



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA DAMAŠKOVÉ OCELI

DAMASCUS STEEL PRODUCTION

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Matej Gajdošík

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

BRNO 2020

# Zadaní bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Matej Gajdošík</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Kamil Podaný, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2020/21

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

## Výroba damažkové oceli

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o popis a výrobu vzorku "nepravé" damažkové oceli, která bude zhotovena technologií volného kování. Na tuto problematiku bude zaměřena literární studie.

### Cíle bakalářské práce:

- provést rozbor vhodných materiálů,
- vypracovat aktuální literární studii se zaměřením na zvolenou technologii,
- popsat a vyrobit zkušební vzorek,
- zhotovit a vyhodnotit metalografický výbrus.

### Seznam doporučené literatury:

PRIMUS, František. Teorie objemového tváření. 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.

NOVOTNÝ, Karel. Tvářecí nástroje. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80-214-0401-9.

HAŠEK, Vladimír. Kování. 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William F. and Robert M. CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007. 365 s. ISBN 978-0-521-88121-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **ABSTRAKT**

GAJDOŠÍK Matej: Výroba damaškové oceli.

---

Bakalárska práca sa zaoberá výrobou damaškovej ocele. Literárna štúdia sa venuje metódam produkcie, s bližším rozpracovaním technológii voľného kovania, vhodných vlastností materiálu a postupom práce pri kovaní a príprave vzorky pre výbrus. V praktickej časti práce bola zdokumentovaná výroba dvoch výkovkov z ocelí 15n20, 80CrV2 a 1095. Následne bol prevedený výbrus a posúdená úspešnosť experimentu. Na záver bol zo zvoleného výkovku vyrobený nôž.

Kľúčové slová: Damašková oceľ, kováčsky zvar, nástroje, voľné kovanie, výroba noža

## **ABSTRACT**

GAJDOŠÍK Matej: Damascus steel production.

---

Bachelor thesis deals with production of Damascus steel. Literary pursuit deals with methods of production, with closer elaboration of free forging technology, suitable material properties and work procedures during forging and etched specimen preparation. In the practical part of the work, production of two forged pieces consisting of 15n20, 80CrV2 and 1095 steels was documented. Subsequently an etched specimen was prepared to assess the success of the experiment. Finally, a knife was made from the selected forged piece.

Keywords: Damascus steel, forge weld, tools, free forging, knife making

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITÁCIA**

GAJDOŠÍK, Matej. *Výroba damaškové oceli* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-02-17]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132262>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Kamil Podaný.

## **ČESTNÉ PREHLÁSENIE**

Týmto prehlasujem, že predkladanú bakalársku prácu som vypracoval samostatne, s využitím uvedenej literatúry a podkladov, na základe konzultácii a pod vedením vedúceho bakalárskej práce.

V Brne dňa 21.5.2021

.....  
Podpis

## **POĎAKOVANIE**

Moja vďaka patrí pánovi Ing. Kamilovi Podanému, Ph.D za cenné pripomienky a rady týkajúce sa spracovania bakalárskej práce. Ďalej by som rád poďakoval pánovi Romanovi Kratochvílovi za asistenciu pri praktickej časti. Rovnako ďakujem rodine a priateľom za pomoc a podporu.

## **OBSAH**

Zadanie

Abstrakt

Bibliografické citácie

Čestné prehlásenie

Podakovanie

Obsah

	Str.
<b>ÚVOD</b> .....	9
<b>1 ROZBOR ZADANIA</b> .....	10
<b>1.1 Metódy výroby</b> .....	10
<b>2 TECHNOLOGIE VOĽNÉHO KOVANIA</b> .....	12
<b>2.1 Ohrev materiálu</b> .....	12
2.1.1 Typy pecí.....	13
<b>2.2 Voľné kovanie strojné</b> .....	15
2.2.1 Nástroje pre strojné kovanie .....	17
<b>2.3 Voľné kovanie ručné</b> .....	18
2.3.1 Nástroje pre ručné kovanie .....	18
2.3.2 Postupy voľného kovania.....	21
2.3.4 Kováčsky zvar.....	22
<b>3 METALOGRAFIA</b> .....	23
<b>3.1 Výbrus</b> .....	24
<b>4 PRAKTICKÁ ČASŤ</b> .....	27
<b>4.1 Príprava paketu</b> .....	27
<b>4.2 Kovanie vzoriek</b> .....	29
<b>4.3 Kovanie noža</b> .....	32
<b>4.4 Tepelné spracovanie</b> .....	35
<b>4.5 Brúsenie</b> .....	35
<b>4.6 Leptanie</b> .....	37
<b>5 ZÁVERY</b> .....	38

Zoznam použitých zdrojov

Zoznam obrázkov

Zoznam tabuliek



## ÚVOD [1], [2], [3], [4]

Damašková oceľ je materiál, ktorý je známy už storočia. Prvé zmienky pochádzajú z okolia južnej Indie z druhej polovice tisícročia pred Kristom. Následne sa rozširovala do celého sveta vďaka svojim vlastnostiam v porovnaní s vtedajšími materiálmi. Za svoj názov vďaka sýrskemu hlavnému mestu Damask, ktoré sa stalo centrom jej predaja.

V minulosti boli z damaškovej ocele vyrábané najmä chladné zbrane, napríklad meče a dýky. Tu je dôležité poznamenať práve nožiarsky priemysel, ktorý sa do vysokej miery zaslúžil na zachovaní postupov jej výroby. Tie sa postupom času vytrácali z dôvodu modernizácie a schopností novodobej metalurgie produkovať kvalitnejšie materiály.

V dnešnej dobe je damašková oceľ využívaná najmä v umeleckom a nožiarskom priemysle (obr. 1). Pri umeleckých dielach sa jedná často o tvorbu skúsených výrobcov, či už v podobe šperkov alebo dekorácií. Nožiarsky priemysel sa zameriava skôr na výrobu rozličných typov nožov, od historických replík po kuchynské nože, výroba mečov a iných zbraní je taktiež zachovaná, no často sa jedná skôr o formu výstavného diela.



Obr. 1 Ukážky výrobkov z damaškovej ocele [4]

## 1 ROZBOR ZADANIA [1], [3], [5], [6]

Zadaním práce je výroba damaškovej ocele. Jej úspešná produkcia závisí na správnej voľbe materiálov. Obecne sa jedná o voľbu vhodnej ocele, pričom potrebný počet a typ závisí od zvolenej metódy. Pri niektorých je možné kombinovať dva a viac, čím možno dosahovať rozdielne odtiene vo finálnej kresbe a odlišné mechanické vlastnosti. Ďalej je potrebné vziať do úvahy reagovanie povrchu po naleptaní, keďže leptanie zviditeľňuje kresbu. Materiály môžu obsahovať mnohé legujúce prvky. Tých je mnoho s rôznymi účinkami, no medzi hlavné patria:

- \* Mangán – austenitotvorný prvok, ovplyvňuje tepelné spracovanie, s rastúcim obsahom spomaľuje transformáciu austenitu, zvyšuje prekaliteľnosť, pomáha pri odstraňovaní krehkosti za tepla.
- \* Nikel – spôsobuje vysoké hodnoty vrubovej húževnatosti pri znížených teplotách, zjemňuje zrno a zvyšuje medzu sklzu, zlepšuje húževnatosť.
- \* Vanád – silne feritotvorný prvok, s uhlíkom tvorí stabilný karbid VC, karbidy dosahujú vysokú tvrdosť, malé množstvá tvoria globulárne karbidy a spomaľujú rast zrna.
- \* Chróm – feritotvorný, pri vysokom obsahu tvorí fáze vysokej tvrdosti, ale sú krehké, zvyšuje aktivačnú energiu, znižuje schopnosť rekryštalizácie.

### 1.1 Metódy výroby [1], [3], [4], [5], [7], [8], [9], [10], [11]

Existujú viaceré druhy damaškovej ocele, ktoré nie sú rozdelené názvoslovím. Možno hovoriť o “téglikovej“ oceli, z anglického „wootz“, ktorá je nazývaná tiež damascéskou, alebo o “skladanej“, anglicky „pattern welded“, damaškovej oceli. Obe sú výrazné vďaka svojej kresbe na povrchu, ktorá je pri oboch odlišná. Metódy ich výroby sa odlišujú postupom, použitými technológiami aj materiálom, možno hovoriť o:

- Tégliková metóda – je pôvodný spôsob výroby, ktorého výsledkom je damascénska oceľ. Historický postup nie je úplne známy, no v dôsledku mnohých výskumov sú výsledky súčasnej výroby na takmer rovnakej úrovni. Výroba začína voľbou materiálu, ktorý nemusí dosahovať vysokej čistoty ani obsahu uhlíku, následne je potrebný téglik odolný vysokým teplotám, pri ktorých nereaguje s obsahom. Do tohto je vložený materiál a pridané potrebné množstvo uhlíka na dosiahnutie jeho požadovaného hmotnostného obsahu. Následne je spolu s obsahom čiastočne uzavretý pre zamedzenie prístupu plynov a uložený do pece. Tá musí dosiahnuť dostatočne vysokú teplotu pre úplné roztavenie obsahu. Pritom sa uvoľňujú nečistoty z materiálu, ktoré sa koncentrujú do strusky na povrchu, zároveň sa roztavený kov nauhličuje. Výsledkom je ingot damascénskej ocele (obr. 2), ktorý je následne tvárnený a má špecifickú kresbu (obr. 3) na povrchu.

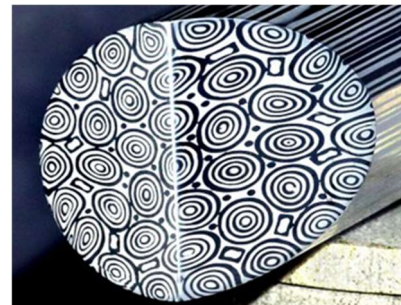


Obr. 2 Damascénska kresba [8]



Obr. 3 Ingot [4]

- Metóda práškovej metalurgie – patrí medzi najmodernejšie spôsoby výroby damaškovej ocele. Začína tvorbou vysokokvalitného kovového prášku pomocou plynného roztryskovania, anglicky „gas atomization“, pri ktorom je roztavená oceľ rozptýlená inertným plynom na jemné kvapky. Tie počas pádu do zbernej nádoby chladnú a získavajú guľatý tvar, pričom sa v dôsledku inertnej atmosféry zachováva dokonalá čistota materiálu. Následne je kovový prášok uzavretý do kapsule. Tá je ďalej lisovaná technológiou izostatického lisovania za tepla, anglicky „hot isostatic pressing“, ktorá slúži na zhutnenie kovových práškov pri vysokej teplote a okolitom tlaku, proces prebieha v špeciálnych peciach. Kapsula je ďalej tvarovaná do požadovaných rozmerov a cielenej kresby. Výhodou tejto technológie je menší počet nečistôt v materiáli a produkcia „nerezového damašku“ (obr. 4).



Obr. 4 Damasteel  
“Bluetongue“ [4]

- Metóda kovaním – patrí k najpoužívanejším spôsobom výroby damaškovej ocele. Začína prípravou polotovaru nazývaného paket alebo tiež balíček, ktorého proces tvorby začína krátením oceľového plechu na požadovanú dĺžku a následným zbrúsením vonkajšej vrstvy z oboch strán pre odstránenie povrchových úprav a nečistôt. Kusy ocelí sú potom striedavo skladané na seba. Ďalším krokom je ich zvarenie, najvhodnejšie použitím metódy TIG bez prídavného materiálu, čím sa zamedzuje vneseniu iného materiálu do oblastí zvaru. Metódou TIG sa rozumie zvarovanie volfrámovou netaviacou sa elektródou v ochrannej atmosfére inertného plynu, čo možno označiť číselne – metóda 141. Princíp spočíva v horení elektrického oblúku medzi elektródou (vyrábanou z volfrámu) a materiálom. Tavná lázeň je chránená pred účinkami okolného prostredia inertným plynom. K paketu je často priváraná aj rúčka pre ľahšie manipulovanie (obr. 5).



Obr. 5 Paket s rúčkou [11]

Pri výbere materiálu je volená tvrdá vysokouhlíková oceľ, ktorá výkovku dodáva tvrdosť a dobrú odolnosť voči opotrebeniu (ktorá je dôležitá napríklad pri čepeli noža) a nízkouhlíková húževnatá oceľ, vďaka ktorej nie je výsledný produkt krehký. Pri tejto metóde je dôležité zloženie zvolených materiálov. Nemali by obsahovať veľké množstvo legujúcich prvkov, ktoré nepriaznivo ovplyvňujú zvarenie skladanej ocele. Po úspešnom spojení a ďalšom tvárnení je výsledkom unikátna kresba na povrchu výrobku (obr. 6).



Obr. 6 Damašková kresba [8]

Po zhodnotení technickej náročnosti a dostupnosti potrebných materiálov bola zvolená výroba kovaním. Medzi technológie kovania sa zaraďuje aj zápustkové, ktoré ale nie je využiteľné pri výrobe damaškovej ocele, preto sa práca v ďalších častiach venuje technológiám voľného kovania a teoretická aj praktická časť je im zameraná.

## 2 TECHNOLOGIE VOLNÉHO KOVANIA [12], [13], [14], [15], [16]

Kovanie je technológiou objemového tvárnenia materiálu za tepla. Proces prebieha nad teplotou rekryštalizácie materiálu, vplyvom čoho nedochádza k spevneniu spôsobenému tvárnením. Vďaka tomu klesajú potrebné tvárne sily, no vplyvom teploty dochádza k rastu zŕn. Tie sa pri tvárnení deformujú, zmenšujú svoj profil a môžu vytvárať vlákňitú štruktúru, napríklad pri kovaní ingotov (jeden zo základných typov polotovaru pre kovanie), kedy je pôvodná hrubá dendritická štruktúra po tvárnení usmernená vo výslednom výkovku do vlákien. Príklad tejto mechaniky je vidieť na príklade nižšie, kde je zobrazená odlievaná súčasť s hrubou štruktúrou (obr. 7a), súčasť po obrábení, kde bola vlákňitá štruktúra porušená (obr. 7b) a kovaná (obr. 7c) so štruktúrou, ktorá kopíruje tvar.



Obr. 7 Vnútoraná štruktúra materiálu v závislosti na technológii výroby [16]

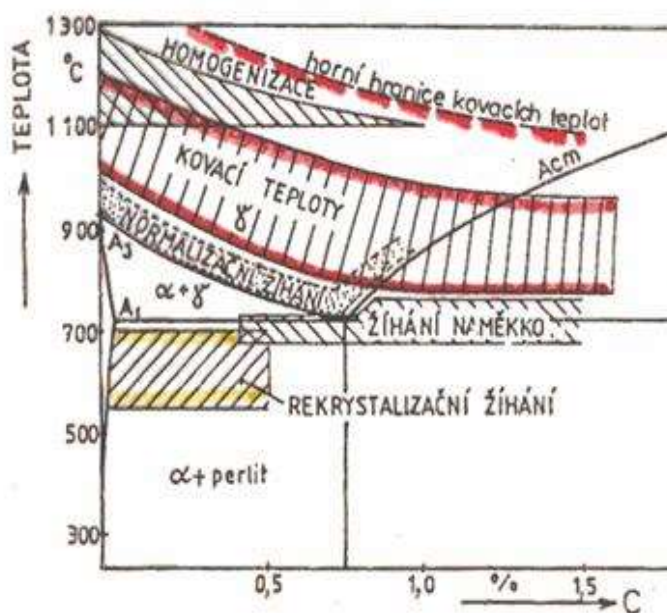
Výhodou orientovanej štruktúry je zvýšenie mechanických vlastností. Znižuje sa náchylnosť tvorby porušení v kritických miestach súčasti, ako napríklad v rohoch. Pri obrábení v nich dochádza k jej porušeniu a vzniku oslabených miest. Naopak pri kovanej súčasti sú vlákna nahromadené, čím sa dané miesto stáva odolnejším.

Pri výrobe súčastí kovaním dochádza k vysokému využitiu materiálu, ekonomicky sa však nejedná o najideálnejšiu technológiu z dôvodu veľkých nákladov na ohrev.

### 2.1 Ohrev materiálu [14], [15], [17], [18], [19]

Ohrev polotovaru je pri kovaní dôležitou súčasťou procesu. Pri zvyšovaní teploty materiálu dochádza k zmenám jeho vlastností. Môže napríklad dochádzať ku zmene kryštalickej mriežky a mechanických vlastností. Pri kovaní sa uvažuje o kovacích teplotách, ich určenie závisí od materiálu a jeho chemického zloženia. Obecne sa kovacie teploty pohybujú nad hodnotou 70 % teploty tavenia.












Graf na obrázku 8 znázorňuje oblasť kovacích teplôt v diagrame Fe – Fe<sub>3</sub>C v oblasti ocelí. Je ohraničená krivkami fázových premen A<sub>1</sub> a A<sub>3</sub>, pričom je od nich vzdialená asi 50 °C. Teplota by nemala presiahnuť hornú hranicu, po ktorej môže v ohrievanom materiáli dochádzať k poruchám, napríklad z dôvodu prepalu, či oduhličenia povrchu. Tento jav sa voľným okom pozorovateľný, dochádza k tak-zvanej “prskavke“, kedy z povrchu materiálu vyhorieva uhlík a odlietava od neho vo forme iskier.



Obr. 8 Kovacie teploty [14]

V prípade, že kováčska dielňa nie je vybavená zariadením určeným na meranie teploty pece, alebo materiálu, využíva sa farebná škála teplôt ocelí (obr. 9), vďaka ktorej možno teplotu odhadnúť pohľadom. Škála začína od teploty 520 až 580 °C, kedy oceľ začína žiariť slabou čiernohnedou farbou, a končí pri teplotách zhruba 1350 °C, ktorým odpovedá svetložltá až takmer biela farba. Ďalším zvyšovaním teploty sa už farba nemení.

Pri ohreve však nedochádza iba k zlepšeniu vlastností a pozitívnym vplyvom. Medzi najvýznamnejšie nevýhody pri tvárnení za tepla patrí tvorba opalu (obr. 10), resp. okují. Ten vzniká chemickou reakciou železa obsiahnutého v oceli s kyslíkom vo vzduchu, prípadne v atmosfére pece. Má nepriaznivý vplyv na kvalitu povrchu a zároveň vzniká riziko jeho zakovania do materiálu, čo nie je priaznivé pre vzhľad a kvalitu povrchu. Tvorí tenkú vrstvu šedej až šedohnedej farby, pri tvárnení zväčša odlietava od povrchu v dôsledku vibrácií a ochladzovania. Je tvorený tromi chemickými zlúčeninami v rôznom zastúpení, jedná sa o hematit ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), magnetit ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ) a wüstit ( $\text{FeO}$ ). Tvorba opalu začína v rozsahu teplôt okolo 700°C a so zvyšujúcou sa teplotou sa urýchľuje. Zároveň záleží aj na množstve prítomného kyslíku a veľkosti povrchu v styku s atmosférou.

	1250 - 1350 °C	biela
	1150 - 1250 °C	svetložltá
	1050 - 1150 °C	tmavožltá
	880 - 1050 °C	žltočervená
	830 - 880 °C	svetleoranžová
	800 - 830 °C	tmavooranžová
	780 - 800 °C	čerešňová
	750 - 780 °C	tmavočerešňová
	650 - 750 °C	tmavočervená
	580 - 650 °C	hnedočervená
	520 - 580 °C	čiernohnedá

Obr. 9 Farba oceli v závislosti od teploty



Obr. 10 Okuje [19]

### 2.1.1 Typy pecí [20], [21], [22], [23], [24]

Na ohrev materiálu pri kovaní pre výkovky malých rozmerov, pričom je väčšinou ohrievaný iba jeden kus, sú využívané pece menších rozmerov bez priebežného ohrevu. V prostredí kováčskych dielní sa prevažne jedná o:

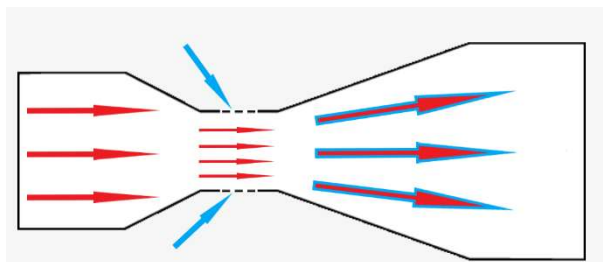
- Koksové vyhne – používajú ako palivo bitúmenové uhlie, priemyselný koks alebo drevené uhlie. Vo vyhni dochádza k exotermickej reakcii uhlíka a kyslíka v atmosfére. Výsledkom je vznik oxidu uhličitého a tepla. Množstvo uvoľňovaného tepla je možné kontrolovať viacerými spôsobmi, medzi hlavné patrí regulácia prúdu vzduchu vháňaného do ohniska a množstva paliva v ohnisku, pričom pri oboch je teplota priamo úmerná, tzn. zvýšenie teploty po zvýšení množstva.

Ďalším spôsobom je tvarovanie horiaceho paliva, kedy pri jeho koncentrácii na jedno miesto dochádza v tomto mieste k zvýšeniu teploty, naopak pri rozprestretí k jej zníženiu. Konštrukcia vyhne na obrázku 11 pozostáva z pracovnej plochy a ohniska ohraničeného ochrannými klinmi. V spodnej časti vyhne sa nachádza elektroventilátor, ktorý do priestoru ohniska vháňa vzduch. Je ovládaný regulačnými pákami, alebo elektronicky. Dizajn môže byť rozdielny v závislosti od výrobcu a roku výroby, no základný princíp fungovania sa nemení.

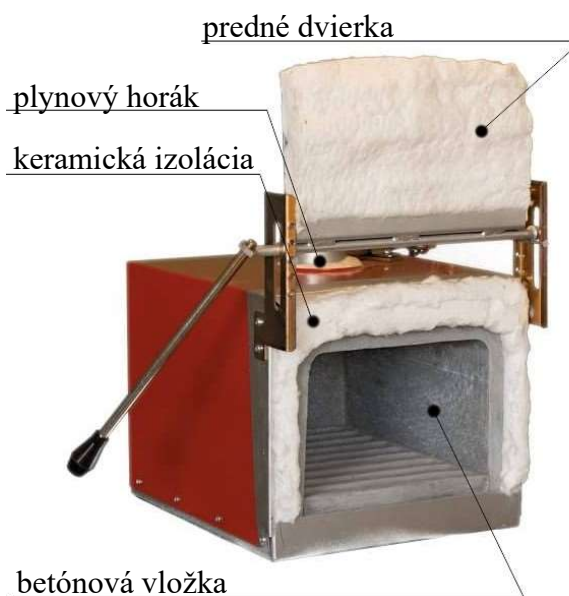
- Plynové pece – používajú ako palivo prevažne propán alebo zemný plyn. Palivo je do pece vháňané cez plynové horáky. Tie sa delia na e젝čné (využívajú Venturiho efektu, kde je do horáku privádzaný horľavý plyn, ktorý sa v špeciálnej hlavici vďaka podtlaku zmieša s okolitou atmosférou, konštrukcia je zobrazená na obrázku 12) a s núteným prívodom vzduchu (využívajú elektroventilátor podobne ako pri vyhni a do horáku je vháňaná zmes plynu a vzduchu). Teplotu v peci je možné regulovať prívodom vzduchu a horľavého plynu (avšak tu treba dávať pozor na nebezpečenstvo vzniku CO, ku ktorému dochádza pri nedokonalom horení) alebo otváraním a privieraním dvierok pece. Dizajn sa môže zásadne líšiť tvarom pece aj počtom, typom a veľkosťou horákov. Na obrázku 13 je vidieť konštrukciu pozostávajúcu z obdĺžnikového tela s prednými dvierkami, jedného horáku umiestneného v strope a izolácie v podobe vonkajšej keramickej vrstvy a vnútornej vložky zo žiaru odolného betónu.



Obr. 11 Koksová vyhňa [22]



Obr. 12 Venturiho efekt v horáku [24]

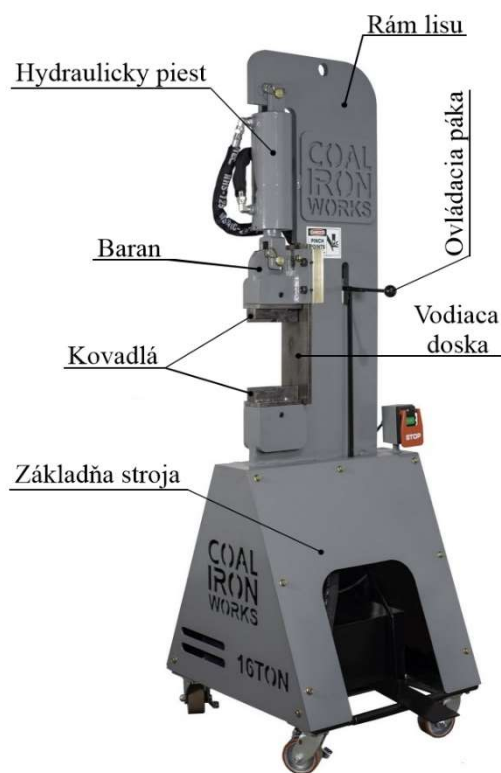


Obr. 13 Plynová pec [22]

## 2.2 Voľné kovanie strojné [4], [25], [26], [27], [28], [29], [30], [31], [32], [33]

Využitie strojnej techniky pri tvárnení kovov významne ovplyvňuje efektívnosť výroby a dodáva schopnosť produkcie zložitejších a zároveň objemnejších súčastí. Pri voľnom kovaní stroje znižujú počet potrebných cyklov ohrevu a znižujú nároky na pracovníkov vo výrobe. Patria sem:

- Lisy – patria medzi široko využívané stroje v strojárskom priemysle. Svoje využitie nachádzajú aj pri kovaní, pričom na kovaný materiál pôsobia silou, ktorej veľkosť a priebeh závisí na type lisu. Možno ich rozdeliť na:
  - Mechanické – patria medzi najviac používané. Ich pohon je realizovaný pomocou kľukového mechanizmu, prípadne je od neho odvodený alebo kombinovaný. Priebeh tvárniacej sily nie je konštantný, jej maximálnej hodnoty dosahujú až tesne pri spodnej úvrati. Silové zaťaženie stroja nesmie presiahnuť hodnoty menovitej sily, v opačnom prípade dochádza k jeho porušeniu. Možno ich ďalej rozdeliť na výstredníkové, kľukové, vretenové a ďalšie. Výstredníkové a kľukové pracujú na princípe využívajúcom kľukový mechanizmus, rozdiel je v možnosti nastavenia zdvihu pri výstredníkovom lise. Najvhodnejšie pre kovanie sú z tejto skupiny vretenové lisy. Hlavnou časťou konštrukcie sú poháňané disky a vreteno so skrutkovitým telom. Disky sú v tesnej blízkosti zotrvačníka, ktorý je pripevnený k vretenu. Pohyb barana nastáva po kontakte jedného z diskov so zotrvačníkom, pričom druhý disk je použitý na následný zdvih. Materiál je tvárnený kinetickou energiou zotrvačníka a zvyšných častí v pohybe. Konštrukcia umožňuje aj opakované údery.
  - Hydraulické – pracujú na princípe Pascalovho zákona (tlak v kvapaline je vo všetkých miestach rovnaký), vďaka čomu dokážu vyvinúť veľký tlak na kovaný materiál. Rozdeľujú sa do dvoch skupín podľa pohonu na priamy (alebo tiež čerpadlový, využíva hydraulický olej stlačovaný pomocou čerpadla, čo vyvoláva pohyb piestu) a nepriamy (alebo tiež akumulátorový, využíva olejovú emulziu a využíva sa pri potrebnej sile väčšej ako 25 ton). Na obrázku 14 je znázornený príklad hydraulického lisu vhodného pre voľné kovanie. Lis pozostáva zo základne v ktorej je umiestnené čerpadlo spojené s hydraulickým piestom v hornej časti stroja. Pri používaní sa piest vysúva a tlačí baran smerom nadol. Baran je spolu s horným kovadlom vedený vodiacou doskou. Rám lisu je v tomto prípade plátom plechu, avšak môže byť vyhotovený aj s vodiacimi stĺpkami. Činnosť stroja je ovládaná pákou. Zobrazený lis dokáže vyvinúť tlak 16 ton. Medzi výhody využitia lisu patrí možnosť plynulej regulácie tlaku a rýchlosti, nastavenie zdvihu a maximálna sila počas celého priebehu, naopak medzi nevýhody patrí pomerne nízka rýchlosť barana, zložitejšia údržba a vyššia kúpna cena.



Obr. 14 Hydraulický lis [31]

- Buchary – na rozdiel od lisov na kovaný kus nepôsobia plynulou silou, ale nárazom, teda tvárnia materiál kinetickou energiou padajúceho barana. Je možné ich rozdeliť do niekoľkých skupín, medzi najvhodnejšie pre voľné kovanie patria:

- Mechanické – na prenos energie využívajú rôzne kinematické mechanizmy, bývajú poháňané elektromotorom. Jedná o väčšiu skupinu strojov, patria do nej napríklad buchary pružinové (obr. 15), ktoré patria k najjednoduchším tvárniacim strojom. Priamočiary pohyb je na baran prenášaný z elektromotorom poháňanej kľuky cez dvojramennú páku tvorenú zväzkom listových pružín. Rýchlosť barana a veľkosť rázovej práce možno meniť otáčkami kľuky. Ďalej do tejto skupiny patria aj padacie buchary, ktorých princíp spočíva v zdvihu barana do určitej výšky a jeho následnom uvoľnení, jeho hmotnosť môže byť až 2500 kg.



Obr. 15 Pružinový buchar [4]

- Hydraulické – nositeľom energie je kvapalina, najčastejšie sú využívané minerálne oleje a emulzie. Delia sa na jednočinné a dvojčinné, princíp činnosti jednočinného je podobný ako pri mechanickom padacom buchare. Baran je v tomto prípade vytláčaný do pracovnej polohy pomocou hydraulického pohonu, následne je uvoľnený a smerom nadol sa pohybuje voľným pádom. Veľkosť energie úderu závisí na hmotnosti barana a pracovnom zdvihu. Dvojčinné (obr. 16) majú zložitejšiu konštrukciu a pohon, pri práci bucharu je však baran poháňaný aj smerom nadol, takže energia úderu narastá. Hmotnosti baranov dosahujú 3500 kg (jednočinné) a 2000 kg (dvojčinné).



Obr. 16 Hydraulický dvojčinný buchar [32]

- Plynové – pracovné médium tvorí stlačený vzduch, nazývajú sa aj pneumatické. Rovnako ako hydraulické, sa buchary tejto skupiny delia na jednočinné a dvojčinné. Dvojčinné (obr. 17) fungujú na princípe kľuky poháňanej elektromotorom, tá v kombinácii s ojnícou premeňa rotačný pohyb na priamočiary pohyb piestu (kľukový mechanizmus). Piest pri svojom pohybe v komore kompresora stláča vzduch. Baran sa pohybuje v pracovnom valci a do pohybu je uvádzaný stlačením ovládacej páky spojenej s posúvačmi, tie sa periodicky otvárajú a zatvárajú, čím spájajú hornú alebo spodnú komoru kompresora s pracovným valcom. Stlačený vzduch teda pohybuje baranom nahor aj nadol, čo zvyšuje energiu úderov aj ich rýchlosť. V jednočinnom buchare je spojený pracovný valec a kompresor jedným posúvačom. Pohyb barana smerom nadol je spôsobený iba vlastnou váhou a podtlakom, ktorý vznikne pri pohybe piestu. Do hornej pozície je baran vytláčaný tlakom vzduchu z komory kompresora.



Obr. 17 Pneumatický dvojčinný buchar [33]



## 2.2.1 Nástroje pre strojné kovanie [4], [14], [19], [34]

Pri voľnom strojnom kovaní sú prevažne používané buchary, u ktorých sú nástrojmi myslené kovadlá, ktoré prichádzajú do kontaktu s tvárneným materiálom. Ich tvar je univerzálny a požadovaný tvar výkovku je docielený polohovaním.

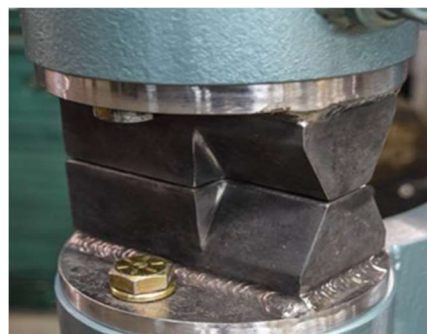
K ich upnutiu do stroja nemôžu byť použité skrutky, keďže by bola ich životnosť nízka z dôvodu veľkých otrasov. Preto je upnutie kovadiel uskutočnené pomocou klinov a rybinových drážok. Tento spôsob je odolnejší voči otrasom, zároveň zaisťuje polohu kolmo k ose. Uhly rybinových drážok stroja sú  $10^\circ$  a  $12^\circ$ , pričom drážka s uhlom  $10^\circ$  je rovnobežná s osou, druhá je odklonená o uhol  $0^\circ35'$ . Do tejto drážky je vkladajú klin, ktorého geometria je jej prispôbena, má teda pozdĺžny úkos 1:100 (čo odpovedá uhlu  $0^\circ35'$ ) a skosené strany pod uhlami  $10^\circ$  a  $12^\circ$ . Rybinová drážka kovadiel je symetrická a má uhol  $80^\circ$ . Pre zaistenie polohy kovadla v smere jeho osi sú používané perá.

Základné rozdelenie kovadiel je na horné a spodné, k bližšiemu rozdeleniu dochádza podľa ich tvarov, ktoré môžu byť:

- Kombinované (obr. 18) – v sebe spájajú viaceré typy tvarov, napríklad rovné kovadlá a oblé, čím sa odstráni nutnosť práce výmeny.
- Rovné (obr. 19) – patria k univerzálnym tvarom, ich hlavnou časťou je rovinná pracovná plocha so zaoblenými hranami. Sú využívané na predlžovanie materiálu, stlačovanie a najmä rovnanie.
- Uhlové – sú tvorené kovadlami, ktoré majú špecifický tvar požadovaný od výkovku, horné kovadlo môže byť rovné.
- Oblé – majú tvar vhodnejší pre operácie predlžovania, odsadzovania a rozširovania. Môže sa jednať o trojuholníkový, alebo guľatý tvar.
- Modulárny systém (obr. 20) – je tvorený základnými kovadlami bez špecifického tvaru, na ktoré je možné pripevniť násady, ktorými je materiál tvárnený. Sú vyrobené z nástrojovej oceli a ich životnosť je nižšia v porovnaní s ostatnými typmi, avšak sú flexibilnejšie a ich výmena je podstatne rýchlejšia. Sú využívané najmä pri domácej a kusovej výrobe.



Obr. 19 Rovné kovadlá



Obr. 18 Kombinované kovadlá [4]



Obr. 20 Modulárny systém [19]

## 2.3 Voľné kovanie ručné [4], [14], [36], [37], [38]

Ručné kovanie v porovnaní so strojným kovaním ponúka väčšiu variabilitu prípravkov a nástrojov ako aj možností ich využitia. Je využívané na delikátnejšie tvárnenie a dokončovacie operácie. Nevýhodou sú vyššie nároky na fyzickú zdatnosť pracovníka a jeho zručnosť.

Podstatnú súčasť vybavenia kováčskej dielne tvorí kovadlina. Jej historický vývoj prebiehal podobne ako vývoj nástrojov, od kamenných a bronzových až po oceľové. V dnešnej dobe je väčšina odlievaná na požadovaný tvar, no je možné nájsť aj kované. Podobne ako materiálový vývoj, prebiehal aj vývoj tvarov a typov. Na obrázku 21 je zobrazený londýnsky štýl, ktorý pozostáva z niekoľkých častí. Telo kovadliny spravidla nesie označenie výrobcu a hmotnosť. Roh má guľatý prierez ktorý sa smerom k špičke stenčuje a môže byť spojený so základňou rohu. Iné typy môžu mať dva rohy odlišných prierezov, napríklad guľatý a štvorcový. Pracovná plocha môže tvoriť jeden kus s telom, alebo je tvorená plátom nástrojovej ocele, ktorý je k nemu privarený. Jedná sa o rovinnú plochu s kvalitným dokončením a tepelnou úpravou. Kolmo na túto plochu sú umiestnené dva otvory. Hranatý otvor slúži na usádzanie pomocných nástrojov, okrúhly je využívaný pri tvorbe otvorov malých rozmerov vo výkvoch. Hrany pracovnej plochy sú z časti zaoblené, čo sa využíva pri niektorých kováčskych operáciách. Kovadlina sa umiestňuje na základňu, ktorú tvorí nárazy pohlcujúci materiál, v zobrazenom príklade sa jedná o drevo, môže sa však jednať aj o konštrukciu s oceľovými nohami naplnenými pieskom.



Obr. 21 Kovadlina [4]

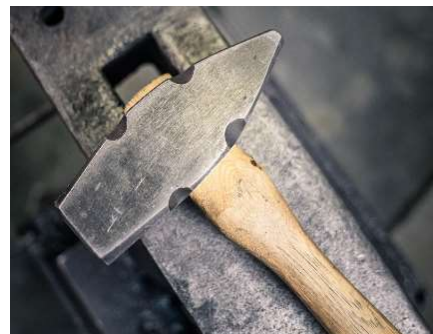
### 2.3.1 Nástroje pre ručné kovanie [4], [14], [28], [36], [37], [38]

Nástroje určené pre voľné kovanie sú veľmi jednoduché. Kováč využíva viaceré typy nástrojov doplnené o prípravky, ktoré je možné ustaviť v kovadline. Medzi hlavné patria kladivá, tie môžu mať rôzny typ a využitie, odlišujú sa aj váhou. Tá sa zvyčajne pohybuje v rozmedzí od pol kilogramu do piatich kilogramov (s výnimkou niektorých typov).

Môžu sa tiež odlišovať materiálom, z ktorého je vyrobené telo kladiva. Pri sériovej výrobe sa jedná o konštrukciu z jedného materiálu, prevažne vysokouhlíkovej ocele s požadovanou tepelnou úpravou. Príkladmi takýchto materiálov sú ocele 12 050 a 12 060. Môžu byť tiež použité ocele s menším obsahom uhlíka, ktorý je kompenzovaný legujúcimi prvkami, napríklad oceľ 42CrMo4. Druhou možnosťou konštrukcie je spojenie húževnatej ocele pre telo a odolnejšej, tvrdšej ocele na čele kladiva. Tento typ je využívaný skôr pri domácej a kusovej výrobe.

Medzi bežne využívané patria tieto typy nástrojov:

- Ručné kladivo (obr. 22) – slúži na všeobecné použitie pri kovaní a na rozširovanie materiálu. Telo tvorí jedno rovinné čelo ktorého okraje sú zaoblené, aby pri udieraní nevznikali ostré hrany, ktoré vytvárajú riziko vzniku porúch v materiáli. Druhé čelo je zúžené a kolmé k násade. Toto čelo slúži na rozširovanie. Kladivo je držané v dominantnej ruke, zatiaľ čo kovaný kus drží kováč vo vhodne zvolených kliešťoch. Sú známe viaceré typy v závislosti na regióne.
- Prítlkacie kladivo (obr. 23) – využíva prevažne pomocník kováča. Je využívané pri potrebe väčšej sily úderu a spravidla má omnoho väčšiu hmotnosť ako ručné kladivo. Využíva sa na prítlkanie iných typov kladív alebo prípravkov na materiál. Vzhľad tela môže byť podobný ručnému kladivu, rozdielna býva dĺžka násady, tá je väčšia pre dosiahnutie vyššej energie nárazu pri dopade.
- Sedlík – možno ním kovať stupňovité osadenie na kovanom kuse ako aj predlžovať alebo zarovnávať kovaný kus po predchádzajúcich operáciách. Má viac druhov, na obrázku 24 je v prevedení kladiva s rozšírením, ktoré sa využíva pri zarovnávaní. Druhý typ bez rozšírenia slúži na vytváranie osadení. Kovaný materiál sa pokladá medzi čelo kováčiny a sedlík, následne sa na sedlík udiera prítlkacím kladivom. Využitím rozšíreného sedlíku možno na kovanom kuse dosiahnuť kvalitnú rovinnú plochu.
- Kovácke kladivo (obr. 25) – patrí medzi moderné dizajny ručných kladív. Je všestranné a možno ho využiť na mnohé úkony. Váhu sa väčšinou pohybuje v rozmedzí do 5 kilogramov. Rozdielne oproti klasickému ručnému kladivu sú obe čelá, jedno je spravidla rovné s výrazne zaoblenými hranami, druhé je okrúhleho tvaru s rádiusom cez celé čelo a taktiež zaoblenou hranou. Všestrannosť spočíva vo výhodnej geometrii tohto kladiva, vďaka ktorej možno zároveň predlžovať aj zarovnávať kovaný materiál.



Obr. 22 Ručné kladivo [38]



Obr. 23 Prítlkacie kladivo [4]



Obr. 24 Rozšírený sedlík [4]



Obr. 25 Kovácke kladivo [38]

- Matrica – slúži na tvárnenie kovaného materiálu do predom určeného tvaru. Tvar dodáva samotná matrica, kovaný kus sa zakladá medzi hornú a spodnú časť. Aj tento nástroj môže byť vo viacerých prevedeniach. Dolná matrica môže byť násadou uchytená v kovadline a horná matrica na násade na štýl kladiva. Toto prevedenie je vhodné v prípade že má kováč pomocníka, ktorý na hornú matricu udiera. Druhou možnosťou je prevedenie na pružine (obr. 26), kedy kováč na hornú matricu udiera sám.
- Sekáč – slúži na oddelenie prebytočného materiálu alebo skrátenie. Existujú dva typy. Sekáč s násadou (po priložení na požadované miesto sa naň búi prítlačím kladivom), alebo sekáč bez násady (usadí sa do otvoru v kovadline, materiál sa položí na jeho hranu a kladivom sa naň búi, tento typ sekáča je tiež nazývaný utínka). Oba typy sú zobrazené na obrázku 27 a možno ich použiť spoločne pre oddelenie materiálu symetricky z oboch strán. Sekáč má úzke telo pre ľahšie prenikanie materiálom.
- Priebojníky – slúžia na vytváranie otvorov v kovanom kuse. Možno ich rozdeliť na priebojníky, ktoré otvor vytvárajú a na priebojníky, ktoré tento otvor zväčšujú a dodávajú mu požadovaný tvar. Na oba typy sa udiera prítlačím kladivom a môžu byť vyhotovené v podobe, ktorú vidieť na obrázku 28, alebo s násadou, kedy je použitie rovnaké ako pri sekáči.
- Žlábkár – sa používa pri vytváraní osadení. Existujú viaceré varianty, napríklad vyhotovenie na násade, využívané s protikusom, ktorý má rovnaký tvar, ale usadzuje sa do otvoru v kovadline, alebo nástroj menších rozmerov bez násady držaný v ruke. Ďalšou možnosťou je vyhotovenie na pružine (obr. 29) podobne ako pri matrici. Jeho používanie je zhodné so spôsobom použitia sekáča pri vyhotovení bez pružiny a pri pružine je použitie zhodné s použitím matrice.



Obr. 26 Matrica [4]



Obr. 27 Sekáč a utínka [4]



Obr. 28 Priebojníky [4]

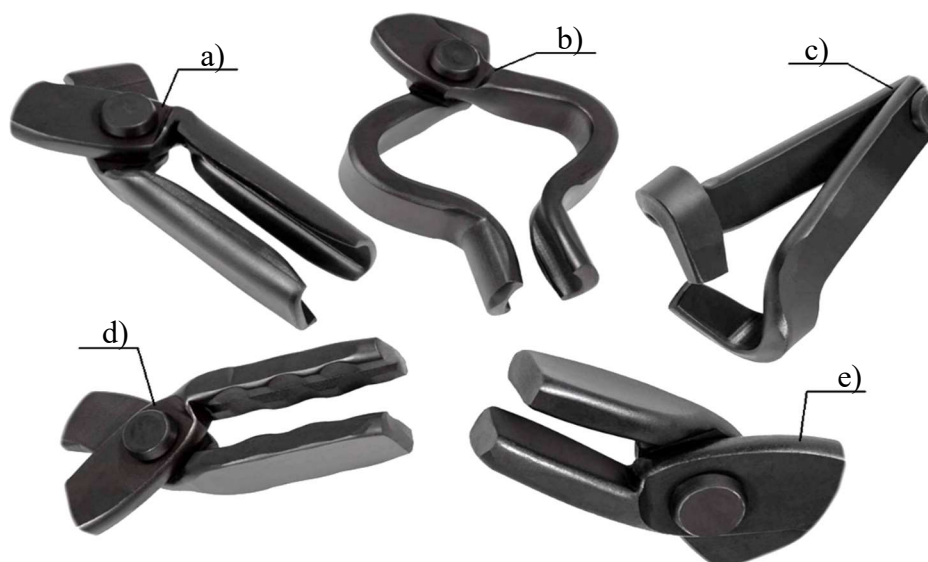


Obr. 29 Žlábkár [4]

Ďalšie základné vybavenie tvoria kliešte. Slúžia na manipuláciu s materiálom a sú svojim tvarom aj veľkosťou uspokojené pre pohodlné uchopenie kovaného kusu. Rozlišujú sa najmä tvarom čelustí, čím vzniká veľká variácia, základné tvary sú:

- \* Štvorcové (obr. 30a) – sú prispôbené na pevné uchopenie štvorcových tyčí a ich veľkosť odpovedá potrebným rozmerom.
- \* Tvaru “V“ s rozšírením (obr. 30b) – vhodné pre uchopenie výkovkov guľatého, alebo hranatého tvaru s prípadným rozšírením na konci.
- \* Tvaru “O“ v ose klieští (obr. 30c) – pre uchopovanie guľatiny, alebo hranatých, prípadne pásových polotovarov.

- \* Ploché s drážkami (obr. 30d) – sú univerzálnejšie a vhodné pre uchopenie guľatého, hranatého aj plochého polotovaru.
- \* Ploché bez drážok (obr. 30e) – patria medzi základné tvary a sú vhodné pre uchopenie plochého materiálu.



Obr. 30 Tvary čelustí [4]

### 2.3.2 Postupy voľného kovania [14], [19], [28], [36], [37], [39]

S využitím jednoduchých nástrojov sú spojené aj operácie a postupy pri kovaní. Tie môžu prebiehať vo viacerých variáciách a formách, s použitím strojov alebo ručne. Medzi základné postupy sa radí:

- Stlačovanie (obr. 31) – alebo tiež zhutňovanie materiálu, kedy dochádza k zmenšeniu výšky na úkor zväčšenia priemeru. Ohrevom materiálu v jednom mieste je možné v tomto dosiahnuť lokálne stlačenie bez ovplyvnenia zvyšku.
- Predlžovanie – môže byť vykonávané viacerými spôsobmi. Zobrazený spôsob na obrázku 32 využíva zaoblené rohy pracovnej plochy kovadliny, čím dochádza k vzniku zahĺbení, tie sú následne rovnané a predlžujú kovaný materiál. Ďalšími možnosťami sú kovanie na rohu kovadliny, alebo využitie žlábkaru.



Obr. 31 Stlačovanie pred a po [19]



Obr. 32 Predlžovanie [39]

- Rozširovanie – sa využíva pre zväčšenie plochy výkovku. Na dosiahnutie tohto sú využívané viaceré postupy, základom je využitie nástrojov s vhodnou geometriou, napríklad žlábkar.
- Úprava prierezu – je proces, do ktorého spadá oddeľovanie a tvorba osadenia, k čomu sú využívané sedlíky a sekáče, resp. utínky.

- Dierovanie – zahŕňa 3 časti procesu tvorby požadovaného otvoru. Prvý krok (obr. 33) je tvorba zahĺbenia z jednej strany výkovku k čomu sú využívané priebojníky. Následne (obr. 34) sa materiál otočí a priebojník sa opäť prikladá do miesta zahĺbenia, búi sa naň a vytvorí sa zahĺbenie z druhej strany, pričom dochádza k tvorbe “blany“. V rohoch zahĺbení dochádza k porušeniu materiálu a utrhnutiu blany, čím vzniká priechodzia diera. Tá je priebojníkmi na úpravu dier upravovaná do požadovaného tvaru a priemeru v treťom kroku (obr. 35).



Obr. 33 Prvý krok [39]



Obr. 34 Druhý krok [39]



Obr. 35 Tretí krok [39]

### 2.3.3 Kováčsky zvar [4], [28], [36], [37]

Ide o proces spojenia dvoch kusov materiálu pomocou ohrevu na vysokú teplotu a následnom vyvolaní plastickej deformácie zvaranej oblasti pôsobením tlaku. Patrí k najstarším technológiám zvarania, dodnes je používaná pri malosériovej výrobe.

Kováčsky zvar sa radí medzi difúzne technológie. Teplota spájaných materiálov je nižšia ako ich teplota tavenia, dochádza k ohrevu väčšej, prípadne celej časti, čo má za následok zníženie napätí v materiáli. Nie je využívaný prídavný materiál, spoj nastáva priamo na rozhraní. Na tomto však dochádza k vzniku problémov z dôvodov oxidácie vonkajšej vrstvy ocelí, teda tvorby okují. Ich teplota zvaru je v porovnaní s oceľami vyššia, takže vytvárajú bariéru medzi povrchmi a zabraňujú ich spojeniu. Riešením tohto problému je použitie tavidla. Jedná sa napríklad o kremičitý piesok alebo borax. Ich úlohou je očistenie povrchu od oxidov kovu a jeho ochrana. Teplota tavenia týchto látok je nižšia ako teplota tavenia železných kovov, pri kontakte s ohriatym materiálom prechádzajú do kvapalného skupenstva, pričom pokrývajú povrch kovu ochrannou vrstvou. Výhodou je tiež zatekanie tavidla do medzier v materiáli po roztavení. Pri následnom tvárnení z týchto vyteká v podobe strusky.

Zvárané plochy výkovkov sú upravované do tvarov podľa umiestnenia a nárokov na materiál v danom mieste. Možno zvärať “natupo“, teda spojením dvoch plôch kolmých k ose výkovku. Týmto nedosiahneme najvyššiu možnú plochu spoja a ten teda nie je veľmi pevný. Ďalšími možnosťami je spoj šikmých (obr. 36), alebo zahrotených plôch. Pri šikmých dochádza k spojeniu na väčšej oblasti, ktorú je možné dodatočne zväčšovať pridaním “zubov“. U zahrotených je jeden kus materiálu vkladáný do výrezu v druhom. Výhodou sú pevnejšie spoje, nevýhodou je potreba upraviť toto miesto po zvare, vzhľadom na lokálne zväčšenie prierezu.

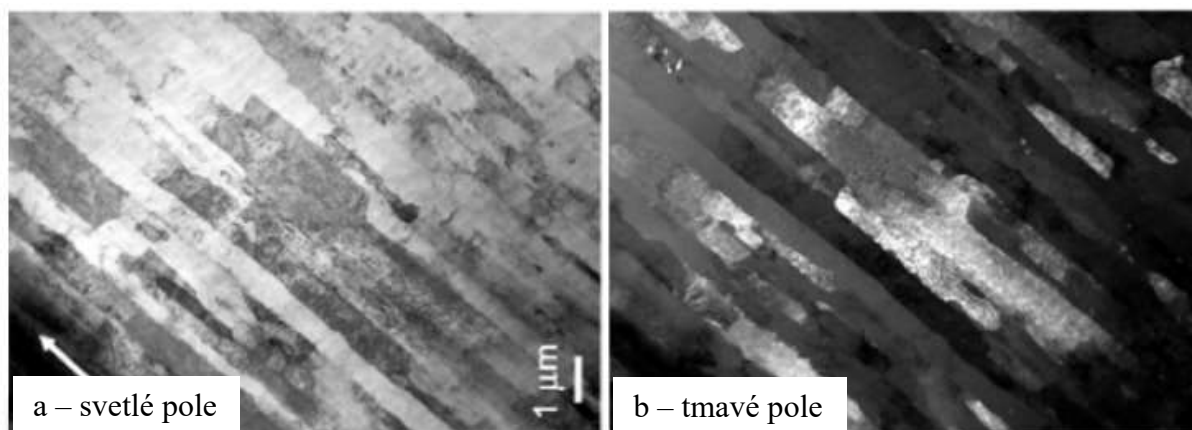


Obr. 36 Kováčsky zvar [4]

### 3 METALOGRAFIA [6], [40], [41], [42], [43]

Metalografia je vedný obor zaoberajúci sa štruktúrou a vnútornou stavbou kovov, zliatin aj neželezných kovov. Hlavným cieľom je zviditeľnenie a následná štúdia štruktúry aj s využitím prístrojov. Vďaka tomu je možné hľadať vady a porušenia vzniknuté v materiáli a ich príčiny, pri výrobe a spracovaní materiálu sledovať a kontrolovať jeho vlastnosti a zisťovať súvis medzi zistenou štruktúrou a vlastnosťami.

Pri priamom pozorovaní vzorky možno rozdeliť metalografiu v závislosti na využitom elektromagnetickom žiarení. Najčastejšie sa jedná o viditeľné svetlo, čím sa vyznačuje svetelná mikroskopia. Tá využíva ako základné vybavenie svetelný mikroskop. Jedná sa so sústavu šošoviek usporiadaných v takom zmysle, aby bolo dosiahnuté požadované zväčšenie a ďalšie faktory. Pri pozorovaní nastáva problém nepriehľadnosti kovov a zliatin, je teda využívaný režim odrazu. Existujú dva režimy nazývané svetlé a tmavé pole. Svetlé pole (obr. 37a) využíva kolmé alebo šikmé osvetlenie vzorky, vďaka čomu sa šikmé plochy na skúmanom povrchu javia ako tmavé, zatiaľ čo rovné plochy sú svetlé. Tmavé pole (obr. 37b) je založené na šikmom osvetlení vzorky pomocou externého zdroja svetla a zrkadla. Svetlo je ním odrážané na parabolický kondenzor, ktorý usmerňuje svetelné lúče. Na skúmanom povrchu sa odrážajú od šikmých plôch do objektívu, čím vznikajú svetlé miesta a od rovných plôch mimo, čo spôsobí vznik tmavých miest.



Obr. 37 Svetelná mikroskopia [42]

Mimo použitia obyčajného viditeľného svetla je možné využiť polarizované svetlo. Táto metóda prináša výhody pri monofázových štruktúrach, kedy dochádza k výraznému zvýšeniu kontrastu jednotlivých zŕn. Vo vzorke sú jednotlivé zrná a ich kryštalické mriežky orientované do mnohých smerov, vplyvom čoho dochádza k rozdielom sfarbenia, prípadne intenzity odrazeného svetla.

Ďalším možným spôsobom rozdelenia je z hľadiska použitého zväčšenia na makroskopické a mikroskopické pozorovanie. Makroskopické pozorovanie je uvažované do asi 20 násobného zväčšenia, avšak presná hranica nie je určená a závisí na veľkosti a type pozorovanej vzorky. Skúmanie je prevádzané samotným okom, prípadne s použitím lupy a vykonáva sa na upravenej ploche vzorky. Mikroskopické pozorovanie prináša detaily o štruktúre na úrovni kryštalických zŕn k čomu sú využívané mikroskopy, ktoré môžu byť vybavené kamerovým systémom pre priamu analýzu obrazu (obr. 38).



Obr. 38 Mikroskop [43]

### 3.1 Výbrus [6], [40], [41], [43], [44]

Jedná sa o sled operácií pri príprave metalografických vzoriek, ktoré podliehajú svojim pravidlám. Tie zaisťujú, aby nedošlo k zmene, či ovplyvneniu skúmanej štruktúry. Celý postup sa skladá z niekoľkých naväzujúcich operácií:

- Odber vzorky – je vykonaný na mieste, ktoré je potrebné správne zvolit' vzhľadom na objektivitu posúdenia štruktúry, ktorú musí plne charakterizovať. Pri odbere je dôležité dodržanie niekoľkých zásad. Nesmie byť spôsobená zmena štruktúry, rovnako nesmie dôjsť k zahriatiu na teplotu fázových premien. Pri tvárnených výrobkoch je rešpektovaný smer vlákien materiálu. Podľa cieľa skúmania je rovina rezu orientovaná kolmo alebo rovnobežne, prípadne do miest s predpokladaným výskytom porúch. Pri mäkkých materiáloch sú vzorky odrezávané, alebo odfrézované, pri tvrdých materiáloch sú odlamované, či rezané pomocou rozbrusovacích píl (obr. 39), ktoré využívajú kotúče s rôznymi reznými prostriedkami ( $Al_2O_3$ , SiC, diamant). Rezná komora je uzatvárateľná vzhľadom na využitie chladiacich kvapalín. Po odbere vzorky je dôležité jej označenie, čo sa niekedy radí ako samostatná operácia. Tento krok je významný v prípade prípravy väčšieho množstva, napríklad pri automatizovanom procese.



Obr. 39 Rozbrusovacia píla [43]

- Preparácia vzorky – je podstatná pre pohodlné uchopenie pri nasledujúcich operáciách. Využívajú sa procesy prebiehajúce za studena a za tepla. Preparácia za studena sa využíva v prípade materiálov náchylných na zmenu štruktúry pri zvýšení teploty. Vzorka sa umiestňuje do špeciálnej nádoby a je zaliata samotuhnúcou kvapalinou (dentakryl, epoxid). Preparácia za tepla je vhodná pri vzorkách, kde zvýšená teplota neovplyvní štruktúru. Proces prebieha vo vyhrievaných metalografických lisoch (obr. 40), kde je skúmaná vzorka uložená a následne zasypaná polymérovým práškom. Tento za pôsobenia teploty a tlaku tvrdne. Výhodou využitia preparácie za tepla je priehľadnosť, možnosť voľby tvrdosti, prípadné vystuženie a najmä rýchlejšie vytvrdnutie.



Obr. 40 Metalografický lis [43]

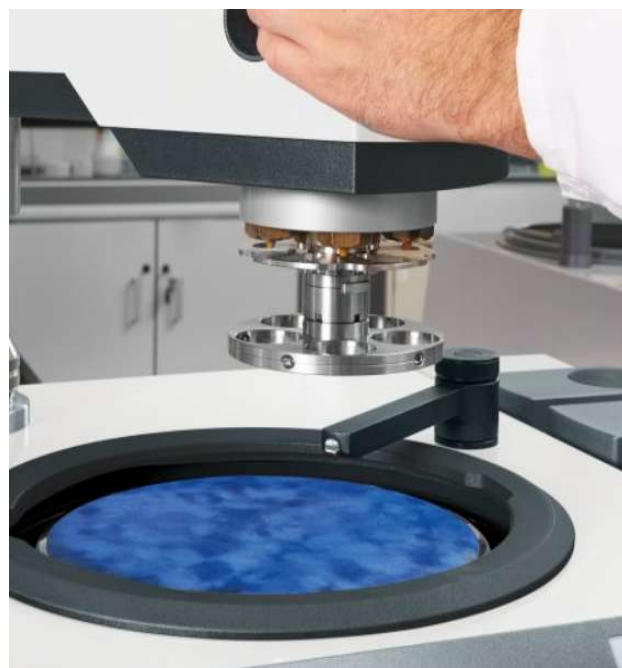


- Brúsenie – dochádza k výraznému odoberaniu materiálu z povrchu. Správne vybrúsená vzorka má rovnomernú drsnosť a povrchová nerovnosť je minimálna. Zároveň je povrch dokonale rovný a nesmie dôjsť k zmene štruktúry. Dochádza k vzniku plastickej zdeformovanej vrstvy, nazývanej Beilbyho. Pri brúsení zároveň dochádza k vzniku tepla, čím vzniká riziko tvorby tepelne ovplyvnenej oblasti. Pre zamedzenie sa využíva brúsenie za mokra, kedy je na brúsny kotúč neustále privádzaná voda, čím sú z neho zároveň odplavované zrná brusiva a častice vzorky. Celý proces brúsenia začína hrubým brúsením, postupne sa zvyšuje zrnitosť brusiva a dosahuje sa jemnejšieho výbrusu. Ako brusivo sú často využívané karbidy kremíku (najčastejšie), bóru a korund. Brúsenie môže prebiehať ručne, mechanicky, poloautomaticky a automaticky, pričom pri ručných a mechanických brúskach nedochádza v procese k otáčaniu vzorky, preto musí byť pri prechode na vyššiu zrnitosť otočená o 90° a brúsenie prebieha do zmiznutia stôp po predchádzajúcom kroku. Pri automatických (obr. 41) brúskach je vzorka otáčaná.



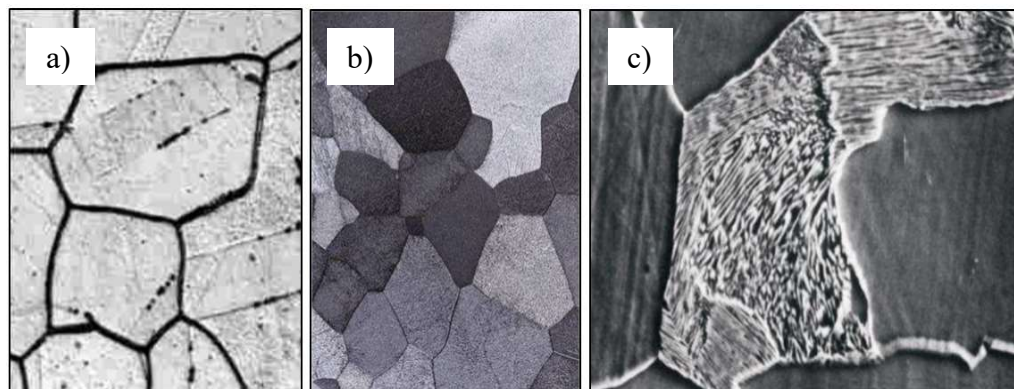
Obr. 41 Automatická brúska [43]

- Leštenie – sa vykonáva s cieľom dosiahnutia ideálneho povrchu vzorky, ktorý nebude obsahovať ryhy po brúsení. Nedochádza k odoberaniu materiálu z povrchu, ale zarovnáva sa reliéf použitím leštiacich prípravkov. Vplyvom toho zároveň dochádza k zmenšeniu hrúbky Beilbyho vrstvy. Medzi základné prípravky patria diamantové pasty a spreje. Tie sú nanášané na rotujúce kotúče, pričom sú zmáčané produktami na vodnej, olejovej alebo alkoholovej báze. Leštenie, rovnako ako brúsenie, je možné vykonávať ručne a mechanicky alebo na automatických brúskach s leštiacimi kotúčmi (obr. 42). Sú vyrábané zo súkna, ktorého tvrdosť závisí od leštenej vzorky, v prípade, že sa jedná o tvrdý materiál (alebo sa vo štruktúre nachádzajú tvrdé aj mäkké častice) je využívané tvrdšie súkno. Naopak potom pri mäkkých vzorkách. Výhodami využitia automatickej prípravy je schopnosť dosiahnuť rovnakej kvality pri veľkom množstve vzoriek vďaka možnostiam nastavenia presných hodnôt prítláčnych síl, dávkovania zmáčadla a rýchlosti otáčok. Ďalšími spôsobmi leštenia je elektrolytické a chemické.



Obr. 42 Leštiaci kotúč [43]

- Leptanie – je finálnym krokom metalografického výbrusu, zároveň však najcitlivejším. Dochádza k zviditeľneniu štruktúry a odstráneniu Beilbyho vrstvy. Je možné leptať chemicky, elektrolyticky a tepelne. Chemickým leptaním dochádza k vzniku povrchového reliéfu zapríčinenému rozdielnou rozpúšťaciu schopnosťou častí štruktúry, alebo k vzniku chemických spodín pri reakcii s jednotlivými zložkami. Medzi základné spôsoby leptania patria:
  - Na hranice zrna (obr. 43a) – sa používa pre väčšinu materiálov, predovšetkým pri tuhých roztokoch. K leptaniu dochádza v oblastiach hraníc zŕn, ktoré sú leptadlom viacej napádané, výsledkom čoho je zviditeľnenie jednotlivých zŕn. Vďaka tomu je možné skúmať ich veľkosti a tvar, nedochádza však k ich farebnému rozlíšeniu v závislosti na orientácii, alebo rozdielnej fáze.
  - Plošné (obr. 43b) – je využívané pre rozlíšenie jednotlivých zŕn pomocou reliéfu, ktorý vzniká na povrchu v dôsledku rôznej leptateľnosti zŕn. K tej dochádza z dôvodu ich odlišných kryštalografických orientácií, výsledkom je vznik rôznych hladín na pôvodnej leštenej rovinnej ploche. Pri skúmaní svetelným mikroskopom sa na takomto povrchu svetelné lúče po dopade odrážajú do objektívu mikroskopu s rôznou intenzitou, čo sa prejaví zmenou svetlosti jednotlivých zŕn.
  - Selektívne (obr. 43c) – jedná sa plošné leptanie využívané pri heterogénnych zliatinách. Na povrchu vzniká reliéf v dôsledku rozdielnej odolnosti jednotlivých fáz voči leptacej chemikálii. Príkladom je lamelárna štruktúra perlitu, tvoreného feritom a cementitom, ktorý odoláva pôsobeniu leptadla. To rozpúšťa ferit, vzniká výškový rozdiel medzi jednotlivými lamelami, čo spôsobí zviditeľnenie štruktúry. Iné leptadlá môžu vytvárať oxidačné vrstvy, na ktorých pri pozorovaní dochádza k interferencii svetla, čo sa prejaví ako rôzne zafarbenie v danej oblasti.



Obr. 43 Ukážky výsledkov leptania [44]

## 4 PRAKTICKÁ ČASŤ [45]

Praktická časť práce je zameraná na výrobu damaškovej ocele voľným kovaním. Budú vykované dva výkovky. Zvolená bola jedna nízkouhlíková oceľ s vyšším obsahom niklu, vďaka čomu by sa vo výslednej kresbe mala javiť ako svetlá. Bola kombinovaná s dvoma vysokouhlíkovými oceľami s rôznymi legujúcimi prvkami. Voľba materiálov bola ovplyvnená ich dostupnosťou u dodávateľov, cenou a tiež odporúčaniami prakticky skúsenejších kováčov.

V prvom výkovku bola zvolená kombinácia ocelí 15n20 a 80CrV2, pre druhý výkovok boli zvolené oceli 15n20 a 1095. Chemické zloženie zvolených materiálov je uvedené v tabuľke 1, značenie je prevzaté od dodávateľov.

Tab. 1 Chemické zloženie zvolených materiálov [45]

Prvok	Materiál		
[hm. %]	15n20	80CrV2	1095
C	0,75	0,85	1,03
Ni	2	0,4	-
Mn	0,4	0,5	0,5
Si	0,3	0,3	-
Cr	-	0,6	-
V	-	0,25	-

### 4.1 Príprava paketu [46]

Výroba výkovkov začala prípravou paketov a voľbou ich rozmerov. Tie sa riadili rozmermi a množstvom dostupného polotovaru, ktorý bol vo forme valcovaných plechov (obr. 44) s rôznymi rozmermi (tab. 2). Podľa informácií od dodávateľov neboli tepelne upravované.

Tab. 2 Rozmery polotovaru

Rozmery	15n20	80CrV2	1095
Dĺžka [mm]	500	720	500
Šírka [mm]	40	50	40
Hrúbka [mm]	3	4,5	3,5

Zvolené veľkosti paketov boli nasledovné:

- Výkovok 1 – rozmery 40 x 50 mm.
- Výkovok 2 – rozmery 40 x 100 mm.

Delenie polotovaru prebiehalo technológiou strihania, vplyvom čoho nedošlo k strate materiálu. Strih bol prevedený na tabuľových nožniciach NTE 3150/6,3 od firmy Strojárne Piesok (obr. 45). Po strihaní zostával na jednej strane otrep, ktorého bolo potrebné sa zbaviť v ďalších krokoch.



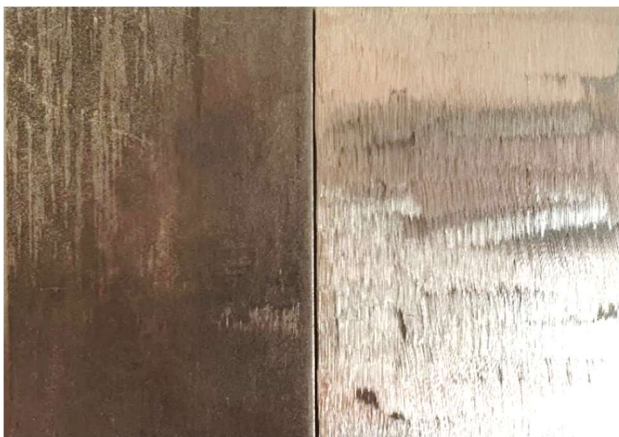
Obr. 44 Polotovary



Obr. 45 Tabuľové nožnice NTE 3150/6,3

V ďalšom kroku boli nastrihané kusy plechu očistené od povrchových úprav od dodávateľa a nečistôt uhlovou brúskou od firmy Bosch s lamelovým brúsnym kotúčom na kov. Zároveň bol odstránený otrep po predchádzajúcom delení. Využitie tohto spôsobu očistenia povrchu nie je najideálnejšie z dôvodu vzniku vlnitosti. Tá v ďalších krokoch tvorí miesta, v ktorých môže dochádzať k nepriaznivým vplyvom pri kováčskom zvaru, ako napríklad zakovanie tavidla. Vhodnejším spôsobom by bolo využitie pásovej brúsky, ktorá brúsi povrch na celej ploche, čím sa zamedzuje vzniku vlnitosti. Na obrázku 46 je znázornený detail polotovaru pred očistením (naľavo) a po ňom (napravo), kde je jasne vidieť vlnitosť po brúsení lamelovým kotúčom.

Po očistení povrchu plechových kusov nasledovalo ich striedavé skladanie za seba. V tomto kroku došlo tiež k voľbe počiatočného počtu vrstiev v damaškovej oceli. Pre výkovok jedna bolo zvolených 7 vrstiev, pre výkovok dva 10 vrstiev. Na obrázku 47 sú znázornené kusy naskladané striedavo za seba uchytené vo zveráku.



Obr. 46 Plocha polotovaru pred a po brúsení

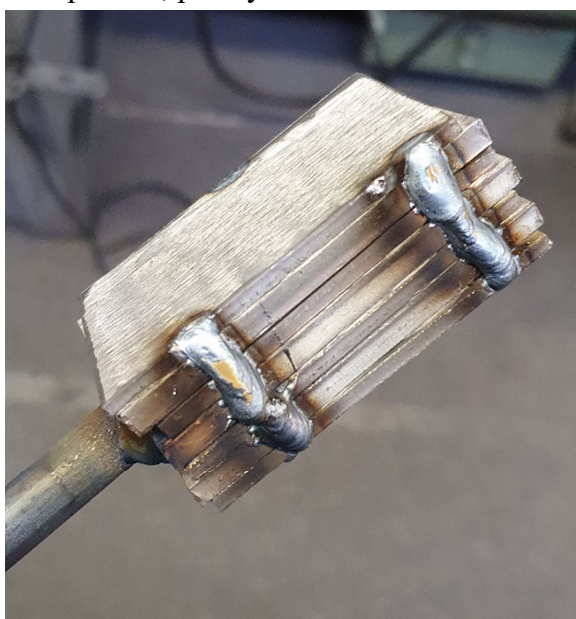


Obr. 47 Uloženie paketu č.1

Takto uložené kúsky boli následne zvarené. Najvhodnejšou metódou pre túto operáciu je metóda TIG bez prídavného materiálu, ktorá však nebola dostupná, preto bola využitá metóda MAG so skratovým prenosom materiálu. Využitý bol zvárací systém TransSteel od firmy Fronius (obr. 48) s automatickým dávkovaním prídavného materiálu. Vzhľadom k jeho prítomnosti bolo prispôbené umiestnenie zvarov. Na oboch paketoch bolo rovnaké, 2 zvary na koncoch na jednej strane, druhou prechádzal jeden zvar stredom. Následne bola na jeden z koncov privarená tyč pre lepšiu manipuláciu, pakety sú zobrazené na obrázkoch 49 a 50.



Obr. 48 Fronius TransSteel [46]



Obr. 49 Paket č.1



Obr. 50 Paket č.2

## 4.2 Kovanie vzoriek

Pripravené pakety boli následne ohrievané vo vyhni (obr. 51), ako palivo bolo použité uhlie. Počas ohrevu boli pri teplote zhruba 750 °C posypané tavidlom, zvolený bol borax (tetraboritan sodný). K jej určaniu bola využitá farebná schéma, podľa ktorej teplota odpovedá čerešňovej farbe. Posypaním materiálu došlo k roztaveniu boraxu a jeho zatečeniu do priestorov medzi kúskami plechu. Vznikla teda ochranná vrstva na povrchu a v miestach, kde bol požadovaný vznik kováčskeho zvaru. Následne boli pakety ďalej ohrievané na teplotu 1200 – 1300 °C, ktorej odpovedá svetložltá až biela farba výkovku. Zároveň bolo potrebné kontrolovať pakety vo vyhni, aby nedošlo k ich roztaveniu alebo prepalu.



Obr. 51 Vyheň na uhlie

Po dosiahnutí požadovanej teploty boli oba výkovky kované podobným spôsobom. Pri prvom ohreve bolo cieľom vytvorenie kováčskeho zvaru, k čomu bol použitý buchar (pri výkovku 1). Jeho využitie sa ukázalo ako nevýhodné, pri práci došlo k oddeleniu vonkajších vrstiev paketu. Dôvodom vzniku problému bola vzdialenosť bucharu a vyhne, ktorú bolo potrebné prekonať, počas čoho dochádzalo k ochladeniu vonkajších vrstiev. Na nich nedošlo k spojeniu so zvyškom, ktorý si zachoval vyššiu teplotu a zvar bol úspešný. Riešením problému bolo využitie ručného kovania, keďže vzdialenosť, ktorú bolo potrebné prekonať, bola výrazne menšia. Tento spôsob bol úspešne použitý pri druhom ohreve prvého, a pri zvarení druhého výkovku. Počas ďalších ohrevov boli výkovky predlžované na zhruba dvojnásobok svojej dĺžky, táto operácia už prebiehala na buchare. Nasledovalo prekladanie materiálu, ktoré slúži na zvýšenie počtu vrstiev damaškovej oceli. Bolo zvolené prekladanie za tepla (obr. 52), pri ktorom nedochádza k úplnému rozdeleniu výkovku, prevedené bolo jedenkrát. Počet vrstiev sa zdvojnásobuje, v reálnej výrobe je proces opakovaný niekoľko krát, pre dosiahnutie ich požadovaného počtu (často stovky až tisíce). Jedno preloženie bolo zvolené pre otestovanie procesu a pre jednoduchšie skúmanie výsledku. Prvým krokom je vytvorenie zahĺbenia po celej šírke, k čomu bola použitá utínka. Následne je povrch z opačnej strany očistený od okují, posypaný tavidlom a obe "polovice" materiálu sú spojené k sebe. Ďalším kovaním, ktoré opäť prebiehalo ručne (obr. 53), dochádza k ich zvareniu. Následne bol výkovok opätovne predlžovaný na buchare (obr. 54), jeho orientácia nebola pozmenená v prípade výkovku 1 a výsledná kresba v ose výkovku by mala byť tvorená "vodorovnými" vrstvami. Pri finálnom predlžovaní bol výkovok 2 pootočený o 45°, výsledkom čoho by mala byť odlišná kresba. Počas kováčskeho zvaru dochádzalo k prudkému vymršteniu roztavených okují a tavidla z priestorov medzi vrstvami paketov.



Obr. 52 Výkovok pri preložení



Obr. 53 Ručné kovanie na kovádlíne



Obr. 54 Kovanie na buchare CFA-80

Pre prípravu výbrusov boli oba pakety vykované do podoby jednoduchých hranatých tyčí, sú zobrazené na obrázkoch 55 a 56.



Obr. 55 Výkovok 1



Obr. 56 Výkovok 2

Výkovky boli po schladnutí odovzdané do metalurgickej dielne, kde bol z oboch koncov odobraný materiál pre prípravu vzoriek. Bola skúmaná plocha rezu kolmá k osi výkovkov. Na výbruse výkovku 1 (obr. 57) možno vidieť smer vrstiev, ktorý je takmer vodorovný v celom priereze, naopak pri výbruse druhého (obr. 58) sú orientované rôzne. Ich orientácia vznikla práve pootočením výkovku pri predlžovaní.



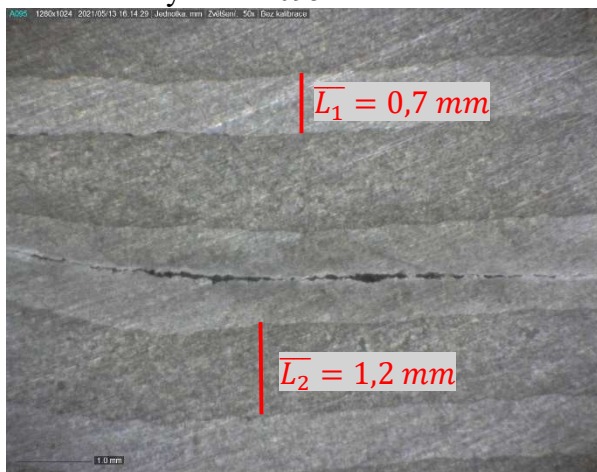
Obr. 57 Výbrus výkovku 1



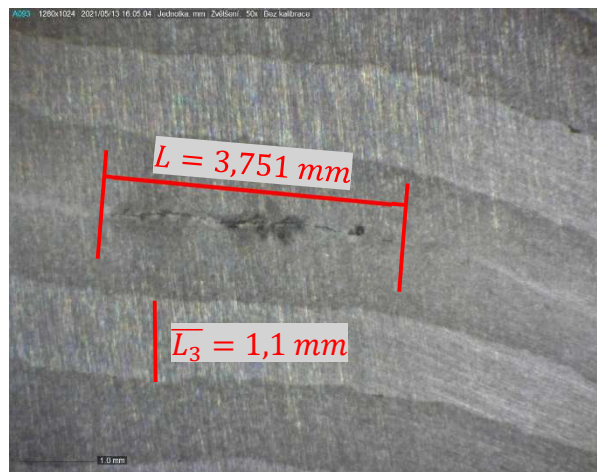
Obr. 58 Výbrus výkovku 2

Na výbrusoch oboch výkovkov je vidieť vzniknuté poruchy v stredných častiach. Vznikli nedokonalým spojením pri prekladaní, jednou z možností vzniku je prítomnosť okují na povrchu, druhou zakovanie tavidla. Bližšie pohľady na poruchy sú zobrazené na obrázkoch 59 a 60, na ktorých sú taktiež vyznačené priemerné hrúbky jednotlivých vrstiev. Mimo porúch v strede nedošlo k vzniku výrazných porúch v zbytku prierezu, i keď v niektorých miestach boli objavené dutinky a praskliny malých rozmerov. Ich vznik mohol byť spôsobený vplyvom vzniknutej vlnitosti povrchu po jeho brúsení. V priestoroch medzi jednotlivými výstupkami vzniká väčšie riziko zakovania tavidla.

Na detailoch je možné vidieť rozsah trhlín v oblastiach preloženia materiálu. Pri výkovku 1 trhlina siahala cez celú šírku materiálu, pri výkovku 2 bola jej dĺžka v mieste odberu 3,751 mm. Hrúbky vrstiev sa pri tvárnení menili nerovnomerne, vo výkovku 1 došlo priemerne k stenčeniu vrstiev o 77 % (ocel' 15n20) a 73 % (ocel' 80CrV2), v druhom potom o 63 % (ocel' 15n20), hrúbka vrstvy oceli 1095 nebola nameraná.



Obr. 59 Detail výbrusu výkovku 1



Obr. 60 Detail výbrusu výkovku 2

### 4.3 Kovanie noža

K výrobe noža bol zvolený zvyšok výkovku 2 z dôvodu väčšieho počtu vrstiev a objemu. V prvom kroku k nemu bola opäť privarená rúčka pre lepšie manipulovanie, následne bol zahrievaný a kovaný na buchare. Bol použitý postup stlačovania materiálu pre získanie potrebnej šírky na úkor výšky. Vrstvy boli pri tvárnení orientované v smere pôsobenia sily, takže v mieste preloženia vznikala šmyková sila, ktorá ďalej rozširovala a namáhala trhlinu v materiáli. Výsledkom bol vznik porušenia na konci výkovku (obr. 61), kde došlo k oddeleniu prekladaných vrstiev. Táto časť bola použitá ako rukoväť. Po vykovaní hrubého tvaru bolo pri ďalších operáciách s výkovkom manipulované kliešťami.



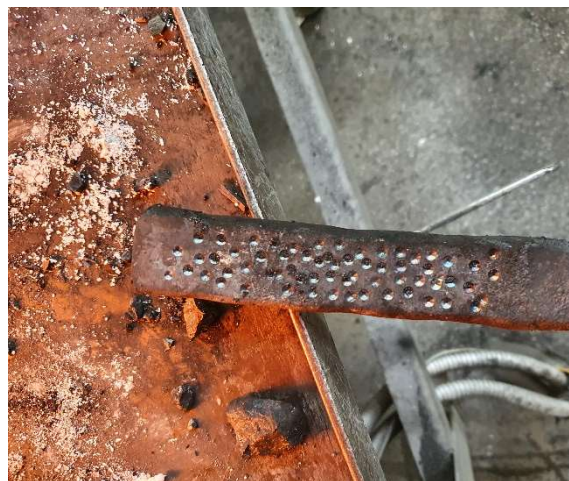
Obr. 61 Porušenie po stlačovaní



Po vykovaní do hrúbky cca 10 mm boli na plochách vytvorené zahĺbenia, k čomu bola použitá stojanová vŕtačka (obr. 62). Ich umiestnenie a hĺbka neboli pevne stanovené, ako je možné vidieť na obrázku 63. Tento krok bol prevedený za účelom ozvláštnenia výslednej kresby noža.



Obr. 62 Vŕtanie zahĺbení



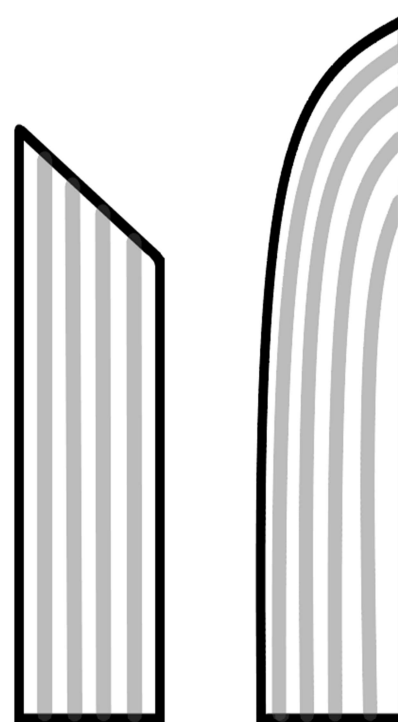
Obr. 63 Plocha po vŕtaní

Opätovným kovaním na buchare boli zahĺbenia vyrovnané a v ďalších krokoch bol vytváraný základný profil noža. Postup práce pozostával z krokov:

- Tvorba špičky – začala oddelením prednej časti výkovku (obr. 64), kde počas ohrevov došlo k miernemu prepalu. Oddelenie prebehlo pomocou utínky, pod uhlom zhruba  $80^\circ$  k osi. Následne bola kovaná podľa princípu zobrazenom na obrázku 65 pre zachovanie smeru vlákien v celej dĺžke čepele. Po dokovaní (obr. 66) presahovala za úroveň chrbta, tento presah bude odstránený v ďalších krokoch.



Obr. 64 Oddelenie špičky



Obr. 65 Princíp kovania špičky



Obr. 66 Špička noža po dokovaní

- Tvorba rukoväte – pozostávala z viacerých krokov, v prvom bolo vytvorené osadenie (obr. 67) v mieste prechodu čepele do rukoväte. Osadenie bolo vytvorené sedlíkom bez násady, uchytenom v kovadline.



Obr. 67 Vytvorenie osadenia

Následne bolo osadenie rozšírené kovaním na buchare, čím sa rukoväť predĺžila do finálnej podoby, vid' obr. 68.



Obr. 68 Dokovaná rukoväť

- Kovanie hrán čepele – prebiehalo ručne, cieľom mimo tvorby základného profilu bolo rozšírenie tela noža. Princíp spočíval v miernom naklonení čepele voči kovadline a udieraní kladivom na jej hranu s rovnakým náklonom. Týmto spôsobom dochádza v materiáli k stlačovaniu a je menej náchylný na vznik porušení. Kovať sa začalo od špičky, na obrázku 69 je vidieť jej podstatné rozšírenie oproti zvyšku tela. Postupne boli hrany vytvorené v celej dĺžke, počas čoho došlo k miernemu prehnutiu tela. Týmto krokom bolo kovanie noža ukončené (obr. 70).



Obr. 69 Hrana na špičke noža



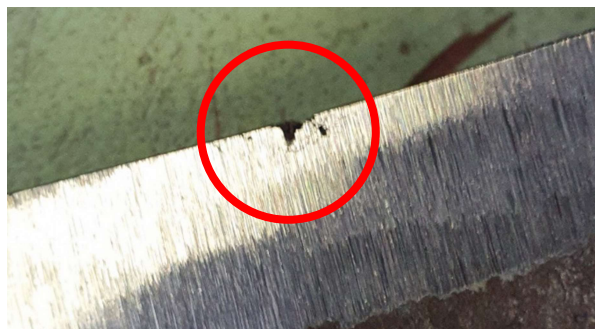
Obr. 70 Telo noža po kovaní

#### 4.4 Tepelné spracovanie

Z dôvodu nedostatku času nebola tepelnému spracovaniu venovaná prílišná pozornosť. Dokovaný nôž bol vložený do elektrickej odporovej pece predhriatej na teplotu 700 °C, v ktorej bol ponechaný po dobu 1 hodiny. Následne bol kalený vo vode. Presun z pece do vody musel byť čo najrýchlejší, z dôvodu rýchleho ochladzovania čepele vplyvom veľkej stykovej plochy so vzduchom. Po ponorení do vody bol potrebný neustály pohyb, aby sa zabránilo vzniku parných bublín, ktoré tvoria riziko popálenia a taktiež znižujú rýchlosť ochladenia v mieste ich výskytu. Po kalení bol vložený do druhej pece, ktorej teplota bola 200 °C na čas 40 minút. Tu dochádzalo k popúšťaniu materiálu. Po vybratí z pece nôž chladol na vzduchu do izbovej teploty.

#### 4.5 Brúsenie

Bolo prevedené brúsenie hrubej štruktúry noža a jeho tela do požadovaného tvaru. Použitá bola kotúčová brúska s kameninovým brúsnym kotúčom z karbidu kremíku a zrnitosťou K80. Najskôr bola zbrúsená vrstva okují z chrbta noža, pričom bola tiež odstránená vyvýšená časť špičky noža. Následne boli brúsené hrany čepele z oboch strán rovnomerne, pričom bol uhol ostria postupne znižovaný. V priebehu bola na čepeli objavená chyba (obr. 71), kedy v danom mieste došlo k prepalu materiálu. Pre jej odstránenie bola oblasť vybrúsená, čím došlo k miernej zmene geometrie čepele.



Obr. 71 Oblasť prepalu materiálu na čepeli

Po dokončení brúsenia čepele noža (obr. 72) bola brúsená rovná časť tela. K tomuto bola využitá uhlová brúska s lamelovým brúsnym kotúčom so zrnitosťou K40. Počas oboch operácií bolo potrebné celé telo neustále chladit' vo vode, aby nedošlo k prílišnému zahriatiu materiálu, čo by narušilo tepelné spracovanie.

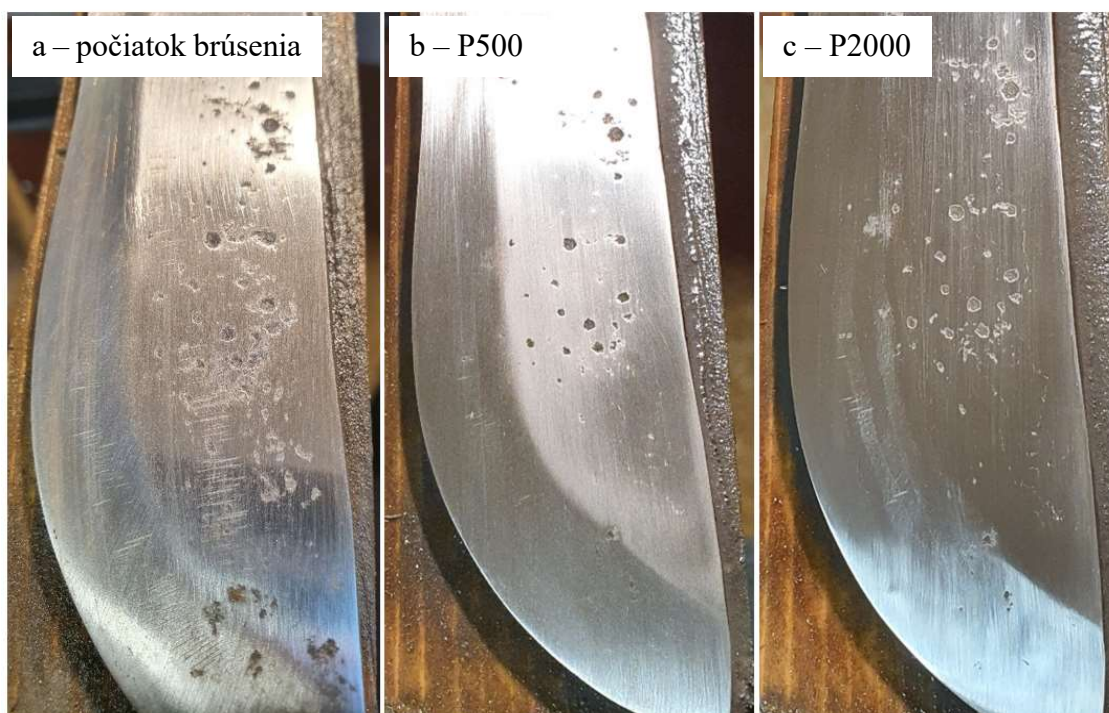


Obr. 72 Nôž po brúsení čepele

Následne bol nôž brúsený ručne (obr. 73) za použitia brúsnych papierov. Ich zrnitosti boli P120, P240, P500, P800, P1200, P2000. Najmenšia zrnitosť bola využitá na vyrovnanie plôch na čepeli a k zbaveniu sa stôp po kovaní na rovnej ploche tela. Ich hĺbka bola pomerne veľká, vzhľadom k obmedzeniu prístupu na fakultu z dôvodu ochorenia COVID-19 neboli odstránené úplne. Počas práce bola na čepeli objavená ďalšia chyba, tentokrát sa jednalo o prasklinu siahajúcu z rukoväte. Tá bola viditeľná do vzdialenosti cca 3 cm od prechodu rukoväte do čepele. Po úprave plôch papierom P120 bol nôž ďalej brúsený s postupne zvyšujúcou sa zrnitosťou, jej zmena bola vykonaná až po úplnom zbavení povrchu stôp po predchádzajúcom brúsení. Vzhľad tela počas brúsenia je zobrazený na obrázku 74.



Obr. 73 Ručné brúsenie



Obr. 74 Vzhľad povrchu počas brúsenia

## 4.6 Leptanie

Po vybrúsení bol povrch ošetrený olejom pre zamedzenie korózie. Prvým krokom pri leptaní bolo odmastenie, k čomu bol použitý Acetón ( $C_3H_6O$ ). Následne bol povrch leptaný pomocou roztoku 10 % Nitalu (10 %  $HNO_3$  + lieh) po dobu 1 minúty. Oceľ s vyšším obsahom niklu (15n20) sa po procese javila svetlejšia ako oceľ bez neho (1095), ktorá bola vyleptaná do väčšej hĺbky.

V oblasti pri špičke noža je vidieť vplyv zahĺbení vyvítaných v procese kovania, vďaka čomu vznikla v tejto oblasti zaujímavejšia kresba (obr. 75). Na obrázku 76 vidieť priebeh vrstiev po celej dĺžke noža, kopírujúcej jeho geometriu. Na ploche je možné vidieť miesta, kde nebola dostatočne zbrúsená oduhlíčená vrstva materiálu, v ktorých nedošlo k zvýrazneniu kresby. Oblasť prechodu čepele do rukoväte nebola dostatočne odmastená, vplyvom čoho tu nebolo leptanie úspešné.

Pri bližšom pohľade na telo noža boli odhalené ďalšie porušenia. V mieste prepalu došlo k hlbšiemu poškodeniu materiálu, ako bolo predpokladané, čo počas brúsenia nebolo viditeľné. Navyše v časti špičky pokračuje trhlinka v materiáli, ktorá siaha od rukoväte. Je pravdepodobné, že k nedokonalému zvaru teda došlo v celej dĺžke výkovku.



Obr. 75 Špička noža po leptaní



Obr. 76 Telo noža po leptaní

## 5 ZÁVERY

Bakalárska práca bola zameraná na teoretickú a praktickú časť technológie výroby damaškovej ocele. Z uvedených metód výroby bola zvolená výroba voľným kovaním. Boli vypracované technológie k jednotlivým krokom a dejom, ku ktorým dochádza v procese výroby. Jednalo sa o voľbu materiálu a jeho vlastností, spôsoby ohrevu, tvárnenie pomocou strojov a ručne. Následne bol opísaný postup prípravy metalografických vzoriek zameraný na svetelnú mikroskopiu.

V praktickej časti došlo k výrobe dvoj výkovkov damaškovej ocele. Odlišovali sa zvolenou kombináciou materiálov a počtom ich vrstiev, tiež ich rozmermi. Výkovok 1 sa skladal z kombinácie ocelí 15n20 a 80CrV2 v celkovom počte 7 vrstiev, vo výkovku 2 bola spojená oceľ 15n20 a 1095, počet vrstiev bol 10. Pri kovaní došlo k jednému preloženiu za tepla, čím sa zdvojnásobil počet vrstiev. Po dokončení boli odobraté vzorky na výbrusy, kde sa ukázalo, že kovácky zvar nebol úplne úspešný pri oboch výkovkoch, dôvodom mohol byť spôsob prípravy a tiež malé skúsenosti s výrobou.

V ďalšej časti bol zvolený druhý výkovok pre jeho väčšiu hmotnosť, z neho bol vykovaný nôž. Základný profil noža bol kovaný prevažne ručným kovaním, strojné bolo využité pre časovo a silovo náročnejšie časti výroby. Po vykovaní bolo prevedené tepelné spracovanie, po ktorom nasledovalo hrubé a jemné brúsenie. Leptaním povrchu boli odhalené jeho nedostatky v podobe nedostatočného zbrúsenia oduhličenej vrstvy a prasklín. Ich vznik je spôsobený nedokonalosťami z predchádzajúceho procesu.

## ZOZNAM POUŽITÝCH ZDROJOV [47]

1. ČECHLOVSKÝ, Stanislav a Michal ČERNÝ. *Povídání o damaškové a vrstvené oceli - část I.* [online]. In: . [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <http://www.noze-nuz.com/recenze/damasek1/damasek1.php>
2. LARRIN. *Knife Steel Nerds* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://knifesteelnerds.com/2018/07/30/five-myths-about-damascus-steel/>
3. *Crucible Steel: The Making of Crucible Steel in Antiquity* [online]. [cit. 2021-4-28]. Dostupné z: [https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap\\_a/backbone/ra\\_4\\_1.html](https://www.tf.uni-kiel.de/matwis/amat/iss/kap_a/backbone/ra_4_1.html)
4. Obrázky. *Pinterest* [online]. [cit. 2021-4-18]. Dostupné z: <https://www.pinterest.com>
5. VERHOEVEN, John D. *Pattern Formation in Wootz Damascus Steel Swords and Blades. Proceedings of Indian National Science Academy* [online]. Indian National Science Academy, 2014, 42(4) [cit. 2021-04-10]. ISSN 0370-0046. Dostupné z: <https://doaj.org/article/214e440885864f3d98c6b25e4b0c261d>
6. PTÁČEK, Luděk. *Náuka o materiálu I.* Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. ISBN 80 - 7204 - 193 - 2.
7. VERHOEVEN, John D. *Genuine Damascus steel: a type of banded microstructure in hypereutectoid steels: Volume 73, Issue 8.* 2002, , 365. Dostupné z: doi:<https://doi.org/10.1002/srin.200200221>
8. Matthew Forde: *Military Antiques* [online]. [cit. 2021-4-9]. Dostupné z: <https://www.fordemilitaryantiques.com/articles/2019/4/4/is-it-wootz>
9. DAMASTEEL AB. *Process of making Damasteel* [online]. [cit. 2021-4-10]. Dostupné z: <https://damasteel.se>
10. Svarinfo.cz: *TIG svařování I - základní principy* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>
11. Fleming Knives. *Paket pre damaškovú ocel'* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <http://www.flemingknives.com/>
12. PRIMUS, František. *Teorie objemového tváření.* 1. vyd. Praha: ČVUT, 1990. s. 250.
13. HAŠEK, Vladimír. *Kování.* 1. vyd. Praha: SNTL, 1980. 730 s. TISK. ISBN 04-233-65.
14. *Technologie objemového tváření - kování: Technologie II* [online]. Technická univerzita Liberec Fakulta strojní [cit. 2021-04-12]. Dostupné z: [http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta\\_tkp/sekce/03.htm](http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/03.htm)
15. MORAVEC, Ján. *Technológia tvárnenia kovov: vybrané statě.* Žilinská univerzita v Žiline: EDIS-vydavateľské centrum ŽU, 2016, 149 s. ISBN 978-80-554-1251-1.
16. *C\*blade: Advanced Forging and Milling Solutions* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <http://www.cblade.it/why-forging-is-better.html>
17. KREMER, Rudolf a Karel OBROUČKA. *Ohřev kovů.* Praha: SNTL, 1974, 422 s.
18. NÁPRAVNÍKOVÁ, Miroslava. *Množství a vlastnosti okují v závislosti na podmínkách válcování a chemickém složení drátů.* Ostrava, 2014. 64 s. [cit. 2021-04-14]. Dostupné z: [https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/104358/NAP0005\\_FMMI\\_N3923\\_3911T031\\_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.vsb.cz/bitstream/handle/10084/104358/NAP0005_FMMI_N3923_3911T031_2014.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství Katedra materiálového inženýrství. Vedoucí práce Petra Váňová.

19. Screenshot: *Alec Steele* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/channel/UCWizIdwZdmr43zfxlCktnNw>
20. MACHÁČKOVÁ, Adéla a Lenka MRŇKOVÁ. *Průmyslové pece: Studijní opora*. Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství VŠB - TU Ostrava, 2013, 100 s. ISBN 978-80-248-3372-9.
21. ORLÍKOVÁ, Kateřina a Petr ŠTROCH. *Chemie procesů hoření*. Ostrava: Sdružení požárního a bezpečnostního inženýrství, 1999, 87 s. ISBN 80-86111-39-3.
22. *Kovářské výhně* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://kovarskevyhne.cz/>
23. TBZ-info: *Procesy horenia a ich klasifikacia* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.tzb-info.cz/pozarni-bezpecnost-staveb/16684-procesy-horenia-a-ich-klasifikacia>
24. In: Physics Forums: *Gas Burner - Venturi Effect* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.physicsforums.com/threads/gas-burner-venturi-effect.526432/>
25. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. *Technologie tváření: Plošné a objemové tváření*. Akademické nakladatelství CERM,s.r.o. Brno, 2003, 171 s. ISBN 80-214-2340-4.
26. POKORNÝ, Přemysl. *Výrobní stroje II.: Mechanické lisy*. Technická Univerzita v Liberci, 1998. Dostupné také z: [http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní\\_stroje/tvar\\_ecei.pdf](http://www.kvs.tul.cz/download/vyrobní_stroje/tvar_ecei.pdf)
27. MARTINÁK, Josef. *Stroje na kování: buchary a lisy* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/4071658/>
28. FUCHS, Otto. *Kování a zařízení v kovárně: příručka pro provoz, konstrukci a vyučování*. Praha: Roh-Práce, 1954, 243 stran : ilustrace.
29. VARCHOLA, Michal a Kamil MADÁČ. *Tvárníace Stroje : Učebná pomôcka pre predmet Výrobná technika* [online]. Košice : [s.n.], 2004 [cit. 2021-04-17]. Dostupné z <https://www.scribd.com/document/6768161/TS>
30. STANĚK, Jiří . *Základy stavby výrobních strojů, Tvářecí stroje*. Vyd. 1. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, únor 2004. 126 s. ISBN 80-7082-738-6.
31. Hydraulický lis. In: *Pieh Tool Company: Hydraulic Press* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: [https://piehtoolco.com/contents/en-us/d1673\\_American\\_Hydraulic\\_Forging\\_Press.html](https://piehtoolco.com/contents/en-us/d1673_American_Hydraulic_Forging_Press.html)
32. ŠMERAL. *ŠMERAL: Tvářecí stroje* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.smeral.cz/cs/home/tvareci-stroje>
33. Anyang USA: *Power Hammer and Hydraulic Press* [online]. [cit. 2021-04-17]. Dostupné z: <https://www.anyangusa.net>
34. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. 1. vyd. Brno: Nakladatelství VUT v Brně, 1992. 186 s. ISBN 80- 214-0401-9.
35. ANDREWS, Jack. *New edge of the anvil: A resource book for the blacksmith*. Ilustrované. USA: Skipjack Press, 1994, 243 s. ISBN 9781879535091.
36. STOKES, John. *Agricultural engineering in development: Basic blacksmithing: a training manual*. Ilustrované. Rome: Food & Agriculture Org, 1992, 73 s. ISBN 92-ť-102738-2. Dostupné také z: <http://www.fao.org/3/ah637e/AH637E00.htm#Contents>



37. HARCOURT, Robert H. *Elementary Forge Practice. Second Edition.* Peoria, Illinois: Manual Arts Press, 1920. Dostupné také z: [http://www.bamsite.org/books/Elementary\\_Forge\\_Practice.pdf](http://www.bamsite.org/books/Elementary_Forge_Practice.pdf)
38. STEELE, Alec. *Alec Steele Company* [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://alecsteeleshop.com>
39. Screenshot: *That Works* [online]. [cit. 2021-5-9]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/channel/UCEjEAXdJLOG4k854j-oESfQ>
40. In: *Metalografie I* [online]. [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <http://ukmki.vscht.cz/files/uzel/0016736/Metalografie%20I.pdf?redirected>
41. VANDER VOORT, George. *Metallography, principles and practice.* Materials Park, Ohio: ASM International, 1999, xiv, 752 p. ISBN 08-717- 0672-5.
42. ResearchGate: *Bright and dark field* [online]. [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: [https://www.researchgate.net/figure/a-Bright-and-b-dark-field-TEM-micrographs-of-rotatory-swaged-W3-AD-material-in\\_fig1\\_319256804](https://www.researchgate.net/figure/a-Bright-and-b-dark-field-TEM-micrographs-of-rotatory-swaged-W3-AD-material-in_fig1_319256804)
43. *METALCO: Material Testing* [online]. [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz>
44. ŠEBESTOVÁ, Hana. *Základy přípravy vzorků pro optickou metalografii: Studijní text* [online]. [cit. 2021-5-8]. Dostupné z: <https://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/znm2-1.pdf>
45. ZKNIVES. *Interactive Knife Steel Composition Chart* [online]. [cit. 2021-04-10]. Dostupné z: <http://www.zknives.com/knives/steels/steelchart.php>
46. AZVARO. *Fronius TransSteel* [online]. [cit. 2021-5-19]. Dostupné z: <https://www.azvaro.sk>
47. CITACE PRO [online]. [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>

## ZOZNAM OBRÁZKOV

Obr. 1 Ukážky výrobkov z damaškovej ocele [4] .....	9
Obr. 2 Damascénska kresba [8] .....	10
Obr. 3 Ingot [4] .....	10
Obr. 4 Damasteel “Bluetongue“ [4].....	11
Obr. 5 Paket s rúčkou [11] .....	11
Obr. 6 Damašková kresba [8] .....	11
Obr. 7 Vnútna štruktúra materiálu v závislosti na technológii výroby [16].....	12
Obr. 8 Kovacie teploty [14] .....	12
Obr. 9 Farba oceli v závislosti od teploty .....	13
Obr. 10 Okuje [19].....	13
Obr. 11 Koksová vyhňa [22].....	14
Obr. 12 Venturiho efekt v horáku [24] .....	14
Obr. 13 Plynová pec [22].....	14
Obr. 14 Hydraulický lis [31].....	15
Obr. 15 Pružinový buchar [4] .....	16
Obr. 16 Hydraulický dvojčinný buchar [32].....	16
Obr. 17 Pneumatický dvojčinný buchar [33].....	16
Obr. 18 Kombinované kovadlá [4] .....	17
Obr. 19 Rovné kovadlá .....	17
Obr. 20 Modulárny systém [19].....	17
Obr. 21 Kovadlina [4].....	18
Obr. 22 Ručné kladivo [38] .....	19
Obr. 23 Prítlkacie kladivo [4] .....	19
Obr. 24 Rozšírený sedlík [4].....	19
Obr. 25 Kovácke kladivo [38].....	19
Obr. 26 Matrica [4] .....	20
Obr. 27 Sekáč a utínka [4] .....	20
Obr. 28 Priebojníky [4].....	20
Obr. 29 Žlábkár [4] .....	20
Obr. 30 Tvary čeľustí [4].....	21
Obr. 31 Stlačovanie pred a po [19] .....	21
Obr. 32 Predlžovanie [39].....	21
Obr. 33 Prvý krok [39].....	22
Obr. 34 Druhý krok [39] .....	22
Obr. 35 Tretí krok [39] .....	22
Obr. 36 Kovácky zvar [4].....	22
Obr. 37 Svetelná mikroskopia [42].....	23
Obr. 38 Mikroskop [43].....	23
Obr. 39 Rozbrusovacia píla [43].....	24
Obr. 40 Metalografický lis [43] .....	24
Obr. 41 Automatická brúska [43] .....	25
Obr. 42 Leštiaci kotúč [43] .....	25
Obr. 43 Ukážky výsledkov leptania [44].....	26
Obr. 44 Polotovár.....	27
Obr. 45 Tabuľové nožnice NTE 3150/6,3 .....	28
Obr. 46 Plocha polotovaru pred a po brúsení .....	28
Obr. 47 Uloženie paketu č.1 .....	28
Obr. 48 Fronius TransSteel8 [46] .....	29

Obr. 49 Paket č.1.....	29
Obr. 50 Paket č.2.....	29
Obr. 51 Vyheň na uhlie.....	29
Obr. 52 Výkovok pri preložení.....	30
Obr. 53 Ručné kovanie na kovadline.....	30
Obr. 54 Kovanie na buchare CFA-80.....	30
Obr. 55 Výkovok 1.....	31
Obr. 56 Výkovok 2.....	31
Obr. 57 Výbrus výkovku 1.....	31
Obr. 58 Výbrus výkovku 2.....	31
Obr. 59 Detail výbrusu výkovku 1.....	32
Obr. 60 Detail výbrusu výkovku 2.....	32
Obr. 61 Porušenie po stlačovaní.....	32
Obr. 62 Vrtanie zahĺbení.....	33
Obr. 63 Plocha po vrtaní.....	33
Obr. 64 Oddelenie špičky.....	33
Obr. 65 Princíp kovania špičky.....	33
Obr. 66 Špička noža po dokovaní.....	34
Obr. 67 Vytvorenie osadenia.....	34
Obr. 68 Dokovaná rukoväť.....	34
Obr. 69 Hrana na špičke noža.....	35
Obr. 70 Telo noža po kovaní.....	35
Obr. 71 Oblasť prepálu materiálu na čepeli.....	35
Obr. 72 Nôž po brúsení čepele.....	36
Obr. 73 Ručné brúsenie.....	36
Obr. 74 Vzhľad povrchu počas brúsenia.....	36
Obr. 75 Špička noža po leptaní.....	37
Obr. 76 Telo noža po leptaní.....	37

## ZOZNAM TABULIEK

Tab. 1 Chemické zloženie zvolených materiálov [45].....	27
Tab. 2 Rozmery polotovaru.....	27