojní a ruční. Ruční kování se zhotovuje za pomoci kovadliny, jež v tomto případě funguje jako opěrný nástroj a za pomoci kladiv různých typů a velikostí, kterými se přitlouká z vrchu kovaného materiálu (viz *obrázek 2*). Kovadliny mohou být různých rozměrů a hmotností nejčastěji od 100 do 200 kg. Používá se dále nástrojů pro vysekávání otvorů, sekáčů pro dělení materiálů, průbojníků, sedlíků či oblíků. Metoda ručního kování se uplatní zejména pro kusovou a malosériovou výrobu, či při opravách nástrojů. [4, 3]

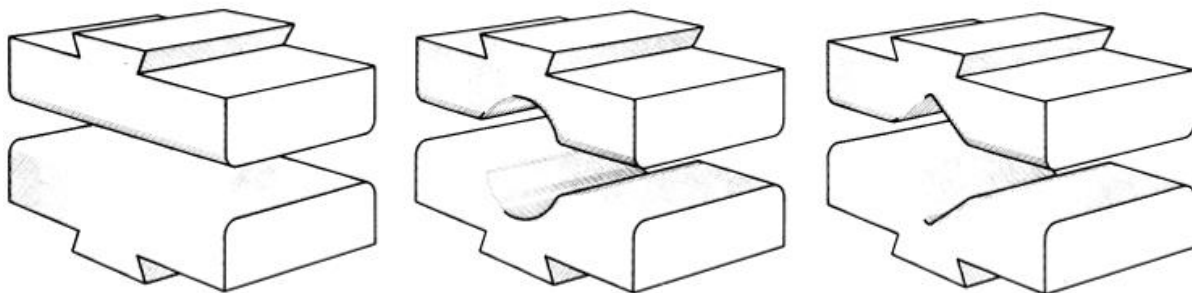


Obrázek 2 - Příklad ručního kování [4]

V dalším textu bude rozebráno zejména strojní kování, které je dnes využíváno častěji než kování ruční. Mezi další rozdělení se začleňuje také volné a zápustkové kování.

4.1 Volné strojní kování

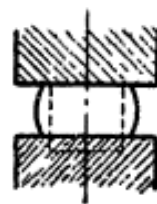
U volného strojního kování (dále jen volné kování) se výrobek zhotovuje za pomoci strojů jako jsou lisy či buchary. Výkovek je stlačován mezi kovadly, která mohou být různě tvarována (viz *obrázek 3*). Zhotovený výkovek bývá zpravidla nepřesný s nerovným povrchem. Při volbě tohoto postupu je také na místě dodržovat přídavky pro další operace jako je například obrábění. Přídavek je dále uvažován za předpokladu vyšší hospodárnosti. U výkovků, které je nutno dále tepelně zpracovat se používá takzvaný „hrubovací přídavek“. Velikost přídavku bývá dána normou, ale u tvarově složitějších výkovků má každý výrobce své stanovení přídavků a tolerancí. Se zvětšujícím se rozměrem výkovku a tvarovou náročností se úměrně zvětšují nepřesnosti a možnost přesazení. [1, 2]



Obrázek 3 - Typy kovadel při volném kování [8]

4.1.1 Pěchování [7]

Při pěchování dochází ke stlačování materiálu ve směru jeho osy, čímž se zmenšuje jeho výška a nastává zvětšení jeho příčného průřezu, jež lze vidět z *obrázku 4*.



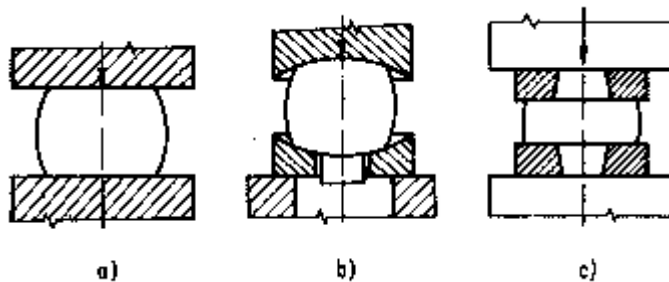
Obrázek 4 - Operace pěchování [7]

Jeho uplatnění se využije při kování rotačních těles, například kotoučů. Dále je používán jako přípravná operace pro následné prodlužování či děrování materiálu. Jelikož je stlačován celý objem materiálu, tak se tato operace bere jako jedna z energeticky nejnáročnějších. [1, 3]

Napětí při kování vzniká výhradně na stykových plochách mezi nástroji a výkovkem. Tím vznikají nerovnoměrná tahová napětí, a tudíž i nerovnoměrné deformace na bocích výkovku, které je dále spjato s tvarem soudku. Na bocích materiálu může vlivem vysokých napětí docházet k vzniku a šíření trhlin. K zamezení tohoto jevu se ingot okovává kolem svého pláště. [1, 3, 5]

Existují tři způsoby pěchování [2]:

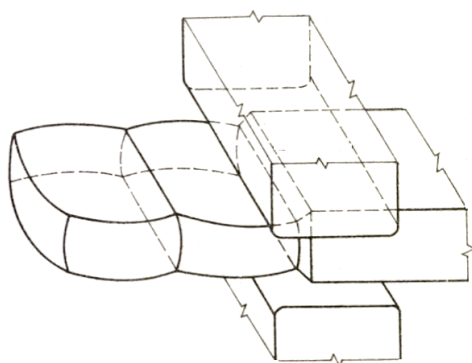
- Rovinné s rovinnými pěchovacími deskami nebo kovadly. Pomocí tohoto způsobu se pěchují menší a již připravené polotovary, ze kterých se dále vykovávají výkovky tvaru kotoučů či desek.
- Tvarové pěchování se sférickými deskami. Spodní deska má ve své ose díru pro zasunutí manipulačního čepu ingotu. Tento způsob se používá pro pěchování jako přípravu pro ingoty k dalšímu prodlužování.
- Pěchování v přípravcích. Používá se u pěchování s osazením například u přírubových kotoučů.



Obrázek 5 - Způsoby pěchování [2]

4.1.2 Prodlužování [7]

Až 75 % výrobního času v kovárnách je věnováno operacím prodlužování, kdy je záměrně zmenšován příčný průřez polotovaru a zvyšuje se tak jeho délka (viz *obrázek 6*). Tato činnost se využívá jak při přípravě, tak při dokončování procesu kování výkovků, jako jsou tyče, klikové hřídele atd. Finální šířka i výška kovaného polotovaru je menší než výchozí rozměr. [1, 2]



Obrázek 6 - Operace prodlužování (upraveno) [2]

a zmenšuje se rozšiřování. Pro zamezení rozšiřování se také používá tvarových kovádel. [1]

Co se rychlosti deformace tyče, tak prodlužování probíhá ze všech operací nejrychleji. Pro minimalizaci rozšiřování materiálu během procesu prodlužování je nezbytné obracet kovaný polotovar. Rozšiřování je v tomto případě myšleno jako zvětšení délky při zvětšující se výšce výkovku. Průběh a velikost rozšiřování je dán šířkou kovádla, tvarem kovádla a stupněm stlačování výchozí výšky. Naopak čím je

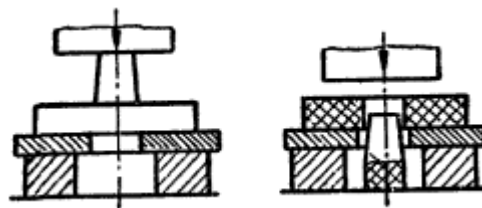
Pokud se prodlužuje polotovar obdélníkového průřezu, neměl by být poměr výšky k šířce větší než 2,5. Při větším poměru by mohlo dojít k prohnutí materiálu. Při prodlužování dlouhých polotovarů a ingotů se zpravidla prodlužuje od středu ke koncům. Důvodem je zamezení nevhodného tvarování a roztřepení konců. [1]

4.1.3 Děrování [7]

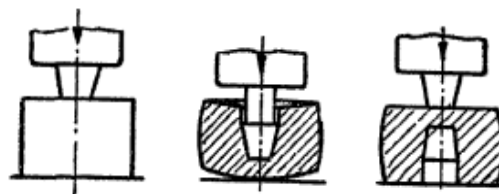
Děrování představuje kovářskou operaci, při níž vytváříme otvory (úplné proražení) nebo prohlubeniny v polotovaru. Pro provádění této operace se využívají různé průbojné desky, průbojníky, nástavky, kalibrovací trny pro dosažení přesných otvorů a podložné desky s otvory. Při děrování dochází ke změně tvaru proraženého polotovaru, a při úplném proražení vzniká odpad kovu. Děrování se dělí dle normy na jednostranné a oboustranné (viz *obrázek 7 a 8*). [3, 7]

Při děrování je třeba dodržet rovnoměrné prohřátí výkovku. Tím se zaručí přesná osová dráha, kterou musí děrovací trn překonat, aby byla díra zhotovena v ose nástroje. Dále by měl výchozí polotovar splňovat podmínku pro jehož výšku h a průměr d platí $h \leq 0,8d$. [2]

Velké otvory se vytváří pomocí děrovacích trnů či dutých trnů. Před začátkem procesu se použije nastavných podložek, za účelem proděrování materiálu do dvou třetin jeho výšky. Zbylá výška materiálu se děruje po otočení o 180°. Pro kotoučové tvary platí pravidlo, že by děrovací trn neměl být v průměru větší, než je třetina vnějšího průměru děrovaného polotovaru. Při nedodržení této podmínky se stává z děrovacího trnu přechovací nástroj. [1, 5]



Obrázek 7 - Operace jednostranného děrování [7]



Obrázek 8 - Operace oboustranného děrování [7]

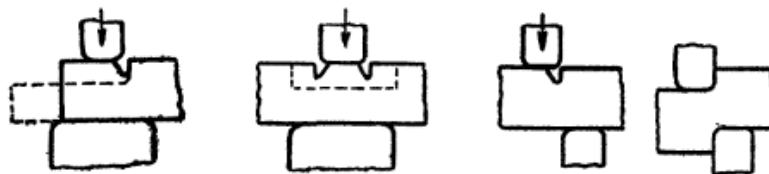
Děrovací trn je také důležité mazat. Snižuje se tak deformační odpor a po dokončení operace se snadněji vytahuje trn z vyhotovené díry. [5]

4.1.4 Osazování, prosazování a přesazování [7]

Při osazování dochází ke změně geometrického tvaru průřezu kovaného polotovaru podle požadavků. Výkovky jsou osazovány zpravidla na svých koncích. U prosazování dochází k obdobnému jevu jako u osazování, avšak prosazuje se mezi konci výkovku. U obou operací dochází zároveň k prodlužování pouze určitých částí výkovku. Důvodem je zmenšení průřezu jen v žádaných částech kovaného polotovaru. Často se tato operace provádí postupným vmačkáváním tříhranné nebo zaoblené příložky do kovaného polotovaru. Tím vznikne dostatečně hluboká drážka, jasně vymežující část, která je určena k osazování nebo prosazování. Hloubka tohoto záseku definuje výšku osazení či prosazení. [2, 4]

Přesazování se dá brát jako přesazené prosazování, kde se průřez přemístí tak, aby jeho osa byla rovnoběžná s původní polohou této části. Přesazování se dá uskutečnit buďto v jedné rovině či ve dvou. Pro přesazování v jedné rovině se spodní kovádko nastaví tak, aby jeho hrana byla posunuta pod hranu kovádkla horního. Ve dvou rovinách se kovádkla orientují přímo k zásekům. Operaci je nutno provádět se zvýšenou opatrností, jelikož je materiál náchylný na přeseknutí. Je tedy nutno dodržovat optimální teploty a to minimálně 900 °C. Přesazování se používá zejména při výrobě klikových hřídelů a různých tvarově podobných výkovků. [1, 2]

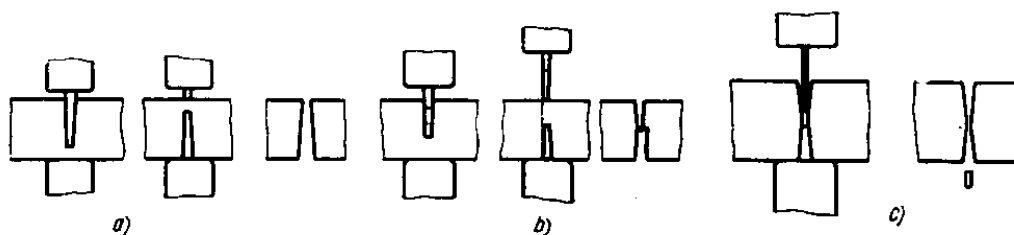
Všechny tři operace jsou znázorněny na obrázku 9, kde je možné vidět zleva osazování, prosazování a poté přesazování.



Obrázek 9 – Operace osazování, prosazování a přesazování [7]

4.1.5 Sekání [7]

Tato operace se uplatní při oddělení nadbytečného či odpadového materiálu od výkovku. Dále se používá k dělení výchozích polotovarů pro další zpracování. Sekání se uskuteční za pomoci nástroje zvaného „sekáč“. Ten je záměrně úzký z důvodu zvětšení deformace a urychlení rozdělení materiálu v rovině sekání. Pro výkovky čtvercového a obdélníkového průřezu platí, že se sekají postupně z jedné strany, přičemž se musí materiál otočit o 180° pro oddělení zbylého materiálu, ze dvou stran, nebo ze čtyř stran (viz obrázek 10). U výkovků kruhového průřezu se používá sekání ze tří stran. Sekání ze dvou stran se používá zpravidla u větších průřezů. Pokud se vyžaduje plocha čistá a bez otřepů je vhodné použít sekání ze čtyř stran. [1, 2]



Obrázek 10 – Operace sekání materiálu: a) z jedné strany, b) ze dvou stran, c) ze čtyř stran [1]

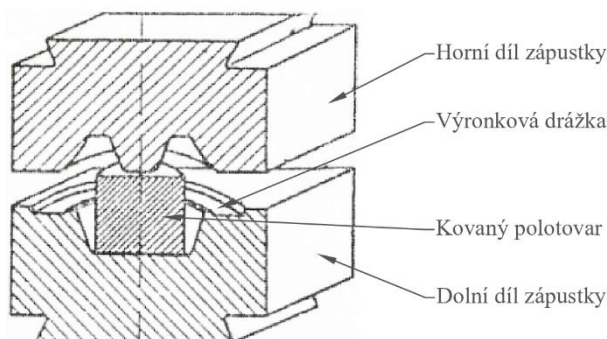
Při sekání ze čtyř stran je sekáč postupně zatlačován tak, aby v prostřední části zůstala neoddělená část. Tato část se oddělí až nakonec, což vytváří odpad materiálu, ale zabraňuje vzniku otřepů. Tento postup se často používá u materiálů s velkým průřezem. [1]

Již zmíněný otřep na výkovku je nežádoucí, a tudíž zůstává na části, která půjde následně do odpadu. K oddělení dochází pod osou materiálu. Pokud by došlo k oddělení v ose materiálu, mohl by otřep překážet například při následném obrábění. [1]

4.2 Zápustkové kování [7]

Zápustkové kování představuje tvarování kovu uvnitř dvou částí zápustky, které se spojí tak, aby zcela obklopile materiál ze všech stran. Zápustka bývá zpravidla ze dvou dílů, přičemž se

nejčastěji pohybuje díl horní. Kované polotovary, běžně kruhového či čtvercového průřezu, se zkracují na délku takovou, která snadno vyplní objem dutiny uvnitř zápustky, včetně přídatku na výronek. Proces zápustkového kování je znázorněn na *obrázku 11*. [2, 8]



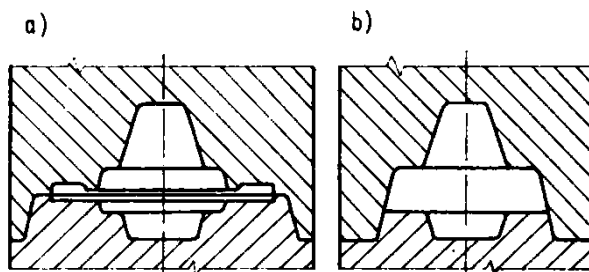
Obrázek 11 - Schéma zápustkového kování (upraveno) [10]

Výronek je přebytečný materiál, který ve své podstatě funguje zároveň jako ventil pro uvolnění extrémního tlaku vyvinutého během kování uvnitř zápustky. Plní také funkci jakési brzdy, která zabraňuje unikání dalšího materiálu z dutiny zápustky. Tím dochází k úplnému vyplnění zápustky.

Výronek se jakožto odpad následně odstříhne střížným nástrojem. Na *obrázku 12* lze vyzorovat, že je možné zápustkový výkovek zhotovit také bez výronku. Při tomto druhu zápustkového kování není v zápustce drážka pro výronek, a tudíž musí být předkovek objemově velmi přesný. [2, 8, 9]

Velkou výhodou zápustkového kování je jeho vysoká výkonnost, která je oproti volnému kování několikanásobně vyšší. Výkovky jsou také přesnější i při velké tvarové náročnosti, tudíž se častokrát, díky lepší jakosti povrchu, obrábějí a brousí jen funkční plochy, které jsou v dotyku s jinými součástmi. Pokud je použito kování za tepla, jsou tolerance menší oproti volnému kování, tudíž je materiál hospodárněji využit. Zápustkové kování je ovšem operace velmi energeticky náročná, z důvodu kování celého objemu výkovku v zápustce. Je zde také značné rozměrové a hmotnostní omezení, kde většina výkovku dosahuje hmotnosti kolem 30 kg. V některých případech existují výkovky o hmotnosti až 3,5 tuny, přičemž jsou pro jejich výrobu nutné velké jednoúčelové stroje a drahé nástroje, které mají vliv na finální cenu. [3, 5]

Stejně jako u volného kování je možno materiál kovat jak za tepla, tak za studena. Celkově se zápustkové kování vyznačuje krátkými pracovními časy. Nejdelší jsou zde časy nepracovní, a to manipulační, které se dnes zkracují mechanizací, automatizací a robotizací celého procesu. Tímto způsobem

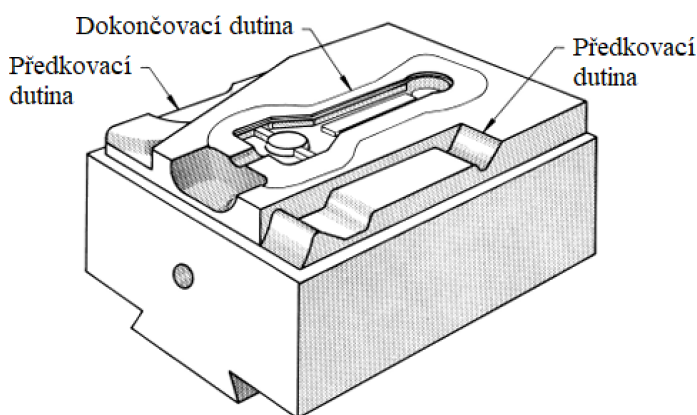


Obrázek 12 - Konstrukce zápustky: a) s výronkem b) bez výronku [2]

se dají kovat výkovky různých velikostí i hmotností s využitím v automobilovém, leteckém,

lodním průmyslu při výrobě klikových hřídelů, ojníc, ozubených kol a v mnoha dalších odvětvích. [2]

Tvarově složitější výkovky je zpravidla vhodné kovat z již připraveného předkovku, který je možno zhotovit již zmíněným volným kovááním, zápustkovým kovááním v postupové zápustce (viz obrázek 13) či válcováním. Například kulovité a kvádrovitě tvary se kují nejsnáze, naopak výkovky s tenkými úseky, výstupky



Obrázek 13 – Postupová bucharová zápustka (přeloženo) [8]

a žebry se kují obtížněji. Důvodem je vyšší tření a teplotní změny, které ovlivňují konečný tlak potřebný k vyplnění dutiny zápustky. Dále se tímto zápustka intenzivněji opotřebovává, jelikož materiál ve styku se zápustkou rychleji chladne. Opotřebování zápustky může následně zapříčinit zvětšenou drsnost povrchu a změněné rozměry výkovku. [1, 2, 8]

Co se týče přesnosti při zápustkovém kováání, tak ta závisí na několika parametrech: [1]

- a) Nepřesností zápustek – Přesnost výroby je závislá zejména na tvaru výkovku. Podle náročnosti tvaru jsou vybrané tolerance rozměrů.
- b) Smrštění materiálu po kováání – Musí se brát v potaz tepelná roztažnost materiálu při kováání za tepla. Zvětšený rozměr po ohřevu lze vypočítat dle vzorce [1]:

$$\Delta l = l \cdot \alpha \cdot (t - t_0)$$

Kde: Δl – zvětšená délka po ohřevu [mm]

l – délka před ohřevem [mm]

α – koeficient tepelné roztažnosti daného materiálu [K^{-1}]

t – dokovací teplota [$^{\circ}C$]

t_0 – teplota před ohřevem [$^{\circ}C$]

Tento fakt je nutno brát v potaz při konstruování dutiny zápustky.

- c) Změna tvaru dutin zápustek vlivem opotřebení – Je to jedna z nejčastějších příčin nepřesností na konečném rozměru a zvětšené drsnosti povrchu výkovku zhotovené zápustkou. Nejčastěji se opotřebovávají přechody do dutin pro výronek, také hrany přechodů do žeber a úzkých prostorů. Toto vše je zapříčiněno přemisťováním materiálu uvnitř zápustky. To znamená, že čím složitější je tvar dutin zápustek, tím dochází k většímu opotřebení. Tento fenomén se dá značně redukovat použitím vhodných maziv a správnou konstrukcí zápustek.
- d) Výchozí rozměr polotovaru a vhodně zvolený tvářecí stroj.

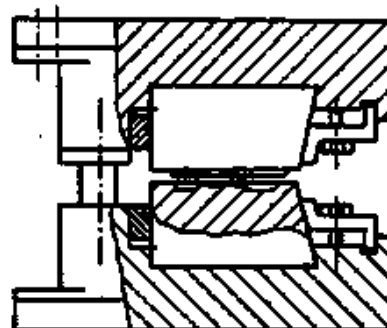
4.2.1 Konstrukce zápustek

Hlavní rozměry zápustky, tj. délka, šířka a výška, jsou stanoveny podle typu a tvaru výkovku a rovněž podle velikosti a síly stroje, na kterém budou zápustky použity. Zápustky používané na bucharu se konstrukčně liší od zápustek pro lisy. Nejprve je ale nutno vyřešit rozměry dokončovací dutiny, poté přípravné dutiny a jejich vzájemné polohy (upínání, středění, zajištění) a na závěr již zmíněný hlavní rozměr zápustkové formy (bloku). Dokončovací dutina se používá pro dotvoření výkovku na jeho finální tvar. Tvar dokončovací dutiny je tedy stejný jako tvar výkovku, kde se rozměry liší jen o tepelné smrštění materiálu. Při konstrukci zápustek je především důležité vhodně zvolit dělicí plochu, aby bylo možné výkovek snadno vyjmout. V případě možnosti je nejlepší řešení dělicí plochu zvolit v rovině zápustky. Lomené dělicí ploše je vhodné se vyhnout z důvodu obtížnější a tím pádem dražší výroby. Zápustky jsou konstrukcí přizpůsobeny stroji, na kterém jsou použity [1, 10].

Zápustkové kování na svislých kovacích lisech se charakterizuje nízkou pracovní rychlostí. Ta může být až 10krát menší než u bucharu. Kovací pochod není rázového charakteru a oproti kování na bucharech je tok materiálu kolmo na směr lisování, což znamená, že se horní část zápustky nebude zaplňovat stejně dobře jako při použití bucharu. Při kování na lisech se také klade většího důrazu na přesnost a podobnost předkovek se štíhlými výstupky a žebry, jelikož se tvar zápustky vyplňuje pouze jedním zdvihem lisu. Počet dutin musí být tudíž roven počtu zdvihů. Okuje z kovaného materiálu hůře opadávají, což může mít za vinu zakování těchto okují do povrchu výkovku a tím zhoršení jeho vlastností. Je tedy vhodnější při tomto procesu použít například indukční ohřev, kde vzniká výrazně méně okují. Narozdíl od bucharových zápustek

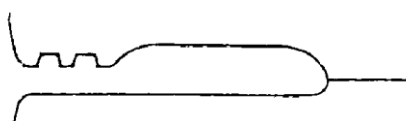
se zápustky pro lisy nezhotovují do bloků ale do vložek, které se poté upínají do normalizovaných upínačů, což lze vidět na *obrázku 14*. Aby se zabránilo přesazení jsou použity vodicí sloupky. [1, 2]

Zápustky použité při kování na bucharách se charakterizují vysokou dopadovou rychlostí beranu, která zaplňuje dutinu několika po sobě jdoucími rázy. Tyto rázy způsobují vysokou rychlost tečení materiálu a snadnější vyplnění hlubších dutin ve směru rázu. Tok materiálu se usměrňuje především do horní zápustky, kde se tak vlivem setrvačných sil a rychlejšího ochlazení spodní zápustky lépe zaplní vrchní zápustka. Z tohoto důvodu se do horních zápustek zhotovují žebra a tenké výstupky, pokud jsou u výkovku požadovány. Kvůli již zmíněným rázům se bucharové zápustky vyrábí z masivních bloků a je nutno respektovat i jejich správné upnutí. Pro zajištění slícování a správného dosednutí obou dílů zápustky se používá různých vedení, zámků či vodicích kolíků. Správné slícování redukuje možnost přesazení výkovku a tím zmenšení celkové zmetkovitosti při kování. [1, 2, 10]



Obrázek 14 – Upínač s vložkami [1]

Výronková drážka je tvořena v dělicí rovině okolo celého tvaru dutiny zápustky. Výronková drážka může být umístěna buďto ve vrchní zápustce, kde výronek při stříhání přiléhá na střížník rovnou stranou. Existuje druhý případ umístění výronkové drážky, a to v obou částech zápustky. Toto umístění je vhodné, pokud se počítá s větším přebytkem materiálu. V případě



Obrázek 15 - Výronková drážka s příčným rýhováním [1]

nutnosti vytékající materiál zpomalit, a tím lépe vyplnit dutinu, je namíste vytvořit ve výronkové drážce příčné rýhování (viz *obrázek 15*). Konstrukce a volba výronkové drážky se liší jak pro bucharové zápustky, tak pro zápustky pro lisy.

Zajímavé také je, z hlediska výroby v automobilovém průmyslu, že zhruba 30 % materiálu při výrobě klikových hřídelů, vačkových hřídelů, rejdových čepů atd. je ztraceno ve formě výronku. Pro zmenšení tohoto procenta a zlepšení ekonomického faktoru se právě využívá různých návrhů a tvarů výronkových drážek. Po ostříhnutí výronku se výkovek zdeformuje, proto je nutno výkovek přerovnat. Pro tuto operaci existují speciální kalibrovací lisy. Výkovek se dá přerovnat také v ostříhovacím lisu, pokud se použije určené formy s dutinou. Není vhodné přerovnávat výkovek v dokončovacích dutině, jelikož dochází k opotřebení zápustky. [1, 13]

Aby bylo možné výkovek ze zápustky vyjmout, je třeba do dutiny zhotovit úkosy. Úkosy se navrhují s ohledem na tvar dutiny, vlastnosti používaného materiálu pro výkovky a použitý stroj ať je to buchar, lis či jiný kovací stroj. Čím větší je smrštění materiálu očekáváno, tím větší se musí úkos zhotovit. Velikost úkosů se obecně volí mezi 3° a 10°. Například u lisů se navíc používá vyhazovačů pro zefektivnění práce a snazšího vyjmutí výkovku ze zápustky. Tyto vyhazovače zároveň mohou zvýšit životnost zápustek. Podrobnějším návrhem a konstrukcí se zabývá norma ČSN 22 8306. Pro jednodušší vyjmutí výkovků je vhodné zápustky mazat a po ohřevu odstraňovat okuje. [10, 11]

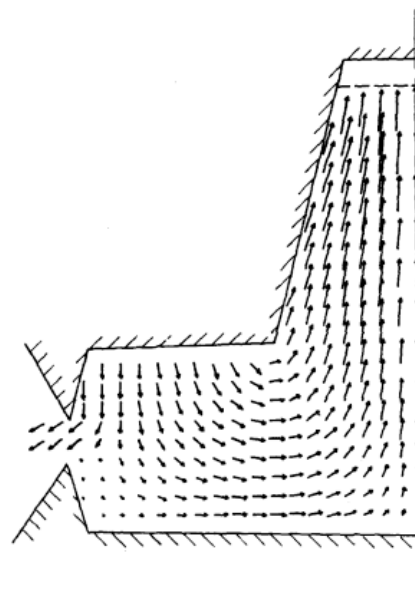
4.2.2 Maziva pro zápustkové kování

U zápustkového kování je volba vhodného maziva velmi důležitá. Mazivo výrazně snižuje tření, čímž zvyšuje životnost zápustky, pomáhá odvádět teplo a tím chladit zápustku a zajišťuje snadnější oddělení výkovku od zápustky po kování. Zlepšuje také tok kovaného materiálu, jež lze vidět z *obrázku 16*, což zaručuje vyplnění dutiny zápustky a nemusí tím docházet k tvorbě zmetků. [9]

Je tedy důležité, aby mazivo dosahovalo vysoké mazivosti a únosnosti mazacího filmu. Při kování s ohřevem je nutno brát v zřetel, že z důvodu tepla uvnitř dutiny zápustky dochází při nevhodně zvoleném mazivu k jeho odpařování. Důležitá vlastnost maziva je v tomto případě i jeho tepelná odolnost. Jako maziva se používají loje, různé grafitové koncentráty, roztoky solí či oleje s vysokým bodem vzplanutí. Výrobce těchto maziv společnost FUCHS udává

i způsoby nánosů jimi vyrobenými mazivy. Používají ekologicky šetrnější maziva v podobě disperze grafitu a vody. Takovýto druh maziva je nutné aplikovat postříkem. Na druhou stranu tuhá maziva ve formě grafitové pasty se nanáší štětcem či stěrkou. [9, 14]

Maziva při kování za studena hrají také určitou roli. Mazání zápustky podporuje plastický tok kovu a zajišťuje snadnější vyjmutí výkovku ze zápustky. Toto platí například při kování měkkých kovů či ocelí s nízkou pevností. Jako maziva se zde neuplatní tuhá maziva, jelikož se obtížně odstraňují z povrchu výkovku. Je tedy vhodné volit kupříkladu kapalinné roztoky. [9]



Obrázek 16 - Tok materiálu uvnitř zápustky při mazání [13]

4.2.3 Materiály zápustek

Zápustky pro kování za tepla jsou vystaveny extrémním podmínkám tepla, tlaku a opakovaným tepelným cyklům. Proto musí být vyrobeny z materiálů, které vykazují vynikající odolnost proti tepelné únavě, opotřebení, plastické deformaci a únavě materiálu. Výběr materiálu zápustek závisí na mnoha faktorech, včetně typu kovacího procesu, kovaného materiálu a požadované životnosti zápustek. Hlavní vlastnosti při volbě materiálu zápustky jsou tedy tvrdost a pevnost. Především je důležité, aby si zápustka svoji tvrdost a pevnost udržela při zvýšené teplotě, ke které dochází jak ohřevem materiálu, tak tlakem vznikajícím uvnitř dutiny zápustky. Materiál zápustky musí mít tvrdost a pevnost výrazně vyšší než materiál polotovaru, ze kterého se zhotovuje výkovek. [8, 16]

Nejpoužívanější ocelové zápustky obsahují chrom, wolfram a v některých případech také vanad či molybden. Tyto legující prvky zajišťují vysokou prokalitelnost zápustky a odolnost vůči opotřebení. Prokalitelnost je u výběru materiálu velice důležitý parametr, zejména pokud je nutno docílit co nejvyšší životnosti zápustky. Platí tedy, že čím vyšší je prokalitelnost materiálu, tím hlouběji je možno zápustku zakalit. Materiály používané při výrobě zápustek jsou většinou kaleny na vzduchu či v solných lázních. Po kalení je důležité zápustky popouštět, tím se zvýší jejich houževnatost, předejde se překalení a tím vzniku trhlin či prasklin uvnitř zápustky. Z důvodu velkého průřezu zápustek by mělo dojít k popouštění ihned po kalení. Pokud by došlo k popouštění až po určité době, mohla by zápustka vlivem vnitřního pnutí prasknout. [8, 18]

Pokud by došlo ke kalení v solné lázni, je nutno zápustky následně nitridovat, jelikož v lázni dochází k chemické reakci, která vytváří dusík. Ten je následně schopen difundovat do oceli, kde vytváří na povrchu velmi tvrdé nitridy. Zápustky lze nitridovat jen u ocelí, u kterých neklesá tvrdost při popouštění do 600 °C. U jiných ocelí nitridovat nelze, došlo by tím k poklesu tvrdosti pod přípustnou mez. [18]

Materiály pro výrobu zápustek se v Evropě nejčastěji vybírají podle evropských norem, zejména DIN EN. Uvedené příklady používaných materiálů viz *Tabulka 1*. Dnes se při volbě materiálu, ale i při konstrukci dutiny, používá metoda konečných prvků, která dokáže určit přibližnou životnost zápustky a místa největších napětí v dutině. [15, 17]

DIN	ČSN Ekvivalent	Specifikace
56NiCrMoV7	19 663	Houževnatá ocel s dlouhou životností a vynikajícími fyzikálními vlastnostmi při vysokých teplotách. Po zakalení dosahuje tvrdosti až 477 HB.
X40CrMoV5-1	19 554	Dutina zápustky má vynikající odolnost proti otěru díky vysokému obsahu vanadu. Je nutný předehřev zápustky kvůli teplotní citlivosti materiálu, v opačném případě hrozí lom.
X38CrMoV5-1	19 552	Materiál vykazuje vysokou odolnost proti otěru a zachovává si tvrdost po celou dobu kování i při vyšších provozních teplotách.
X38CrMoV5-3	-	Podobný materiálu X38CrMoV5-1, ale s téměř dvojnásobným obsahem molybdenu zajišťující vyšší odolnost proti opotřebení za vysokých provozních teplot.

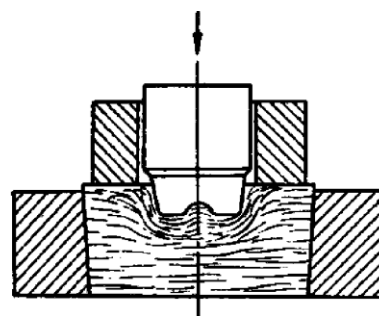
Tabulka 1 – Používané materiály zápustek [17]

4.2.4 Výroba a renovace zápustek

Zápustky se zhotovují z masivních ocelových bloků či kovaných zápustkových ocelí. Ocelové bloky se prokovávají, aby bylo dosaženo rovnoměrných mechanických vlastností podle směru vláken. Je vhodné vyrábět zápustkové dutiny napříč vláknům a nikoli po jejich směru. Nástroje, například při obrábění, poté mají tendenci praskat. Zápustkové dutiny jsou také náchylnější na vznik prasklin vlivem tepelné únavy. Zápustky se dají vyrábět různými způsoby. [1]

V tomto textu bude rozebráno lisování za studena, obrábění, elektroerozivní obrábění a lití jakožto nejběžnější výrobní procesy.

Lisování za studena má velkou přednost a tím je vysoká přesnost a kvalita povrchu zápustky. Oproti obrábění jsou náklady na výrobu zápustky menší, záleží však na složitosti tvaru. K provedení lisování je zapotřebí výkonný lis, většinou hydraulický, se správně vedenými a slícovanými pracovními plochami. Princip lisování za studena lze vidět na obrázku 17. Spočívá ve vtláčování lisovacího trnu, který

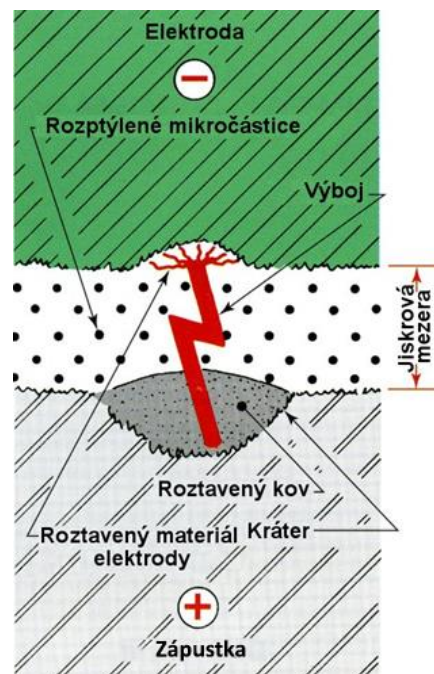


Obrázek 17 - Schéma lisování zápustky [1]

se vyrábí z vysokopevnostní rychlořezné oceli, do plochy zápustky. Zápustku drží zděře, které zabraňují jejímu roztahování. Plocha zápustky musí být broušena, aby se případné nerovnosti nepřekopírovaly do dutiny zápustky. Po lisování za studena se obecně provádí rekrytalizační žíhání zápustky pro odstranění vzniklého zpevnění. [1]

Obrábění je v dnešní době nejpoužívanější technologie při výrobě zápustek. Tato metoda třískového odebrání materiálu se provádí zejména na frézkách, které vytváří dutinu zápustky. Je ale možno použít i soustruh, pokud by se jednalo o zápustky s dutinami rotačních tvarů. Při výrobě zápustek se samozřejmě uplatní i technologie jako vrtání, vyhrubování či vystružování. Pro tvorbu dutiny se dříve používalo k obrábění zápustek kopírovacích frézek. Z důvodu vývoje nových technologií a automatizace se dnes uplatní tříosé či čtyřosé obrábění na CNC řízených frézkách, které se vyznačují výrazně vyšší produktivitou a kvalitou. S pokrokem v oblasti řezných materiálů se „vysokorychlostní frézování“ stalo nákladově efektivním výrobním procesem s vysokou přesností a kvalitou povrchu. To z něj dělá v praxi nejpoužívanější technologii. Při vysokorychlostním frézování se polotovar nejdříve vyhrubuje na tvar dutiny a poté se dokončovací operací tato dutina opracuje, aby došlo k co největšímu snížení nároků na ruční leštění. Před obráběním polotovaru zápustky dochází k jeho tepelnému zpracování. Dělá se proto, aby bylo zamezeno případným změnám rozměrů dutiny vlivem tepelných dilatací. Pokud by se nejdříve dutina zhotovila a až poté se zápustka tepelně zpracovala, mohla by být zápustka nepoužitelná. Proto se musí při obrábění zvolit vhodné nástroje, jelikož bude zápustka dosahovat vysoké tvrdosti a to až 62 HRC. V případě tvarově náročných zápustkových dutin je nutné použití speciálních tvarových fréz. [1, 8]

Elektroerozivní obrábění je univerzální proces pro výrobu zápustek. Princip je založen na silovém zdroji, který propouští mezi elektrodou a zápustkou napěťový potenciál. Jak se elektroda přibližuje k zápustce, tak se mezera mezi nimi zmenšuje, dokud nedojde k ionizaci a vzniku jiskry, která přejde z elektrody na zápustku. Ta odpaří část elektrody i zápustky za pomoci kapalného dielektrika, které zároveň slouží jako médium a řídí tok proudu. Tento proces se opakuje přibližně sto tisíckrát za sekundu během cyklu obrábění. Elektrody jsou vyráběny na zakázku například z grafitu, mědi, či wolframu. Tato metoda výroby zápustek je velmi výhodná, pokud se jedná o zápustku tvarově velmi složitou i při vysoké přesnosti. Díky této metodě je možnost úplné eliminace potřeby dutinu leštit. Při elektroerozivním obrábění nemá tvrdost materiálu vliv na výrobě zápustek, což je velmi výhodné. V praxi se většinou elektroerozivní obrábění používá zejména na již nhrubo



Obrázek 18 – Schéma procesu elektroerozivního obrábění [41]

opracovaných zápustkách, aby se docílilo kvalitní dokončovací operace a hladkého povrchu, nebo při obrábění tvrdých slitin. Mimo výroby zápustek se tato technologie uplatní právě například při obrábění karbidu wolframu, titanu a různých slitin již kalených nástrojových ocelí. [8, 19]

Výroba zápustek **litím**, ačkoliv se v praxi příliš nepoužívá, se uplatní při výrobě mnoha zápustek se stejnou geometrií. Využijí se především při zápustkovém kování za tepla či při izotermickém kování, kde jsou zápustka a polotovary udržovány při konstantní teplotě. V tomto případě se zápustky vyrábějí například ze slitin na bázi kobaltu či niklu, jelikož tyto slitiny nelze snadno obrábět, je tedy nejvhodnější je odlít a poté dutinu pomocí elektroerozivního obrábění dokončit. [8]

Opotřebením a poškozováním zápustek je takřka nevyhnutelné. U zápustek může dojít k oděrům vlivem tepelné únavy materiálu či prasklinám vlivem tepelných šoků, které působí na zápustku. Zápustky se dají renovovat několika způsoby, které dále závisí na druhu opotřebením a také na tvrdosti povrchu. Renovace zápustek se vykonávají zejména z finančních důvodů, jelikož výroba nové zápustky je finančně náročnější. [20]

Jedna z metod, která se používá při renovaci zápustek, je metoda „navarování“. Předtím, než se tato metoda použije se musí posoudit svařitelnost materiálu, ze kterého je zápustka vyrobena. Dále je důležitá metalurgická kompatibilita mezi materiálem zápustky a navarovávaným materiálem a zda nezvážit použití předehřevu či chlazení během navarování. Je nutné opotřebené plochy odstranit například za pomoci obrábění. Poté se provede vícevrstvé navarování materiálu, který se následně, za pomoci konvenčního obrábění či elektroerozivního obrábění, odebere na požadovaný rozměr dutiny zápustky. Nakonec je důležité zápustku tepelně zpracovat v závislosti na použité metodě či materiálovém složení. Firma RAMLAB tuto metodu zrobotizovala se snahou docílit vyšší kvality zrenovované zápustky odstraněním možných chyb způsobených člověkem při manuálním navarování, především při práci s nerovnými povrchy dutiny zápustky. Za pomoci technologie 3D skenovací kamery, jenž je zabudována v hlídce manipulátoru, dojde k zaznamenání rozměrů. Ty jsou poté porovnány s požadovanými rozměry dutiny zápustky, které jsou uloženy v modelu. Tím se automaticky vygeneruje dráha hořáku s ohledem na jeho naklonění a kontrolou kolizí. Při procesu, jež je možné vidět na *obrázku 19*, je neustále kontrolována geometrie pomocí 3D kamery a teplota pomocí termokamery. Celý proces se neustále opakuje i pro další vrstvy návaru. [20, 21]



Obrázek 19 - Proces navařování firmy RAMLAB [21]

Při vysokém opotřebení zápustek pro buchary a lisy je finančně výhodné zápustky vložkovat. Vložkováním se opravuje buďto celý tvar dutiny, či jen některé prvky v dutině zápustky. Tím se uspoří materiál pro zhotovení celé zápustky, jelikož se vložka umístí jen do vysoce namáhaných a opotřebovaných míst. Tyto vložky se poté do zápustky nalisují s přesahem buďto za tepla či za studena. [11, 12]

5 Ohřev kovaných materiálů

Ohřev materiálu se používá s cílem snížit deformační odpor a tím snížit energetickou náročnost na tváření, prodloužit životnost zápustek a nástrojů a zvýšit produktivitu výrobního procesu. Ohřevem lze docílit také menší hustoty poruch v krystalické mřížce, což má vliv na zkvalitnění hranic zrn. [2]

5.1 Ohřívací zařízení palivové

Tyto pece se vyznačují využitím spalování různých druhů paliv jako například uhlí, plynů, či topných olejů a nafty, kde za pomoci hořáků tyto spaliny ohřívají požadovaný polotovar.

5.1.1 Komerové pece

Komerové pece (na obrázku 20) patří mezi nejčastěji používané typy ohřívacích pecí z důvodu jejich snadného řízení přívodu tepla. U velkých jednotek se používají rekuperátory, které dále využívají odpadní teplo. Nejčastěji jsou vytápěny plyným, ale v některých případech i kapalným palivem. Záleží, jaké se chce dosáhnout výhřevnosti a také na druhu materiálu, ze kterého je výkovek vyráběn. Předehřevem spalovacího vzduchu lze docílit úspornějšího



Obrázek 20 - Komorové pece [42]

ovlivňuje rychlost ohřevu, tudíž při špatné cirkulaci se bude spotřebovávat více paliva, než je nutné. Cirkulaci může narušit například samotný tvar a velikost ohřívaného polotovaru. V tomto případě se používají podložky, jež zaručí cirkulaci spalin i pod ohřivaným materiálem. [1]

V blízkosti tvářecích strojů může být jedna či více těchto komorových pecí. Záleží na výkonu tvářecího stroje a na požadované výrobě výrobků za určitý čas. Tyto pece se vyrábějí v různých velikostech v závislosti na velikosti ohřívaného polotovaru. [1]

5.1.2 Karuselové pece

Karuselové pece (viz obrázek 21) jsou používány především pro ohřev polotovarů určených k zápusťkovému kování. Tyto pece jsou válcovitého tvaru s pohyblivou nístějí, která koná rotační pohyb. Jsou vytápěny buďto plyným či kapalným palivem. Karuselové pece jsou průchozí s dvěma otvory pro vkládání a vyjímání materiálu. Hořáky pro ohřev jsou umístěny na vnějším plášti pece. Nístěj může být uložena různými způsoby buď na koulích vedených vodicími drážkami či pomocí pevně uložených kladek. Pohyb nístěje vykonává motor pomocí převodovky s cykloidním ozubením. Existují dva způsoby pohonu nístěje karuselové pece: [1, 23]



Obrázek 21 - Karuselová pec [42]

- a) Nístej se pohybuje nepřetržitě – regulováno změnou otáček
- b) Nístej koná přerušovaný pohyb – regulováno dobou klidu nísteje

Oba tyto způsoby mají své určité nevýhody. Například nevýhodný fakt nepřetržitého pohybu nísteje je, že ohřívání materiálu bude mít menší rozsah rychlosti průchodu. U přerušovaného pohybu se častým vypínáním a zapínáním opotřebovávají strojní součásti pece včetně pohonu pohybu nísteje. [1]

Karuselové pece mají pásma pro předehřev, ohřev a vyrovnání. Podle tohoto rozdělení jsou umístěny hořáky a kanály pro odtah spalin, kde hlavní kanály jsou umístěny v předehřívacím pásmu. Výhodou karuselových pecí je rovnoměrné prohřátí materiálu, vysoká životnost pecí a také regulovatelnost tlaku plynu uvnitř pece. Velkou nevýhodou je jejich tvar, který zabírá velký prostor, narozdíl od pecí komorových. [1, 23]

5.1.3 Strkací pece

Strkací pece jsou velmi výhodné průchozí pece pro ohřívání výkovků při zápusťkovém kování ve velkých sériích. Princip strkací pece je využití mechanizovaného strkacího zařízení při pevné nepohyblivé nísteji. Toto strkací zařízení je umístěno vně prostor pece. Materiál se uvnitř pece posouvá nejčastěji pomocí pneumatických válců. Vnitřní prostor strkací pece je rozdělen na předehřívací a ohřívací, kde ve většině případů jsou hořáky umístěny na bočních stěnách. [1]

Výhoda strkacích pecí je v její pravidelnosti ohřevu vícero výkovků najednou. Další výhodou je využívání odpadního tepla k předehřevu materiálu. Nejsou tak náročné na konstrukci jako například pece karuselové a mají oproti pecím karuselovým výrazně nižší pořizovací cenu. Tato metoda ohřevu se z energetického hlediska uplatní spíše jen ve velkých sériích. [1]

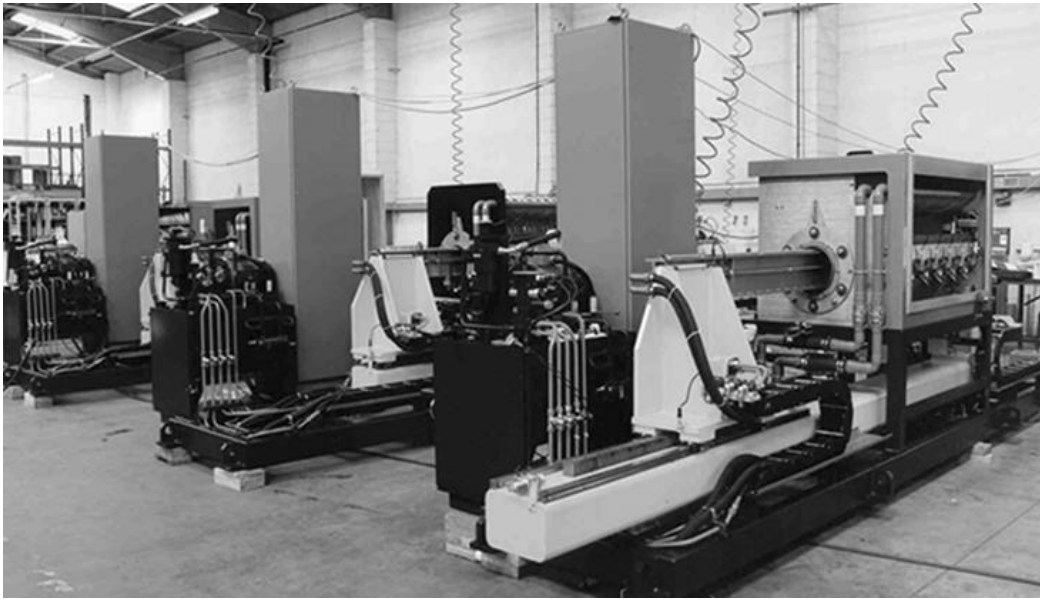
5.2 Ohřívací zařízení elektrické

Elektrické pece se vyznačují ohřevem požadovaného polotovaru za pomoci elektrické energie přivedené ze zdroje buďto v přímém či nepřímém kontaktu s polotovarem.

5.2.1 Indukční pece

Tento typ ohřevu je založen na principu elektromagnetické indukce, kde se ohřívání materiálu umístí do cívky, která je následně připojena na zdroj střídavého elektrického proudu, při zvolené frekvenci. Této cívce používané pro ohřev materiálu se také říká „induktor“.

Indukovaný proud neproniká materiálem rovnoměrně, což vede k úbytku intenzity proudu směrem ke středu materiálu. Se zvyšující se frekvencí je průnik nerovnoměrnější. Tento jev, též známý jako „skinefekt“, se vyskytuje vždy při proudění střídavého napětí. Je tedy jednoznačně obtížnější rovnoměrně ohřát polotovary obdélníkového průřezu nežli polotovary průřezu kruhového. Existují další dva parametry, které toto ohřívání materiálu ovlivňují, a to permeabilita materiálu při určité teplotě a elektrická vodivost materiálu. Hloubka prohřátí materiálu je důležitá při volbě minimálního a maximálního průměru materiálu, aby se zajistilo hospodárné ohřátí. [1, 24, 25]



Obrázek 22 - Indukční pece pro ohřev dlouhých polotovarů [25]

Plynová pec ve srovnání s indukční pecí vyžaduje velmi dlouhý topný cyklus k dosažení požadované rovnoměrnosti teploty. Ohřev dlouhých polotovarů může být velkou výzvou kvůli omezenému prostoru pro ohřev. Dále může mít plynové spalování za následek špatnou kvalitu povrchu polotovarů v důsledku nadměrné tvorby okují, oduhličení, oxidace a podobně. Další věci jsou ergonomické a ekologické omezení plynových ohřevů. Z těchto důvodů je dnes tato technologie ohřevu hojně využívána pro ohřev tyčí, předvalků či prutů, jak pro železné, tak i pro neželezné kovy. Výhodou indukčních pecí je i jeho poměrně jednoduchá automatizace ohřevu se spojením tvářecích strojů do komplexních výrobních linek. Předností je i jeho teplotní stálost, spolehlivost a nenáročnost jak na obsluhu, tak údržbu. Jednou z nevýhod jsou vysoké vstupní investice na nákup všech zařízení (záleží na stupni automatizace). Ohřev není vhodný pro určité typy tvarů polotovarů například pro již zmíněný obdélníkový tvar, kde dochází k většímu prohřátí hran oproti zbytku průřezu. [1, 25]

5.2.2 Odporové pece s přímým ohřevem

Přímý odporový ohřev vytváří teplo za pomoci procházejícího proudu přímo v ohřívaném polotovaru v souvislosti s ohmickým odporem. Při tomto ohřevu je zaručena stejnoměrná teplota v celém průřezu a délce, které je dosaženo velmi rychle. Je ale nutno dodržet podmínku stejného průřezu v celé délce ohřívaného polotovaru. V opačném případě by mohlo dojít k přehřátí určitých míst na polotovaru. Důležité je dodržovat co nejkratší doby ohřevu, jelikož se tím nejlépe využije výkon ohřívacího zařízení a vznikají menší ztráty tepla, které se odvádí sáláním do okolí. Polotovar by měl mít vysoký elektrický odpor ve vztahu k napájecímu zdroji pro dosažení požadovaných teplot. Elektrický odpor polotovaru se vypočítá ze vzorce: [26]

$$R = \rho \cdot \frac{l}{S}$$

Kde: R – odpor ohřívaného polotovaru [Ω]

ρ – měrný odpor materiálu [$\Omega\text{mm}^2/\text{m}$]

S – průřez polotovaru [mm^2]

l – délka polotovaru [m]

Technologie přímého odporového ohřevu se nejlépe uplatní pro kování ve speciálních pechovacích strojích, které vyrábí především ventily spalovacích motorů či hřídele náprav automobilů. Kromě toho lze přímý odporový ohřev použít pro ohřev polotovaru přímo uvnitř zápustky, kde se zdroj připojuje na horní a dolní zápustku. Následně proud prochází nejmenším průřezem, což je v tomto případě průřez polotovaru. Dnes se používá přímý odporový ohřev také pro ohřev plechů k výrobě částí karoserií v automobilovém průmyslu z důvodu úspory emisí, energií a také času ohřevu na teplotu potřebnou pro tváření. [1, 26, 27]

Výhodou technologie je její automatizace a nenáročnost na zručnost a odbornost obsluhy. Celé zařízení je úsporné, co se týče pracovního prostoru a lze ho dát během chvíle do provozu bez značných příprav. Jeho velkou nevýhodou je však nevhodnost ohřevu polotovarů s nekonstantními průřezy. [26]

5.2.3 Odporové pece s nepřímým ohřevem

Materiál při této metodě přijímá teplo svým povrchem za pomoci topných článků. Použití odporových pecí s nepřímým ohřevem se v kování uplatní jen velmi málo, jelikož při něm dochází k poměrně velké tvorbě okují. Pece jsou také při požadovaném výkonu až moc velké, přičemž dochází k malé tepelné zatížitelnosti materiálu, který je zde ohříván. Jinými slovy by toto použití bylo neekonomické. Při kování za tepla je také nutno vyvinout vysokou teplotu, což by mohlo znamenat větší poruchovost topných článků pece. V případě menšího množství ohřívaného materiálu se používají elektrodové pece se solnou lázní. Odporové pece s nepřímým ohřevem se používají většinou při ohřevu neželezných kovů a zřídka při ohřevu ocelí. Mezi výhody se počítá rovnoměrné prohřátí pracovního prostoru, snadnější regulace teploty ve srovnání s indukčním ohřevem a poměrně vysoká rychlost ohřátí materiálu. [1, 26]

5.3 Paliva vhodná pro ohřev

Slovo „palivo“ lze definovat, jako látku, která při spalování se vzduchem poskytuje energii ve formě tepla a světla takovým způsobem, aby mohla být účinně využita. Palivo má tři důležité parametry, jež se musí při výběru vyhodnocovat, a to využití, účinnost a hospodárnost. První parametr odkazuje na energii uvolněnou spalováním, která musí být dostatečně využitelná pro ohřev výkovků. Pokud bude mít palivo malé množství hořlavého obsahu, bude mít i malou výhřevnost. Druhým parametrem se rozumí účinnost tepelné energie pro určité použití. Palivo, jež by mělo proces spalování příliš rychlý či pomalý, by bylo pro použití nevhodné, jelikož by mohlo dojít v prvním případě k dlouhým časům ohřevu a v druhém případě k propálení kovaného materiálu. Třetí parametr značí, jak je palivo ekonomicky výhodné v poměru s množstvím získané tepelné energie. [28]

Volba paliva je zásadní při rozhodování se v návrhu či koupi pece zejména proto, že palivo je jedním z největších nákladů na provoz pece. Volba paliva má také zásadní vliv na výkon pece, investiční náklady na celé zařízení a tvorbu emisí z procesu spalování. Je nutné si uvědomit, že palivo používané pro ohřev materiálu „X“, nemusí být vhodné pro ohřev materiálu „Y“. Cenu paliva bude ovlivňovat jeho dostupnost na trhu, obtížnost jeho těžby či výroby, obtížnost jeho dopravy a v neposlední řadě jeho výhřevnost. Vzhledem k tomu, že pece mají obvyklou konstrukční životnost 20 let a často se používají i déle, je třeba zvolit palivo, které bude co nejhospodárnější po celou dobu používání pece. [22]

Paliva mohou být tuhá, kapalná či plynná a mohou se vyskytovat přirozeně, nebo mohou být vyráběny či pěstovány (případ biopaliv). Přirozeně se vyskytující paliva (uhlí, zemní plyn, ropa) je ale nutno vždy určitým způsobem zpracovat, aby mohla být použita v pecích k ohřevu materiálů. Dále se mohou paliva dělit na obnovitelná (dřevo, rostlinné oleje, vodík obsažený ve vodě) a neobnovitelná (uhlí, antracit, ropa, zemní plyn). Obecně se dnes pro ohřev na kovací teploty používají paliva na bázi uhlovodíků, což jsou například ethanol, methanol a řada paliv získaných z biomasy. [22, 28]

6 Kovací stroje

Kovací stroje jsou stroje, pomocí kterých dochází ke tváření polotovarů. Tyto stroje mají vliv na proces kování, jelikož ovlivňují rychlost výroby, přesnost výkovků a teplotní podmínky kovaných materiálů. Kovací stroje lze klasifikovat na základě jejich principu činnosti. Buchary a další kovací stroje vyvíjející velkou energii deformují polotovar kinetickou energií kovádla. Schopnost mechanických lisů deformovat polotovar je dána délkou zdvihu lisu a dostupnou silou, kterou může lis vyvinout. Mechanické lisy jsou proto klasifikovány jako lisy s omezeným zdvihem, zato však lisy hydraulické jsou klasifikovány jako lisy s omezenou silou, protože velikost deformace polotovaru závisí na maximální síle lisu. Třecí šroubové lisy jsou řazeny mezi stroje s omezenou energií, jelikož jejich schopnost vykovat díl je dána energií dostupnou v setrvačnicku lisu. Pro dosažení co největší efektivity kováren se využívá kombinace různých tvářecích strojů. Je tedy důležité docílit na jakémkoliv stroji kvalitních výrobků. [8, 29]

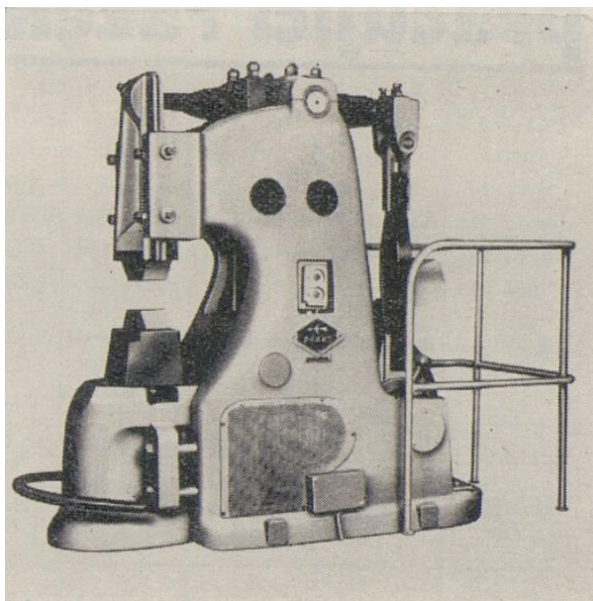
6.1 Buchary

Buchary jsou levné a nejuniverzálnější kovací stroje používané při tvářecím procesu. Buchary se vyznačují vícenásobnými po sobě jdoucími rázy mezi kovádlem a šabotou případně kovádky. Buchary se používají především pro kování za tepla, pro ražení a v menší míře i při tváření plechů v malém množství. Jsou schopny vyvinout velké síly při krátké době kontaktu s kovádlem, což snižuje přenos tepla z ohřátého materiálu do chladnějšího kovádla. [29]

Buchary bývají rozděleny do dvou skupin – pro volné kování a pro zápusťkové kování. V případě volného kování mají většinou buchary plochá kovádla a volný prostor okolo bucharu pro manipulaci kovaného materiálu. U zápusťkových bucharů musí být pohyb dobře vodorovně veden, aby nedošlo k přesazení výkovků. [29]

6.1.1 Pružinové buchary

Tento typ bucharů je určen pro volné kování a jednoduché zápustkové kování, kde je materiál kován mezi šabotou a kovadlem. Řadí se mezi konstrukčně nejjednodušší stroje pro tváření materiálu. Pružinové buchary jsou poháněny elektromotorem přes třecí převod na setrvačnick a od klikového mechanismu na kovadlo pomocí ramene (viz *obrázek 23*). Pro dosažení větší rychlosti kovadla a tím rázové energie se mezi klikový mechanismus a beran umístí pružný



Obrázek 23 - Pružinový buchar [44]

mezičlen například listová pružina uložená na výkyvném čepu či gumové špalíky. Pokud klika klesá do dolní polohy, rychlost kovadla klesá taktéž, než dosáhne nuly. Když se kovadlo pohybuje nahoru, dochází k prohnutí pružiny, které je úměrné rozdílu zrychlení v důsledku setrvačnosti a gravitačnímu zrychlení. Z toho důvodu se kovadlo pohybuje směrem dolů skoro dvojnásobnou rychlostí. Tento typ bucharu si najde uplatnění při kování běžných malých či středně velkých výkovků. [1, 29]

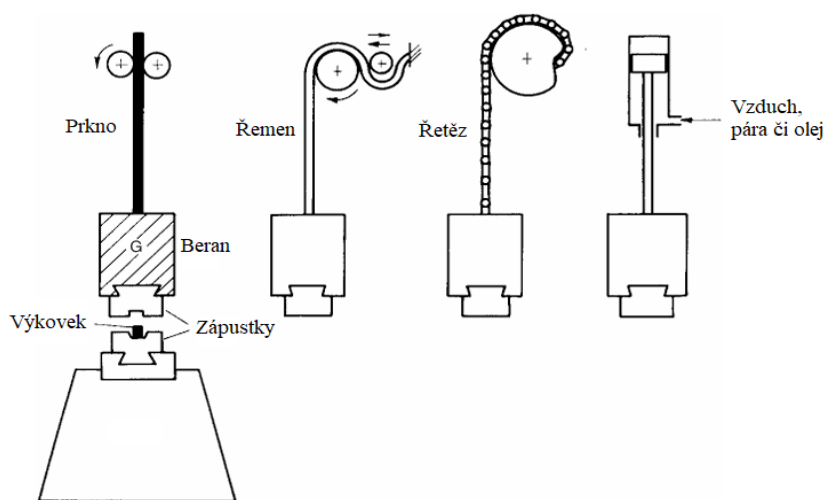
6.1.2 Pneumatické buchary

Pneumatické buchary, jinak přezdívané jako kompresorové buchary, se používají především pro volné kování malých a středně velkých výkovků. Fungují na principu stlačování vzduchu v pneumatickém válci uvnitř stojanu bucharu. Vzduch zde stlačuje píst, který se pohybuje pomocí klikového ústrojí. Klikové ústrojí je poháněno elektromotorem. Rozvod vzduchu obstarávají dvě šoupátka, která se otvírají a zavírají v závislosti na sešlápnutí nožní páky. Existují také hydropneumatické buchary, jejichž energii potřebnou k tváření dodává expanze plynu pod vysokým stlačením. Pneumatické buchary se také oproti bucharům pružinovým vyznačují vyšším počtem úderů za minutu. [1, 29, 30]

6.1.3 Padací buchary

Padací buchary se využívají zejména při zápustkovém kování a jsou konstrukčně poměrně jednoduché. Dodnes je možné vidět padací buchary při výrobě menších výkovků v malé sérii. Hmotnost beranu se pohybuje od 250 do 2000 kg. Beran se zvedá do výšky hydraulicky či za

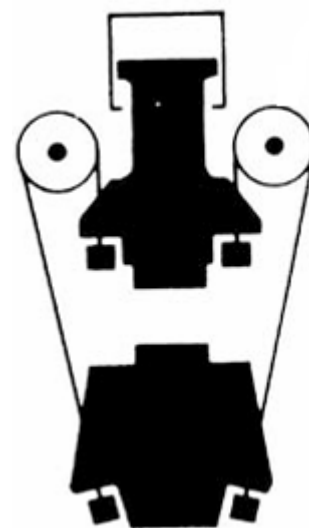
pomocí řemenu, řetězu nebo prkna, což lze vidět na *obrázku 24*. Z výchozí polohy se beran pustí a pádem vlastní hmotností na šabotu koná deformaci materiálu. U prknových padacích bucharů je kovadlo zvedáno dřevěnou deskou, která je sevřena mezi dvěma kladkami poháněnými řemeny od elektromotorů. Kladky jsou přes pákový mechanismus tlačeny do desky. V horní poloze je beran držen brzdou, která se po spuštění pedálu odbrzdí. Padací buchary, jejichž beran je zvedán řemenem, mají řemenici poháněnou elektromotorem, kde se řemen navíc přitlačuje kladkou. V horní poloze se po uvolnění kladky dá beran do pohybu. [1, 29]



Obrázek 24 - Mechanismy zdvihu padacího bucharu (přeloženo) [8]

6.1.4 Protiběžné buchary

Protiběžné buchary se v praxi uplatňují při zápusťkovém kování. U tohoto typu bucharu se místo šaboty používá spodní beran. Ten se pohybuje vzájemně s horním beranem proti sobě. U ostatních typů bucharů docházelo k vysokému zatěžování šaboty, což u protiběžných bucharů odpadá. Také při použití protiběžných bucharů nedochází k velkým rázům přenášeným do základů, na kterých je buchar umístěn. Horní beran je zrychlován směrem dolů za pomoci páry, studeného či horkého vzduchu. Současně se spodní beran zrychluje směrem nahoru pomocí ocelového pásu (viz *obrázek 25*) či hydraulické spojky. Spodní beran bývá o 10 % těžší než beran horní včetně zápustky. Proto se po úderu zrychluje dolní beran směrem dolů a táhne horní beran zpět nahoru do výchozí polohy.



Obrázek 25 - Princip protiběžného bucharu s ocelovými pásy [8]

Díky protiúderu beranů se ztrácí relativně málo energie přes vibrace do základů a okolí.

V důsledku tohoto jevu se u protiběžných bucharů o stejném výkonu jako například bucharů pneumatických vyžaduje menší základna. [8, 31]

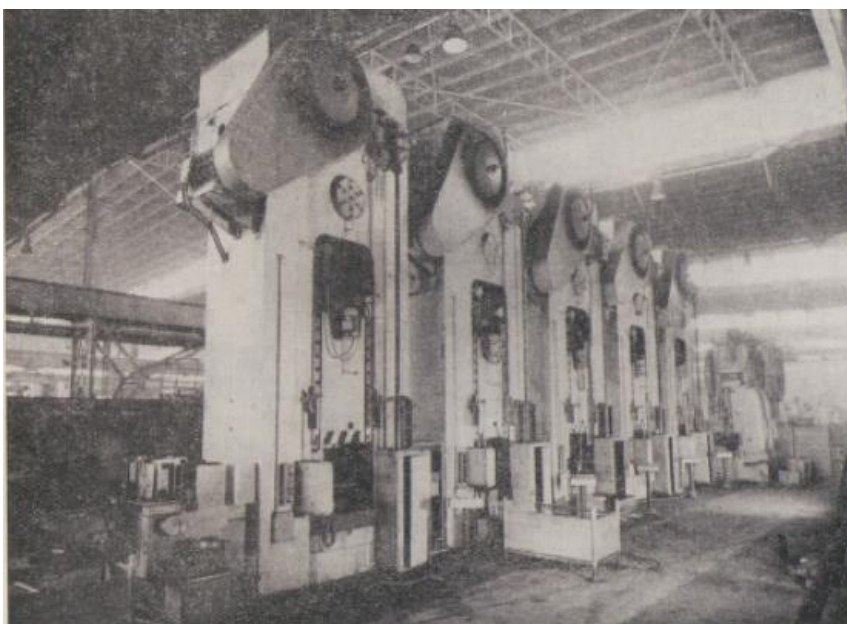
U velkých protiběžných bucharů je používáno pohonu horního a dolního beranu, které spolu nejsou nijak spojeny. Buchar se tedy skládá ze dvou dvojčinných bucharů. Bohužel je o to náročnější tyto dva buchary seřídít, aby byla rychlost obou beranů stejná. [1]

6.2 Mechanické lisy

Veškeré mechanické lisy používají setrvačnick k akumulaci energie, která je dále přenášena na výkovek pomocí převodových systémů jako například ozubených kol, klik, excentrů či pák. Jsou poháněny elektromotorem a ovládány pomocí spojek nebo brzd. Horní beran se s kovadlem pohybuje, zatímco spodní beran je stacionární. Zdvih beranu je výrazně kratší než u bucharů či hydraulických lisů. Rychlost beranu je největší ve středu zdvihu, přičemž síla je nejvyšší v dolní části zdvihu. Mechanické lisy se používají nejčastěji při zápusťkovém kování. [8]

6.2.1 Svislé klikové kovací lisy

Svislé kovací lisy (viz *obrázek 26*) jsou stroje s vysokou tuhostí stojanu a pohonu. Využívá se jich při zápusťkovém kování menších výkovek, kde je nutné dosáhnout přesných rozměrů. Příkladem využití v praxi může být uplatnění v automobilovém či leteckém průmyslu. Pohon se skládá z klikového hřídele s nakovaným výstředníkem, který zvyšuje tuhost stroje při



Obrázek 26 - Svislé kovací lisy [44]

tváření. Na klikovém hřídeli je umístěna lamelová spojka a brzda. Beran je spojen klikovým hřídelem s ojnicí, jež zajišťuje pohyb beranu. Při přetížení lisu dojde k prokluzu spojky a zastavení lisu ve spodní úvrati. Lisy bývají také opatřeny dolním i horním vyhazovačem, tudíž je

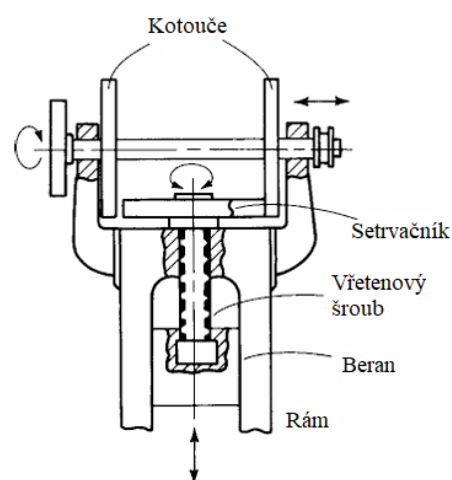
výhodné na tomto lisu kovat výkovky s bočním úkosem kolem 2° . Dolní vyhazovač bývá uveden v činnost pákovým pohonem vačky, kdežto horní vyhazovač za pomoci narážkových šroubů. U kovacích lisů obecně je velmi důležité přesné seřízení zápustek. Zápustky se většinou seřizují pomocí klínů či výstředních čepů. [1, 29]

6.2.2 Vodorovné klikové kovací lisy

Vodorovné kovací lisy konají vodorovný pohyb kovacího beranu od klikového mechanismu. Vyskytuje se tu ještě takzvaný „svírací beran“, který se pohybuje kolmo na stroj a buďto uzavírá či otevírá vždy část lisovnice se zápustkami. Ve své podstatě to jsou klikové kovací lisy uloženy horizontálně s pohonem stejným jako u kovacích lisů svislých. Nejvíce se používají při kování tyčí kruhového průřezu. [29]

6.2.3 Vřetenové lisy

V principu jednoduché stroje s třecím převodem síly od šroubového vřetená na beran. Funkce vřetenového lisu spočívá v elektromotoru pohánějícím řemenem dva kotouče, které jsou umístěny na hřídeli. Ten se pohybuje a přesouvá pomocí pákového mechanismu a tím přitlačuje vždy jeden z kotoučů na setrvačnick. Tím se setrvačnick roztáčí na jednu či druhou stranu a zašroubováním vřetená pohybuje s beranem nahoru či dolů. Celý princip je znázorněn na *obrázku 27*. Lis se vyznačuje značným rázovým zatížením, které je nutno zachycovat pružným rámem.



Obrázek 27 - Princip vřetenového lisu (přeloženo) [8]

Výhodou oproti klikovým kovacím lisům je fakt, že dráha vřetenových lisů není nijak kinematicky omezena, což otevírá možnost kovat výkovek několika opakujícími se údery. Dalo by se tedy říci, že vřetenové lisy částečně spadají do kategorie bucharů. Existují varianty s dvěma či třemi kotouči. [29, 30]

6.3 Hydraulické lisy

Hydraulické lisy se používají jak pro volné, tak pro zápustkové kování. Beran hydraulického lisu je poháněn hydraulickými válci a písty, které jsou součástí vysokotlakého hydraulického nebo hydropneumatického systému. Po rychlé nájezdové rychlosti se beran pohybuje pomalu, přičemž působí lisovací silou na materiál. Lisovací rychlosti lze přesně regulovat, tím je možné

řídít tok kovu. To je obzvlášť výhodné v případě výroby přesného výkovku s malou rozměrovou tolerancí. Některé lisy jsou také vybaveny hydraulickým řídicím obvodem navrženým přímo pro přesné kování za tepla. Tento obvod umožňuje dosáhnout rychlého posuvu, po kterém následuje předlisování s první a druhou lisovací rychlostí. Během druhé rychlosti lze využít maximální sílu lisu bez omezení. Stejný obvod zároveň dokáže aktivovat vyhazovače ve zvolených intervalech během pracovního cyklu. Při volném i zápusťkovém kování se dnes hydraulické lisy řídí programovatelnými systémy, což zaručuje menší časové ztráty a nepřesnosti výkovku. Lze programovat velkou škálu parametrů od velikosti zdvihu lisu po úhel natočení kovaného materiálu. Je však možné použít i ruční ovládání místo řídicího systému. [8, 30]

Protože je maximální zatížení k dispozici po celou dobu zdvihu, je možné využít velké energie pro deformování. To je důvod, proč jsou hydraulické lisy ideální pro zápusťkové kování a jiné operace, kde se materiál vytlačuje. Hydraulické lisy mají také bezpečnostní ventily, které při překročení tlaku z nastavené síly zajistí, aby nebyly poškozeny prvky lisu a používané nástroje. Výhodná je také regulace rychlosti beranu, která se dá přizpůsobit s ohledem na tvářecí tlak a teplotu kovaného materiálu. To zajišťuje značnou výhodu při optimalizaci kovacíh procesů a také prodlužuje životnost zápusťek či kovadel. [8]

Nevýhodou hydraulických lisů jsou jejich počáteční náklady. Ty mohou být vyšší než ekvivalent mechanického lisu, zejména v nižších hmotnostních kategoriích. Činnost hydraulických lisů je obecně pomalejší oproti mechanickým lisům. Pomalejší činnost prodlužuje dobu kontaktu mezi zápusťkou a kovaným materiálem, což může být při vysokých kovacíh teplotách problém, zejména při kování ocelí, slitin na bázi hliníku či titanu. Na chladnou zápusťku je tak přenášeno teplo, které znemožňuje plynulý tok kovu uvnitř zápusťky. Životnost zápusťky se vlivem teplotních rázů samozřejmě zkracuje. [8]

7 Materiály využívané v automobilovém průmyslu

Materiály používané v automobilovém průmyslu musí splňovat určitá kritéria, aby bylo možné je použít při výrobě komponentů. Některá kritéria vyplývají z právních a legislativních předpisů, environmentálních a bezpečnostních nároků a v neposlední řadě z požadavků zákazníka. Při volbě materiálu pro následné zpracování je nutné vyhovět všem těmto kritériím. [32]

Hmotnost materiálu je důležitá zejména dnes, kdy se klade velký důraz na snižování emisí a zvyšování účinnosti paliv v oblasti autodopravy. Výrobci automobilů investují do lehkých materiálů s cílem proniknout na trh. Jedinou překážkou při volbě lehkých materiálů je jejich vysoká cena, tudíž výrobci dávají přednost činnostem zaměřeným na snižování ceny pomocí vývoje nových tvářecích technologií a výrobních procesů. Aby výrobci dosáhli lehké konstrukce a lehkých komponentů, aniž by snižovali jejich tuhost, začali nahrazovat ocel slitinami hliníku, hořčíku, titanu či kompozitními materiály. [32]

V automobilovém průmyslu je **cena** nejdůležitějším faktorem ovlivňujícím zákazníka. Vzhledem k tomu, že se náklady na nový materiál vždy porovnávají s náklady na materiál, který je v současnosti používán, je nutné, aby se zjistilo, zda je nový materiál vhodný pro výrobu komponentů. Náklady zahrnují tři složky, a to cenu nezpracovaného materiálu, přidanou hodnotu při výrobě a náklady na návrh a testování. Příkladem může být porovnání kování oceli a slitiny hliníku. Hliníkové výkovky jsou potenciálně levnější, což vychází z kratšího výrobního cyklu, nižších kovacíh teplot, menších nároků na nástroje a tak dále. V tomto případě je nutno rozhodnutí volby lehčího materiálu odůvodnit například lepší funkcí. [32]

7.1 Uhlíkové a legované oceli

Uhlíkové a legované oceli jsou zatím nejčastěji kované materiály, přičemž mohou být kovány do nejrůznějších tvarů za tepla i za studena. Parametry jako tloušťka průřezu, tvarová složitost a velikost výkovků jsou omezeny především chlazením, ke kterému dochází při styku se studeným kovádem či zápustkou. Proto jsou při kování těchto ocelí výhodné buchary, jelikož disponují krátkým časem kontaktu výkovku a kovádra. Antikorozní, žáruvzdorné a žárupevné oceli mají během kování vysoký deformační odpor. To je zapříčiněno legujícími prvky v oceli, které zároveň snižují i tepelnou vodivost. Nejhůře tvárné jsou austenitické oceli, jelikož je rekrytalizační rychlost tak malá, že nedojde během kování k odstranění zpevnění. Austenitické oceli velkých průřezů se vyplatí kovat na lisech, kde může ocel snadněji rekrytalizovat. [1, 8]

Obecně se kování za tepla u ocelí provádí při teplotě 900 až 1250 °C. U kování za studena se ocel ohřívá na 540 až 670 °C, resp. pod teplotu rekrytalizace. Volba teploty závisí na rovnováze mezi dostatečnou tažností pro požadovaný tvar a rozměrovou tolerancí požadovanou u výkovku. Tvařitelnost roste se zvyšující se teplotou, zatímco rozměrová tolerance klesá. [8]

V posledních letech jsou v automobilovém průmyslu nejvíce používány vysokopevnostní oceli (HSS) a vysokopevnostní nízkolegované oceli (HSLA). Díky jejich vysoké pevnosti je možné zredukovat počet dílů na automobilu a zmenšení tlouštěk a průřezů dílů s cílem zmenšit celkové náklady. Tyto oceli jsou používány zejména při výrobě částí karosérií a podvozků z důvodu schopnosti absorbovat co největší množství energie při nárazu. [32]

7.2 Hliník a jeho slitiny

Hliníkové slitiny lze kovat do různých tvarů v závislosti na zamýšleném použití, přičemž je kujnost hliníkových slitin závislá na obsahu legujících prvků jako je měď, nikl, chrom, hořčík a tak dále. Důvodem používání hliníkových slitin jsou jejich výhodné vlastnosti jako nízká hmotnost, vysoká pevnost a odolnost proti korozi. Kujnost je závislá také na obsahu plynů, které ve výrobcích mohou podporovat tvorbu dutin či pórů. Množství těchto plynů jako je dusík, kyslík či vodík závisí na atmosféře pece, ve které se ohřev zhotovuje a také při tavení a lití polotovarů. Nepříznivý vliv má například i oxid hlinitý, který vzniká při působení kyslíku a roztaveného hliníku. Pro úplnou eliminaci těchto škodlivých plynů se pro ohřev hliníkových slitin používají elektrické pece s nuceným oběhem vzduchu. Při kování slitin hliníků často dochází k dalším defektům jak na povrchu, tak uvnitř materiálů, jež se projevují vlivem rychlého odvodu tepla z materiálu do zápustek, který se řeší předehřevem zápustek na vhodnou teplotu, vysoké citlivosti na deformační rychlosti materiálu, velkého odporu proti proudění materiálu a úzkého pásma teplot, při nichž je vhodné slitiny hliníku kovat. [1, 33]

Teploty ohřevu hliníkových slitin se většinou pohybují v pásmu 300 až 500 °C. Každý typ slitiny bude mít dolní hranici kovací teploty zvýšenou o přídavek legujících prvků. U některých hliníkových slitin se doporučuje použít předehřev, aby se docílilo výkovek bez jakýchkoliv vnitřních necelistvostí. Teplotu materiálu může ovlivnit i rychlost deformace. Většina hliníkových slitin je na deformační ohřev při kování náchylná zejména při použití strojů jako jsou buchary či vřetenové lisy. Předehřátí zápustek je v tomto případě výhodné z důvodu zmenšení teplotních skoků výkovek. Z těchto faktů vyplývá, že je výhodnější použít stroje jako jsou hydraulické lisy [8]

V automobilovém průmyslu je hliník velmi důležitým materiálem, který se dnes zejména využívá za účelem snížit hmotnost a tím zároveň snížit spotřebu paliva. V dnešní době se pro kování slitin hliníku uplatňuje operace zápustkového kování. Z hliníkových slitin jsou kovány díly jako písky, klece diferenciálů, podvozkové díly (viz *obrázek 28*) jako jsou ramena či řídicí

čepy, části převodovek a jejich skříně, disky a mnoho dalších. Pro dosažení co největší přesnosti těchto výkovků je důležité, aby výchozí polotovary splňoval rozměry předem vypočítaného objemového ekvivalentu. Tvarově komplexní díly je nevhodné vyrábět bez předkovacích operací. Předkovací operace zajistí správné vyplnění dutiny při zápusťkovém kování. Při jejich začlenění nedochází k přesazení výkovků a zároveň se zmenšuje deformační odpor, tudíž se i prodlužuje životnost zápusťek. [33]



Obrázek 28 - Podvozkové díly z kovaných slitin hliníku [45]

7.3 Hořčík a jeho slitiny

Kované hořčíkové slitiny jsou díky své vysoké pevnosti a nízké hmotnosti nezbytné v dnešním automobilovém průmyslu. Výrobky ze slitin hořčíku jsou obecně o 33 % lehčí než slitiny hliníku a až o 75 % lehčí než oceli. Hmotnost výkovků se pohybuje od 50 gramů do 50 kilogramů. Hořčíkové slitiny jsou obtížně tvařitelné kvůli struktuře jejich atomové mřížky, proto je doporučováno alespoň desetinásobné prokování polotovarů, aby nedocházelo k nerovnoměrnostem mechanických vlastností ve výkovku. Vhodnější je při kování použít hydraulický lis oproti bucharu, jelikož při kování bucharem má slitina až dvakrát větší odpor proti deformaci. Nejčastěji zastoupené legury v slitinách jsou hliník a zinek, které zvyšují pevnost. Dále jsou používány legující prvky jako zirkon, thorium či cer, jež zlepšují mechanické vlastnosti při vyšších teplotách od 260 do 370 °C. [1, 8, 32]

Polotovary slitin hořčíku jsou nejčastěji ohřívány v elektrických odporových pecích s nuceným oběhem vzduchu, ale mohou být využity i jiné typy palivových pecí. Kovací teplota slitiny hořčíku se pohybuje od 300 do 480 °C, přičemž je nutné dodržet spodní hranici kovací teploty. Pokud by nedošlo k dostatečnému ohřátí materiálu, vzniknou během kování praskliny uvnitř materiálu či jiné defekty, zejména při vysoké rychlosti deformace. Při ohřevu se v peci musí

dodržet mezera mezi výkovky, aby byla zajištěna cirkulace vzduchu. Během kování jsou zápustky ohřívány na teplotu blízkou teplotě ohřevu kované slitiny. Ohřev zápustek zabraňuje tvorbě prasklin ve výkovku, jenž by mohla nastat při ochlazení výkovku vlivem studené zápustky. [1, 8]

Aplikace slitin hořčíku v automobilové průmyslu umožňuje značné snížení hmotnosti a tím i snížení spotřeby paliva, což je výhodné z ekonomického i ekologického hlediska. Postupně se technologie odlévání dílů z hořčíkových slitin nahrazuje kovááním. Tím se zaručí lepší mechanické a funkční vlastnosti dílu. Automobilové díly jako víka hlavy válců, disky na *obrázku 29*, náboje kol, ojnice či skříně převodovek jsou již dnes vyráběny ze slitin hořčíku. Průmyslové aplikace slitin hořčíku jsou ale omezené z důvodu ceny materiálu i výroby, tudíž jsou zastoupeny spíše pro sportovní a vojenské účely. Nevýhodou slitin hořčíku je jejich nevhodnost využití v místech s vysokou teplotou, jelikož teplota tání hořčíku je 650 °C. Pokud by došlo při opotřebení dílu k tvorbě hořčíkového prachu či drobných částí, je zde riziko vznícení či výbuchu při dosažení teploty tání. Tento fakt platí i při svařování dílů ze slitin hořčíku, kde nesmí dojít k přímému kontaktu s kyslíkem. Díly ze slitin hořčíku mají horší únavovou odolnost a odolnost proti galvanické korozi v porovnání s hliníkem. [32, 34, 35]



Obrázek 29 - Disk ze slitiny hořčíku zhotoven kovááním [46]

7.4 Titan a jeho slitiny

Přestože má titan a jeho slitiny mimořádně vysokou odolnost proti korozi, vykazuje další výhodné vlastnosti jako je vysoká lomová houževnatost, vysoká žárupevnost a vysoký poměr pevnosti ku hmotnosti. Titanové slitiny jsou až o 45 % lehčí nežli nízkouhlíkové oceli a skoro dvakrát pevnější než měkké slitiny hliníku. Slitiny titanu patří mezi nejobtížněji kujné slitiny kovů společně s žáruvzdornými kovy a superslitinami na bázi niklu a kobaltu. Proto se výkovky titanu zhotovují především zápustkovým kovááním. Kovací proces má velmi významný vliv na konečnou mikrostrukturu titanu, a proto jsou výsledné mechanické vlastnosti výkovku nejvíce závislé na zvolené metodě kování. V kombinaci s tepelným zpracováním lze vytvořit jedinečnou mikrostrukturu k dosažení požadovaných mechanických vlastností. Pro zaručení

rovnoměrné struktury se používají při kování spíše lisy než buchary, jelikož jsou slitiny titanu velmi citlivé na rychlost deformace, a to podstatně citlivější než slitiny hliníku či legované oceli. [8, 36]

Plynové a elektrické pece jsou nejvyužívanější při ohřevu slitin titanu. Tepelná vodivost slitin titanu je velmi malá, tudíž musí ohřev postupovat pomalu a rovnoměrně. Rychlost ohřevu je možno zvýšit poté, co je dosaženo dolní hranice kovací teploty. Kovací teploty jsou velmi odlišné u každého druhu slitiny. Obecně se kovací teploty pohybují mezi 700 a 1050 °C. Deformační charakter je v závislosti na teplotě velmi citlivý, tudíž se může tvařitelnost dramaticky změnit i při malých teplotních změnách. Pro zajištění co nejpřesnějších teplot je nutná spolehlivá regulace teploty kolem ± 14 °C na ohřívacím zařízení a předehřev zápusťek, při kterých dosahují teploty okolo 315 °C. [1, 8]

Dnes jsou slitiny titanu využívány především v kosmickém průmyslu, přičemž díky své nízké hmotnosti začínají nacházet uplatnění i v automobilovém průmyslu, zejména při konstrukci motocyklů či závodních vozidel. Nahrazení ocelových dílů titanovými zajišťuje snížení spotřeby paliva a emisí, zvýšení výkonu a kvalitu jízdy. Slitiny titanu se používají při výrobě motorových dílů jako jsou ojnice (viz *obrázek 30*), ventily a ventilové pružiny. Zejména u ojníc z titanových slitin je možné zlepšit odezvu motoru a zvýšit jeho otáčky. Díky své vysoké odolnosti vůči korozi jsou také používány při výrobě výfukových systémů. U komerčních motocyklů se začínají vyrábět palivové nádrže ze slitin titanu, což zvyšuje stabilizaci a manévrovatelnost. Příkladem je nádrž motocyklu Honda na *obrázku 31*. Bohužel velkou nevýhodou slitin titanu jsou vysoké vstupní náklady na polotovary a výrobu, které je nutné brát v potaz při nahrazování jiných materiálů. [37, 38]



Obrázek 30 – Ojnice motocyklu YAMAHA YZF-R1 ze slitiny titanu [37]



Obrázek 31 - Palivová nádrž motocyklu HONDA CRF450R [37]

8 Závěr

V práci byla shrnuta charakteristika kování a jak se struktura materiálu během kování mění. Nejdůležitější parametry pro dosažení úspěšného procesu jsou kovací teplota, vhodně zvolený nástroj a stroj, rychlost, při které se materiál deformuje, a volba kovací operace. V této části je také popsán důležitý parametr, a to *stupeň prokování*. Tento parametr je nutno respektovat pro dosažení požadovaných mechanických vlastností.

Kování se rozděluje na volné a zápusťkové. V práci je popsáno několik nejčastěji užívaných operací, které jsou používány při volném kování. Zápusťkové kování, jakožto nejvyužívanější operace v dnešní době, je svojí vysokou výkonností oproti volnému kování velice výhodná. Lze ji zakomponovat ve velkosériových výrobcích s vysokými nároky na přesnost výkovků. Při kování složitějších tvarů se do výroby začleňují předkovací operace, aby bylo zajištěno vyplnění celé dutiny zápusťky. Zápusťky jsou konstrukčně i výrobně náročné, jelikož je nutno použít nástrojových ocelí, které musí být posléze obrobny do požadovaného tvaru dutiny. Zpravidla se dnes při konstrukci zápusťek uplatňuje metoda konečných prvků, která napomáhá při řešení toku materiálu uvnitř dutiny. Nutné je mazání zápusťek, jež snižuje tření a tím dokáže výrazně zvýšit jejich životnost. Zajišťuje také snadnější vyjmutí výkovku ze zápusťky a podporuje tok materiálu. Při opotřebení zápusťek je finančně nejvýhodnější jejich renovace.

Materiál je před kováním nutno ohřát. Ohřevem materiálu se sníží jeho deformační odpor a zvýší se produktivita celého kovacího procesu. K ohřevu slouží pece, které se obecně dělí na palivové a elektrické. Důležité je zvážit, na jak vysokou teplotu je nutno materiál ohřát, jelikož ohřev materiálu je finančně náročný proces. Vstupní pořizovací náklady na pece a opakované dodávání paliv, či nutnost přívodu elektrického proudu může výrazně ovlivnit výslednou výrobní cenu. Toto samozřejmě závisí na požadavcích konečného výkovku.

Při kování se nejčastěji používají buchary či lisy. Volba vhodného kovacího stroje má významný dopad na mechanické vlastnosti, přesnost a kvalitu výkovku. V kovárnách je využívána kombinace různých kovacích strojů, za účelem dosažení co nejvyšší jakosti finálního výrobku. Samozřejmě je nutné brát v potaz, že každý materiál má své nároky při kování, z čehož vyplývá i volba kovacího stroje a kovací teploty. Běžně používané materiály při kování jsou legované oceli, slitiny hliníku, hořčíku a titanu. Uvedené materiály našly své uplatnění v automobilovém průmyslu buďto z důvodu nízké hmotnosti, nízké ceny či výhodných mechanických vlastností. Tyto tři parametry jsou zároveň nejdůležitějšími faktory při výběru

materiálu. U automobilových dílů je dbáno na neustálé zvyšování bezpečnosti a snižování hmotnosti za cílem úspory paliva a zmenšení emisí, proto je dnes mnoho ocelových dílů nahrazováno slitinami hliníku, hořčíku či titanu, ať už se jedná o díly motorové, či díly podvozků a karosérií. Technologie kování je při výrobě těchto dílů velmi výhodná, jelikož je možné použít lehčích materiálů, ale stále zachovat velmi dobré mechanické vlastnosti.

9 Seznam použitých zdrojů

1. HAŠEK, Vladimír. *Kování: pomůcka pro studenty vysokých a odborných škol*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1965.
2. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL, 1992. ISBN 80-03-00651-1.
3. DUBININ, Nikolaj Petrovič. *Technologie kovů: pomocná kniha pro vysoké školy, Díl 2: Slévání, tváření, svařování*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1955
4. JÍCHA, Antonín. *Volné ruční kování*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1986.
5. ŽÍDEK, Milan, Vladimír DĚDEK a Boris SOMMER. *Tváření oceli*. 1. vyd. vyd. Praha; Bratislava: Nakladatelství techn. lit.: Alfa, 1988.
6. ČSN 42 0276 (420276) *Výkovky ocelové volné, v obvyklém provedení. Technické dodací předpisy*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1971. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.
7. ČSN 22 6001 (226001) *Názvoslovní technologie tváření kovů*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1968. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.
8. SEMIATIN, S. Lee (ed.). *ASM handbook: bulk forming*. Volume 14A, Metalworking :. Materials Park: ASM International, c2005. ISBN 0-87170-708-X.
9. DVOŘÁK Milan, Karel NOVOTNÝ, František GAJDOŠ a Vysoké učení technické v Brně. *Technologie tváření: plošné a objemové tváření*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-214-2340-4.
10. DVOŘÁK, Milan a Vysoké učení technické v Brně. *Technologie II*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-2032-4. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:a5f1c800-4f30-11e7-aac4-005056827e51>
11. ČSN 22 8306, *Zápustky pro svíslé kovací lisy: Směrnice pro konstrukci*. Praha: Vydavatelství norem, 1991. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.

12. ČSN 22 8308, *Zápustky pro buchary. Směrnice pro konstrukci*. Praha: Vydavatelství Úřadu pro normalizaci a měření, 1970. Dostupné také z: <http://csnonline.agentura-cas.cz/>.
13. KEIFE, Hans a Ulf STÅHLBERG. The influence of flash design on material flow and tool pressure in closed-die forging: a practical example. *Journal of Mechanical Working Technology* [online]. February 1984, 9(1), 37-52 [cit. 2024-02-15]. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/0378-3804\(84\)90092-5](https://doi.org/10.1016/0378-3804(84)90092-5)
14. FUCHS OIL CORP. *Tvářecí maziva* [online]. [cit. 2024-02-16]. Dostupné z: <https://www.fuchs.com/cz/cs/produkty/produktovy-program/maziva-pro-zpracovani-kovu/forming-lubricants/>
15. HARSLE. *Hot Forging Die: An In-Depth Guide* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.harsle.com/hot-forging-die-an-in-depth-guide>
16. Analysis of die stress and forging force for DIN 1.2714 die material during closed die forging of anchor shackle. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2021, 45(6), 4695-4701 [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.01.121>
17. FINKL STEEL. *Steel for closed-die forging of aluminum, titanium and steel products* [online]. [cit. 2024-02-17]. Dostupné z: <https://www.finkl.com/products/die/>
18. ĎÁSEK, Josef a Český svaz vědeckotechnických společností. *Zápustky a jejich tepelné zpracování*. Praha: SNTL, 1966
19. *Why Is An EDM Machine Good For Die/Mold Applications?* [online]. [cit. 2024-02-19]. Dostupné z: <https://absolutemachine.com/blog/why-is-an-edm-good-for-diemold-applications/>
20. Damage, Lifetime, and Repair of Forging Dies. *BHM Berg- und Hüttenmännische Monatshefte* [online]. 2016, 162, 88-93 [cit. 2024-02-20]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s00501-016-0566-3>
21. RAMLAB. *Repair of a forging die with gouged surface* [online]. [cit. 2024-02-20]. Dostupné z: <https://www.ramlab.com/resources/repair-of-forging-die-with-gouged-surface/>

22. MULLINGER, Peter a Barrie JENKINS. *Industrial and Process Furnaces: Principles, Design and Operation*. 3rd Edition. Butterworth-Heinemann, 2022. ISBN 9780323916295.
23. MACHÁČKOVÁ, Adéla a Lenka MRŇKOVÁ. *Průmyslové pece: studijní opora*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2014. ISBN 978-80-248-3589-1.
24. JIŘIČKA, Zdeněk. *Indukční ohřev v kovárnách*. Praha: SNTL, 1966. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:55c8a240-3288-11e3-8d9d-005056827e51>
25. RUDNEV, Valery, Don LOVELESS a Raymond L. COOK. *Handbook of induction heating*. Second edition. Boca Raton, [2017]. ISBN 978-113-8748-743.
26. VYSLOUŽIL, Zdeněk. *Elektrický ohřev vlastním odporem*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1967. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:791a7e80-15a7-11e6-853f-005056827e52>
27. ALBRACHT, Lorenz a Ehsan FARAHMAND. Resistance Heating by Means of Direct Current for Resource-Saving CO₂-Neutral Hot Stamping. *Key Engineering Materials* [online]. July 2022, 926(7), 2363-2370 [cit. 2024-02-25]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.4028/p-99k4fg>
28. GUPTA, Radha Charan. *Fuels, Furnaces and Refractories*. PHI Learning, 2016. ISBN 978-81-203-5157-8.
29. KAMELANDER, Ivan. *Tvářecí stroje II*. Brno: VUT, 1989. ISBN 80-214-1038-8. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:dd3d02c0-9f75-11e3-8e84-005056827e51>
30. RUDOLF, Bedřich a Miloslav KOPECKÝ. *Tvářecí stroje: základy stavby a využití*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1985. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:9be1dfc0-9acc-11ec-adf7-5ef3fc9bb22f>
31. NOVOTNÝ, Jiří., ŠANOVEC, Jan., BEDNÁŘ, Bohumír., *Technologie I*. dotisk druhého vyd. Praha: Nakladatelství ČVUT, květen 2006, ISBN 80-01-02351-6.
32. CHIABERGE, Marcello. *New Trends and Developments in Automotive Industry* [online]. IntechOpen, 2011 [cit. 2024-03-05]. ISBN 978-953-51-6100-4. Dostupné z: <https://www.doi.org/10.5772/1821>

33. DENG, Lei., Xinyun. WANG a Junsong. JIN. Precision forging technology for aluminum alloy. *Frontiers of Mechanical Engineering* [online]. 2018, 13, 25-36 [cit. 2024-03-07]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1007/s11465-018-0477-y>
34. DZIUBIŃSKA, Anna, Andrzej GONTARZ a Mieczysław DZIUBIŃSK. The forming of magnesium alloy forgings for aircraft and automotive applications. *Advances in Science and Technology Research Journal* [online]. September 2016, 10(31), 158-168 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://www.doi.org/10.12913/22998624/64003>
35. PAPPENBERG, Nikolaus, Stefan GNEIGER a Irmgard WEISSENSTEINER. Mg-Alloys for Forging Applications—A Review. *Materials* [online]. 2020, 13(4), 985 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.3390/ma13040985>
36. PUSHP, Pallavi, S.M DASHARATH a C. ARATI. Classification and applications of titanium and its alloys. *Materials Today: Proceedings* [online]. 2022, 54(2), 537-542 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.01.008>
37. TAKAHASHI, Kazuhiro, Kenichi MORI a Hidenori TAKEBE. Application of Titanium and its Alloys for Automobile Parts. *The 14th World Conference on Titanium* [online]. 2020, 321, 1-10 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1051/mateconf/202032102003>
38. SHERMAN, A. M. a John. E. ALLISON. Potential for Automotive Applications of Titanium Alloys. *SAE Transactions* [online]. 1986, 95(3), 806-817 [cit. 2024-03-09]. Dostupné z: <https://www.jstor.org/stable/44725435>
39. *The History of Forging Process* [online]. 2018 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.steelforging.org/the-history-of-forging-process/>
40. WELDALOY SPECIALTY FORGINGS. *History of Forging: From Humble Beginnings to a Modern Marvel* [online]. 2021 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://weldaloy.com/press-release/history-of-forging/>
41. Nekonvenční metody obrábění. In: *Výukový portál COPTTEL* [online]. ©2024 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://copttel.cz/mod/resource/view.php?id=7785>
42. Komorové pece pro ohřev v kovárnách. *Etherm* [online]. ©2021 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.ethermtz.cz/vyroby/komorove-pece-pro-ohrev-v-kovarnach/>

43. Karuselové pece. *Etherm* [online]. ©2021 [cit. 2024-03-10]. Dostupné z: <https://www.ethermtz.cz/vyrobky/karuselove-pece/>
44. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje* 1971. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1972. Dostupné také z: <https://ndk.cz/uuid/uuid:4b4ecf10-4ed5-11ed-bb57-005056827e52>
45. *Why Aluminum Forging? What Are the Advantages?* [online]. ©2024 [cit. 2024-03-11]. Dostupné z: <https://www.dropforging.net/advantages-of-aluminum-forging.html>