



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING

## VÝROBA NOŽŮ A JEJICH TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

MANUFACTURE OF KNIVES AND THEIR HEAT TREATMENT

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Bukvic

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Karel Němec, Ph.D.

BRNO 2019





# Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav materiálových věd a inženýrství
Student:	<b>Tomáš Bukvic</b>
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	<b>Ing. Karel Němec, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2018/19

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 nožů a jejich tepelné zpracování

### Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Úkolem je vypracování přehledu o výrobě nožů s důrazem na materiály používané k jejich výrobě. Dále budou popsány postupy tepelného zpracování nožů a jejich vliv na výsledné vlastnosti materiálu. Závěr by měl obsahovat praktickou ukázkou výroby nože a zhodnocení jednotlivých typů materiálů a hlediska volby pro konkrétní použití nože.

### Cíle bakalářské práce:

- popis technologie výroby nožů,
- materiály vhodné pro čepelí nožů,
- tepelné zpracování čepelí nožů,
- hlediska volby materiálu nožů.

### Seznam doporučené literatury:

FREMUNT, P., KREJČÍK, J. a PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.

ASHBY, Michael. Materials selection in mechanical design. 4th ed. Amsterdam: Butterworth-Heinemann, 2011, 646 s. ISBN 978-1-85617-663-7.

FROLEC, Ivo. Kovářství. 1. vyd. Praha: Grada, 2003, 152 s. ISBN 80-247-0611-3.

BRYSON, William. Heat Treatment, Selection, and Application of Tool Steels. 2nd Edition. Hanser Publishers, 2009, 239 s., ISBN 978-1-56990-376-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

---

prof. Ing. Ivo Dlouhý, CSc.  
ředitel ústavu

---

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

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá ruční malosériovou výrobou nožů. Představuje přehled používaných nožířských ocelí a uvádí jejich charakteristiky. Pojednává o volbě geometrie ostří a materiálu pro konkrétní použití nože. Dále zasvěcuje do problematiky tepelného zpracování nožů, jež je pro jejich funkčnost absolutně nezbytné. Závěr obsahuje dokumentaci procesu výroby kuchyňského nože, který byl zhotoven pro účely této práce.

## **Klíčová slova**

Nůž, ocel, čepel, tepelné zpracování, břit.

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with manual small series production of knives. It presents an overview of used cutlery steels and ushers their characteristics. It deals with the choice of blade geometry and material for a particular knife application. Furthermore, it initiates into the issue of heat treatment of knives, which is absolutely necessary for their functionality. The conclusion includes the documentation of the kitchen knife manufacturing process, which was made for the purpose of this thesis.

## **Keywords**

Knife, steel, blade, heat treatment, edge.

## **Bibliografická citace**

BUKVIC, Tomáš. *Výroba nožů a jejich tepelné zpracování* [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/112963>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav materiálových věd a inženýrství. Vedoucí práce Karel Němec.

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba nožů a jejich teplené zpracování vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, které jsou součástí této práce.

V Brně dne:

Podpis:

## **Poděkování**

Chtěl bych poděkovat Ing. Karlu Němci, Ph.D. za vedení mé práce a ochotný přístup. Dále pak mé rodině za podporu a Jakubu Mahdalovi za cenné rady a připomínky při výrobě nože a poskytnutí profesionálního vybavení.

# Obsah

Úvod .....	11
1 Materiály pro výrobu nožů .....	12
1.1 Dělení ocelí .....	12
1.1.1 Korozivzdorné oceli .....	12
1.1.2 Legované oceli .....	12
1.1.3 Práškové oceli .....	13
1.2 Příklady nožířských ocelí: .....	13
1.3 Damascénské oceli .....	15
1.3.1 Svářkový damašek .....	15
1.3.2 Litý damašek (wootz) .....	16
1.3.3 Sendvičová ocel .....	18
2 Geometrie ostří .....	19
2.1 Typy výbrusů .....	19
3 Konstrukce čepelí .....	21
4 Výroba čepelí .....	22
4.1 Výroba čepelí vybrušováním .....	22
4.2 Výroba čepelí kováním .....	22
4.3 Srovnání kovaného a vybrušovaného nože .....	22
4.3.1 Měření mikrotvrdosti .....	23
4.3.2 Zkouška tříbodovým ohybem .....	25
5 Tepelné zpracování .....	27
5.1 Kalení .....	27
5.1.1 Austenitizace .....	28
5.1.2 Martenzitická přeměna .....	29
5.1.3 Kalicí prostředí .....	30
5.1.4 Parciální kalení (na tzv. hamon) .....	32
5.2 Popouštění .....	33
6 Praktická část – výroba kuchyňského nože .....	34
6.1 Volba materiálu a geometrie ostří pro praktické zadání .....	34
6.2 Zhotovení základního tvaru/obrysu nože .....	34
6.3 Zhotovení výbrusu .....	35
6.4 Tepelné zpracování a měření tvrdosti .....	38

6.5 Rovnání.....	40
6.6 Měření tvrdosti po popouštění .....	41
6.7 Dokončování výbrusu a leštění .....	41
6.8 Výroba rukojeti .....	42
6.9 Zhotovení fasety.....	42
Závěr .....	44
Seznam použitých zdrojů.....	45
Seznam obrázků.....	47



# Úvod

Nůž je jedním z nejpotřebnějších nástrojů člověka. Jeho vznik se datuje až do pravěku, kdy si první lidé vyráběli primitivní čepele štípáním pazourku. Základní princip fungování nože se ani po desetitisících let nezměnil. Spočívá v pronikání velmi tenkého klínu z tvrdého materiálu do materiálu měkčího. Nerovnosti na vrcholu klínu pak fungují jako mikroskopická pila a jeho pohybem přerušují vlákna řezaného materiálu. Co se však změnilo, je použitý materiál. Dnes se pro čepele nožů používá v drtivé většině případů ocel, přestože se nejedná o materiál nejmodernější. Avšak nelze použít jakoukoliv ocel, neboť musí mít určité vlastnosti na dobré úrovni. Mezi ně patří tvrdost, pevnost, houževnatost a odolnost proti otěru a otupení. K tvrdosti se váže zakalitelnost, neboť k získání vysoké tvrdosti je nutné dosáhnout kaleného stavu oceli. Ne všechny oceli je možné zakalit. Podmínkou je minimální obsah 0,2% uhlíku. Tuto podmínku splňují a výše zmíněnými vlastnostmi disponují nástrojové oceli. Kalení je druhem tepelného zpracování, které se pro každou ocel mírně liší. Jak je z názvu patrné využívá se řízených změn teploty, za účelem získu určité struktury a jí odpovídajících mechanických vlastností.

Hledisky volby materiálu geometrie ostří a problematikou tepelného zpracování se zabývá tato práce. Teoretické poznatky jsou převedeny do praxe ve formě vlastní výroby nože.

# Teoretická část:

## 1 Materiály pro výrobu nožů

Nejen dnes, ale i v minulosti, byly dominantními materiály používanými pro výrobu čepelí ocelí, a proto se tato práce zabývá právě jimi. Občas je možné setkat se s noži keramickými. Tyto nože vynikají vysokou tvrdostí a otěruvzdorností, avšak velkou nevýhodou je značná křehkost. Keramika se tedy používá převážně u nožů kuchyňských, které nevyžadují příliš velkou hodnotu houževnatosti, ale i tak se stává, že dojde k jejich zlomení při krájení tuhých potravin, jako je třeba celer.

### 1.1 Dělení ocelí

Oceli pro výrobu nožů můžeme rozlišovat dle několika kritérií:

Dle korozní odolnosti: korozivzdorné  
nekorozivzdorné

Dle množství legujících prvků: legované  
nelegované

Dle technologie výroby: konvenčním způsobem  
práškovou metalurgií

#### 1.1.1 Korozivzdorné oceli

Takto nazýváme oceli schopné pasivování. Aby byla pasivace vůbec možná, je potřeba, aby obsahovala alespoň 11,74% chromu rozpuštěného v tuhém roztoku. Ocel poté odolává elektrochemické korozi a nůž nevyžaduje přílišnou péči. Aby čepele z korozivzdorných ocelí dosáhly rezných vlastností jako u ocelí nekorozivzdorných, je nutné výraznější legování a zvýšení obsahu uhlíku. [1]

#### 1.1.2 Legované oceli

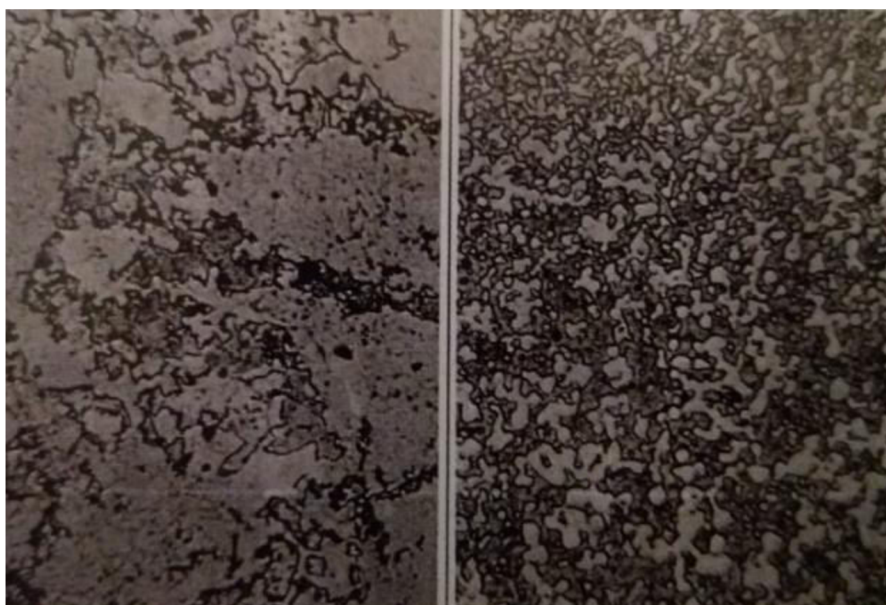
Legované oceli jsou slitinové oceli obsahující určitý podíl legujících prvků, které ve struktuře vytváří karbidy. Mezi hlavní přísadové prvky patří chrom, mangan, molybden, vanad, a wolfram. Tyto prvky zlepšují prokalitelnost, karbidy přísad zvyšují tvrdost, což má pozitivní vliv na odolnost proti opotřebení a trvanlivost ostří. U většiny legovaných ocelí přísadové prvky snižují kritickou rychlost ochlazování, díky čemuž je možné při jejich kalení použití mírnějšího ochlazovacího média, jako je olej. Vysoce legované oceli jsou dokonce kalitelné na vzduchu (např. D2). [2]

#### 1.1.3 Práškové oceli

Práškové oceli mohou obsahovat až 2,7% obsahu uhlíku, což je hodnota typická pro litinu a u v tuhém roztoku standardně vyráběné oceli takové množství uhlíku a legur rozpuštěné být nemůže. Prášková metalurgie umožňuje, aby se tyto prvky v oceli v takovém množství mohly vyskytovat. [1]

Ocel se roztaví a rozpráší v ochranné atmosféře zabraňující korozi ve formě mlhy, která je následně ochlazená a snáší ve formě jemného prášku. Zrna prášku jsou velmi jemná, jejich velikost je cca 60 mikrometrů. Je možno je dále mlít či třídít za účelem sjednocení velikosti a tím zvýšení homogenity výsledné struktury. Získáváme ocel ve formě prášku o přesném složení s požadovanými prvky. [1]

Prášek je dále slisován tlakem 2000 barů do tzv. kapsle a slinován. Spékaný polotovár je rozválcován do plochého profilu. Navýšení množství legur (zejména molybdenu a vanadu) tvořících tvrdé karbidy se příznivě odrazí v nárůstu tvrdosti a trvanlivosti ostří. Velmi vysoké jsou také hodnoty pevnosti v ohybu, neboť prášková ocel disponuje velmi jemnou strukturou, homogenním složením a jemnou disperzí karbidů. [1]



Obr. 1 Srovnání jemnosti struktury běžné (vlevo) a práškové oceli (vpravo) ve shodném měřítku. [1]

## 1.2 Příklady nožírských ocelí:

### 19191 (1.545)

Ocel disponující po zakalení vysokou tvrdostí (až 65HRC) a houževnatostí. Dobře se tváří za tepla a vyžíhaná naměkko je snadno obrobitelná. Další výhodou je, že není tolik citlivá na kalící trhliny, avšak špatně odolává korozi. Je vhodná pro parciální kalení (tzv. kalení na hamon).

Chemické složení: C=1%, Mn=0,2%, Si=0,25%. [3]

### 19312 (1.2842, K720)

Nadeutektoidní ocel s dosažitelnou tvrdostí po zakalení 60-64 HRC. Slangově označována jako Stabílka díky stálosti rozměrů za různých teplot. Čepele z ní vyrobené disponují odolným ostřím, avšak nevýhodou je značná náchylnost vůči korozi. Nožíři je často používána jako tmavá složka do svárkového damašku.

Kovací teploty 850-1050°C. Kalení se provádí do oleje v rozmezí teplot 740-820°C, popouštěcí teploty jsou 150-250°C. [3]

### **19655 (1.2767)**

Ocel obohacená o nikl, díky němuž je velmi vhodná k leštění a leptání. Z tohoto důvodu je nožiči oblíbená jako světlá složka svářkového damašku. Lze ji prokalit i ve větších průřezích. Vykazuje vysokou hodnotu houževnatosti. Maximální tvrdost po kalení činí 56HRC. Lze ji kalit v oleji, vakuu i na vzduchu. Obdobně jako ocel 19 312 má poměrně dobrou stálost rozměrů. Velmi dobře odolává opotřebení.

Chemické složení: C=0,4-0,5%, Mn=0,15-0,45%, Si=0,1-0,4%, Mo=0,15-0,35%, Cr=1,2%, Ni=3,8-4,3%, P=max 0,3%, S=0,3%

Kování při teplotách 850-1050°C, kalení 840-870°C, žíhání na měkko 610-630°C [4]

### **D2 (K110)**

Výrobce této oceli je firma Böhler. Přestože nepatří do kategorie korozivzdorných, vyniká odolností vůči korozi ve srovnání s jinými uhlíkovými oceli. Mezi další klady patří vysoká tvrdost a odolnost vůči opotřebení. Chemické složení: C=1,55%, Si=0,3%, Mn=0,3%, Cr=11,0%, Mo=0,75%, V=0,75%. [3]

### **14260 (54SiCr6)**

Pružinová ocel, která je díky své vysoké houževnatosti vhodná zejména pro dlouhé čepele. Snadno koroduje. Maximální dosažitelná tvrdost činí 58HRC. U delších čepelí jako mají meče, mačety nebo tesáky je vhodné popustit na tvrdost nižší. Lze ji parciálně kalit. [3]

### **N690**

Ocel s excelentní korozní odolností, vyráběná firmou Böhler. Často je považována za ekvivalent oceli 440C, avšak oproti ní je obohacena o 1,5% kobaltu. N690 disponuje skvělými reznými vlastnostmi a velmi dobře se brousí. S oblibou používána pro kuchyňské nože, které jsou poté takřka bezúdržbové. Další výhodou je její cena ve srovnání s jinými zde uváděnými korozivzdornými oceli. Tvrdosti po zakalení lze dosáhnout v rozmezí 58-62HRC. Kalí se v oleji za teploty 1030-1080°C a popouští za 100-200°C.

Chemické složení: C=1,08%, Si=0,4%, Mn=0,4%, Cr=17,4%, Mo=1,1%, V=0,1%, Co=1,5% [3,5]

### **K390**

Vysoce výkonná prášková ocel obohacená velkým množstvím legujících prvků. Jejím hlavním kladem je zachování vysoké houževnatosti i při vysoké tvrdosti, která se může pohybovat v rozmezí 60-66HRC. Mezi nevýhody patří nekorozivzdornost a cena.

Chemické složení: C=2,45%, Si=0,55%, Cr=4,15%, Mo=3,75%, V=9%, W=1%, Co=2%. Kalí se při teplotě 1030-1180°C a popouští při 500°C. [3]

### **RWL 34**

Výrobce je švédská firma Damasteel AB, která u této oceli používá technologii rychle ztužovaného prášku. Austenizační a tvářecí teploty se pohybují v rozmezí 1050-1160°C. Je vhodné je dodržovat, neboť RWL 34 je citlivá na přehřátí. Také při nepřiměřených výdržích na kovací teplotě dojde k oduhličování. Ocel se chlubí vysokou

houževnatostí, za kterou vděčí jemnějšímu rozptýlení karbidů ve struktuře. Tyto malé shluky karbidů se oproti velkým nestávají iniciátorem trhlin.

Používá se jako složka korozivzdorného damašku.

Chemické složení: C=1,05%, Si=0,5%, Mn=0,5%, Cr=14%, Mo=4%, V=0,2%. [6]

### **Vanadis 4 Extra**

Ocel vyrobená práškovou metalurgií firmou Uddeholm. Snadno obrobitelná jak v žíhaném stavu, relativně dobře i ve stavu kaleném, kde je schopna dosáhnout tvrdosti 64HRC. Výrobce považována za nejvšestrannější práškovou ocel, zejména kvůli kombinaci vlastností jako jsou vysoká odolnost proti opotřebení při zachování vysoké tažnosti (nejlepší mezi ocelmi vyrobenými práškovou metalurgií) a odolnosti proti vylamování. Ocel dále obstojně odolává zpětnému popouštění, má dobrou rozměrovou stálost a pevnost v tlaku.

Chemické složení: C=1,4%, Si=0,4%, Mn=0,4%, Cr=4,7%, Mo=3,5%, V=3,7%. [7]

### **Sleipner**

Švédská ocel legovaná molybdenem, chromem a vanadem. Mezi její přednosti patří odolnost proti vyštípnutí fasety, otěruvzdornost, v žíhaném stavu se dobře obrábí. Tvrdost po kalení přesahuje 60HRC i při popouštění za vyšší teploty. Odolává samopopouštění za provozní teploty do 300°C. Vykazuje vysokou pevnost v tlaku a stálost rozměrů při kalení. Za teplot přesahujících teplotu Ac3 se dobře tváří.

Chemické složení: C=0,9%, Si=0,9%, Mn=0,5%, Cr=7,8%, Mo=2,5%, V=0,5%. [8]

### **Elmax**

Korozivzdorná prášková ocel, kterou vyrábí švédská firma Uddeholm. Technologii slinování bylo možné u této oceli dosáhnout vyšší hodnoty houževnatosti a pevnosti i za vysoké tvrdosti 58-60HRC. Ocel poté disponuje prvotřídními reznými vlastnostmi a trvanlivostí ostří. Tato ocel se také dobře obrábí.

Chemické složení C=1,7%, Si=0,8%, Mn=0,3%, Cr=18%, Mo=1%, V=3%. [3]

## **1.3 Damascénské oceli**

### **1.3.1 Svářkový damašek**

Často označován jednoduše jako damašek, jedná se však o tzv. nepravý damašek. Používali jej Keltové již 500 let př. n. l. [9]

Jeho výroba spočívá v kovářském svaření tzv. paketu, poskládaného střídavě z dvou či více druhů plátek oceli o různém chemickém složení. Primárně záleží na rozdílu v obsahu uhlíku. Složce s vyšším obsahem uhlíku se říká tvrdá a té s nižším měkká. Výsledná nehomogenní ocel získává pozitivní vlastnosti obou složek. Tvrdá dodává tvrdost a odolnost proti opotřebení, měkká na druhou stranu houževnatost a pružnost, která brání zlomení čepele při hrubém zacházení. [9]

Paket se po svaření a rozkování překládá, torduje, dělí, probušuje a poté znovu svařuje. Různou kombinací úkonů lze dosáhnout různých vzorů ve výsledné struktuře, ta je však viditelná až po zakalení a vyleptání povrchu výrobku.

Protože hlavním technologickým procesem je svařování, je třeba brát v potaz použití takových materiálů, které je možné kovářsky svařit. Se vzrůstajícím obsahem



legujících prvku svařitelnost klesá až do míry, kdy svaření není vůbec proveditelné. Z toho důvodu není možné vyrobit korozivzdorný svářkový damašek. Švédská firma Damasteel však tento problém v roce 1995 překonala a vyrábí korozivzdorný damašek metodou slinování za vysokých tlaků a teplot. Pro výrobu svářkového damašku se používají oceli vysoko a nízkouhlíkové s nízkým obsahem legur. Nejčastějším případem je kombinace tmavé složky ve formě 19 312 (1.2842) a světlé složky s vysokým obsahem niklu 19 655 (1.2767). [9]

Pozor, dnes se můžeme také setkat s falešnými, respektive pouze dekorativními damaškovými noži, které pocházejí nejčastěji z Pákistánu. Jsou buď opatřeny leptaným dekorem napodobujícím damaškovou strukturu, nebo vyrobeny z ocelí snadno svařitelných s nedostatečnou tvrdostí a nízkými hodnotami dalších vlastností. Nejsnáze jdou rozpoznat podle podezřele nízké prodejní ceny.



Obr. 2 Nůž ze svářkového damašku, pírkový vzor [10]

### 1.3.2 Litý damašek (wootz)

Litý damašek je technologií, která se datuje do starověku a středověku. Dostává další pojmenování jako wootz, bulat, či pravý damašek. Jak je z názvu patrné, centrem výroby bývalo syrské město Damašek. Odtud se technologie rozšířila do Mezopotámie, Persie a východní Indie. Jedná se o speciální ocel, jejíž struktura je dendritická. Podíl uhlíku ve struktuře je velmi vysoký (kolem 1,5%), avšak legující prvky se v ní až na malý podíl vanadu a molybdenu prakticky nevyskytují. [9,11]

Výroba spočívala v tavení kusů železa ve speciálním žáruvzdorném kelímku tzv. tyglíku. Pro zvýšení obsahu uhlíku bývaly do směsi přidávány suché větvičky, dřevěné uhlí, či jiný organický materiál. Za účelem vzniku strusky, která na sebe vázala nežádoucí prvky (v podobě síry, fosforu a kyslíku), byly do směsi taktéž

přidávány rozdrčené lastury nebo jiný materiál obsahující vápenec. Tyglík byl poté uzavřen, aby se do taveniny nedostal kyslík. Tavenina se poté nechávala pomalu chladnout, což mělo za příčinu vznik dendritických jehlic, po jejichž hranicích se vlivem dalšího ochlazování začal vylučovat sekundární cementit. [11,12]

Znovuobjevením technologie litého damašku se zabýval Achim Wirtz, jenž proces popsal takto:

*„Během extrémně pomalého ochlazování roztavené oceli se vytváří dendritická struktura austenitu. Čím pomalejší je ochlazování, tím větší budou dendrity (austenitické krystaly). Mezi těmito dendrity, v interdendritické fázi, zůstávají volné karbidy poněkud déle v tekutém stavu, protože mají nižší bod tuhnutí. Další ochlazení způsobí ztuhnutí také těchto karbidů. Během tuhnutí mají karbidy vanadu, díky své struktuře, tendenci zůstat (plavat) na čele postupující vlny tuhnutí, nemísí se do vznikající struktury. Poslední ztuhlou složkou oceli jsou pásy karbidů vanadu, které se tak nacházejí ve středu interdendritické fáze. Tyto vyloučeniny karbidů vanadu vytvářejí jakési negativní obrazy primárních, sekundárních a terciárních dendritů odlišné koncentrace.“ [13]*

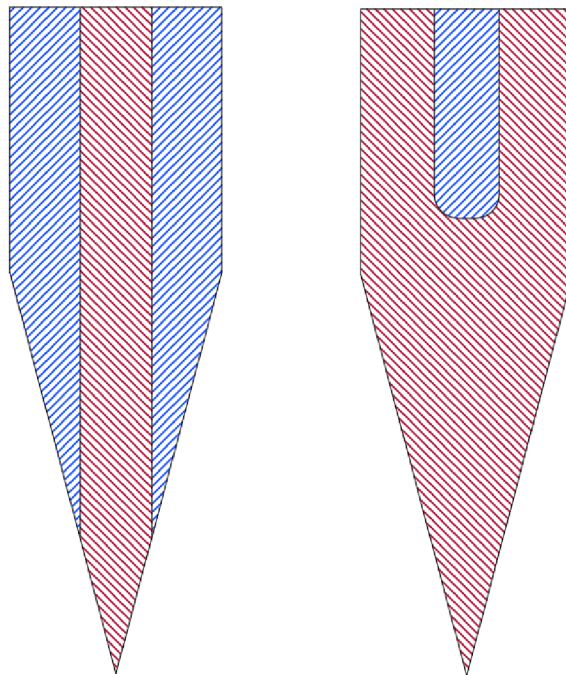


Obr. 3 Nůž z wootzu [14]

### 1.3.3 Sendvičová ocel

Jedná se prakticky o velmi primitivní svářkový damašek, složený zpravidla ze tří nebo pěti vrstev. Sendvičová ocel se může skládat ze dvou tvrdších ocelí obepínajících měkkí jádro (používá se pro meče a jiné dlouhé sečné zbraně), nebo vložením tvrdší oceli mezi dvě nebo jiný počet měkkých ocelí, svářkového železa nebo niklu.

Sendvičová čepel je houževnatější a lépe odolává rázům při zachování stejných mechanických vlastností břitu. Je také vhodné, aby měkkí složky měly oproti jádru rozdílný odstín leptu, neboť takováto čepel po vyleštění a vyleptání dostává velmi estetický kontrastní vzhled.



Obr. 4 Řez sendvičovou čepelí (vlevo varianta s tvrdou složkou mezi měkkými, vpravo varianta s měkkým jádrem)

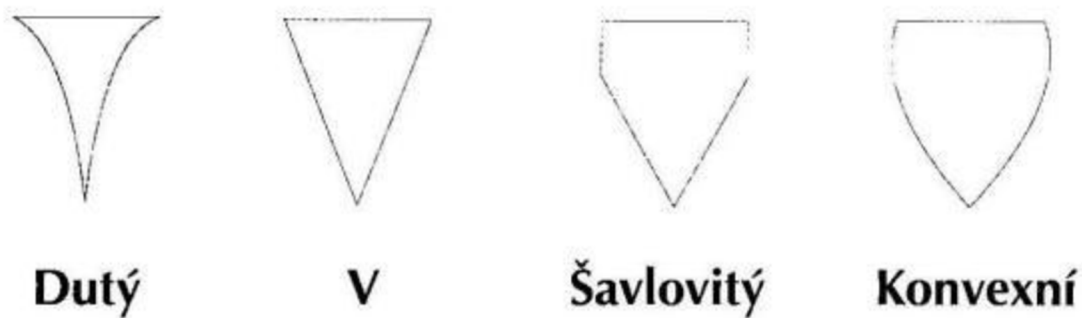


## 2 Geometrie ostří

Druhým krokem před samotnou výrobou je rozhodnutí, jak bude čepel vypadat. Někdy se vyskytují čepelky s jednostranným ostřím, ale v drtivé většině s ostřím oboustranným. Jednostranné ostří má výhodu v úspoře výrobních nákladů a snadném broušení, avšak v řezných vlastnostech oproti oboustrannému zaostává. Zakřivením čepelky se získá větší řezná délka. Linie břitu může být rovná (nejčastější), případně progresivní s tvarem připomínajícím pilu. Pilové ostří se používá většinou u outdoorových nožů, a to buď na horní části čepelky, nebo tvoří určitou část břitu spodního. Udává se, že pilové ostří má až čtyřnásobnou průnikovou schopnost (měkký materiál v podstatě trhá) oproti rovnému. To je však vykoupeno daní v podobě obtížného broušení. [15]

### 2.1 Typy výbrusů

Z hlediska průřezu čepelky rozlišujeme několik základních typů výbrusů. Ty mají zásadní vliv na řezné vlastnosti, ale i na odolnost břitu.



Obr. 5 Základní typy výbrusů [15]

**V výbrus:** Taktéž nazývaný klínový výbrus, je nejvíce používaným typem. Představuje kompromis mezi dobrou řezivostí a odolností. Boky čepelky jsou rovné, V výbrus je tedy nejjednodušší na výrobu. [15]

**Dutý výbrus:** Varianta s excelentními řeznými vlastnostmi, avšak kvůli minimálnímu množství materiálu na břitu velmi náchylná na vyštipování. Používá se u čepelky na jemnou práci (například břitva), hrubé zacházení jako je sekání, štípání či páčení jej s nejvyšší pravděpodobností zničí. [15]

**Konvexní výbrus:** Výbrus vydutého tvaru zaručující vysokou odolnost břitu. Řezné vlastnosti nejsou nikterak závratné, z důvodu velkého množství materiálu na břitu a nutnosti přílišného rozhrnování řezaného materiálu do stran. Ideální pro sečné využití například u mačet. [15]

**Šavlový výbrus:** Jedná se v podstatě o částečný klínový výbrus. Používá se nejčastěji u bojových a loveckých nožů, kde dodá čepelky větší tuhost. Řezné vlastnosti břitu zůstávají stále na dobré úrovni, avšak větší tloušťka u hřbetu vede

k většímu rozhrnování řezaného materiálu do stran. Nožem opatřeným tímto výbrusem je možné sekát. [15]

Na závěr je ještě nutné brát v potaz tloušťku čepel. Podobně jako tvar výbrusu, má vliv na řezné vlastnosti.

Pokud vyrábíme nůž, který má být velmi řezivý, uděláme na něm dutý výbrus, ale tloušťka čepel bude třeba 6mm, tak bude nůž přesto špatně pronikat materiálem. Na prořezávání bude potřeba vynaložit dost síly, neboť tlustá čepel bude muset příliš rozhrnovat řezaný materiál do stran.

Na druhou stranu pokud vyrábíme třeba sekáček na maso, použijeme správně odolný oblý výbrus, ale použijeme tloušťku 1,5mm, tak odolnost sekáčku bude značně omezena.

Lze tedy říct, že tloušťka čepel jde ruku v ruce s účelem použití. Tlustší profily se využívají pro sečné nástroje, užší pro řezné. Za hraniční hodnotu lze dle mého názoru považovat tloušťku 4mm.

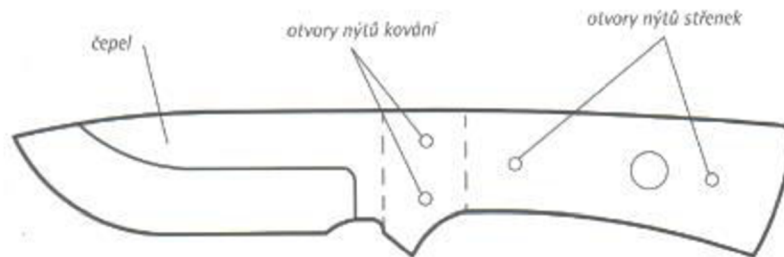
### 3 Konstrukce čepel

Poté co byl vybrán materiál a typ výbrusu, je možno přejít k výrobě samotné čepel. Popíšeme si výrobu pevného nože. Nože zavírací kvůli své konstrukční složitosti vyžadují notnou dávku zkušeností.

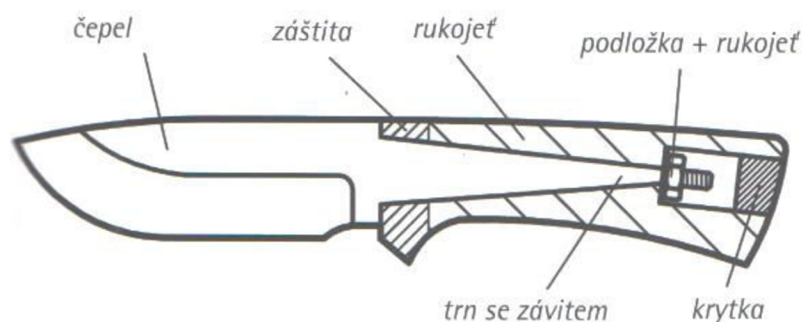
Pevné nože se rozdělují dle typu konstrukce do dvou skupin, a to kdy čepel pokračuje do rukojeti plnou stopkou tzv. fulltang, nebo částečnou stopkou ve formě trnu.

Konstrukce fulltang znamená, že ocel tvoří celý obrys nože a rukojeť je tvořena pomocí dvou příložek, střeňek (podobně jako u pistolí). Střeňky se na noži jistí pomocí nýtků či skrz procházejících kolíků tzv. pinů (u dražších nožů mozaikových) a lepidla nejčastěji na bázi epoxidové pryskyřice.

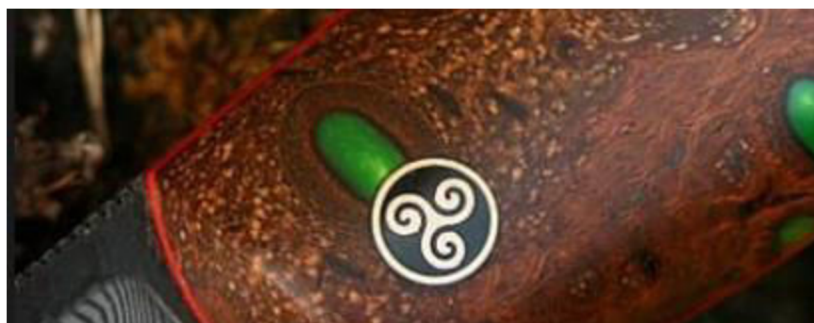
Konstrukce na trn znamená, že čepel je zakončena trnem, na který je nasazeno kování a rukojeť ve formě špalíku, přilepeným opět epoxidem. Rukojeť bývá někdy na trnu pojištěna pinem, případně se trn opatří na konci závitem a v rukojeti se zajistí matkou.



Obr. 6 Konstrukce fulltang [1]



Obr. 7 Konstrukce na trn [1]



Obr. 8 Mozaikový pin [16]

## 4 Výroba čepel

Samotnou čepel lze vyrábět dvěma metodami. Buď vybrušováním z plochého polotovaru hojně prodávaného v nožířských e-shopech, nebo kováním z ingotu či jiného polotovaru.

### 4.1 Výroba čepel vybrušováním

Vybrušování je jednoduchou formou výroby nože. Není tolik náročné na nástroje a celkové dílenské zázemí. Jako polotovar se zpravidla používá pásovina. Nevýhodou je, že při výrobě vybrušováním vzniká velké množství odpadního materiálu, jenž musel být z pásoviny odřezán.

### 4.2 Výroba čepel kováním

K výrobě čepel kováním je oproti vybrušování potřeba větší množství vybavení. Mezi nejdůležitější a také nejdražší patří výheň a kovadlina. Dále pak řada kleští a kladiv. Také jsou při ní kladeny vyšší nároky na schopnosti nožiče. Je zásadní dodržovat kovací teploty, neboť kování příliš studeného materiálu může způsobit vznik trhlin. Také je nutné vykovat tvar nože na co nejmíň ohřevů, aby se materiál zbytečně neopaloval a neztrácel uhlík. Kováním nelze docílit dokonalého tvaru nože, je potřeba jeho konečné dobroušení. Výhodou kování je možnost zpracovat polotovary různých tvarů bez přebytečného odpadu.

### 4.3 Srovnání kovaného a vybrušovaného nože

Má kovaný nůž lepší mechanické vlastnosti než vybrušovaný, či v tom není žádný rozdíl? To je otázka často kladená mezi nožíři a fandý nožů.

Obecně je dokázáno, že kování má pozitivní vliv na pevnost materiálu vlivem deformace zrn a utvoření vláknovité struktury, která způsobuje anizotropii materiálu. Otázkou však je, co se stane po následném tepelném zpracování, které je pro nože absolutně nezbytné.

Zda je lepší kovaný či vybrušovaný nůž, experimentálně ověřil Aleš Kejdana ve své bakalářské práci Změna mechanických vlastností kovaného profilu. Jako testovací materiál byla použita ocel ČSN 19 191 ve formě kulatiny o průměru 30mm, ze které byly vykovány a vybrušeny polotovary pro testovací vzorky. Vzorky byly podrobeny dvojicí zkoušek: tříbodového ohybu a měření mikrotvrdosti. Zkoušky byly provedeny na třech dvojicích testovacích vzorků. První dvojicí byly vzorky pouze vykovány a vybrušeny. Druhá dvojice byla normalizačně žhánána a třetí byla zakalena (bez popuštění). [17]

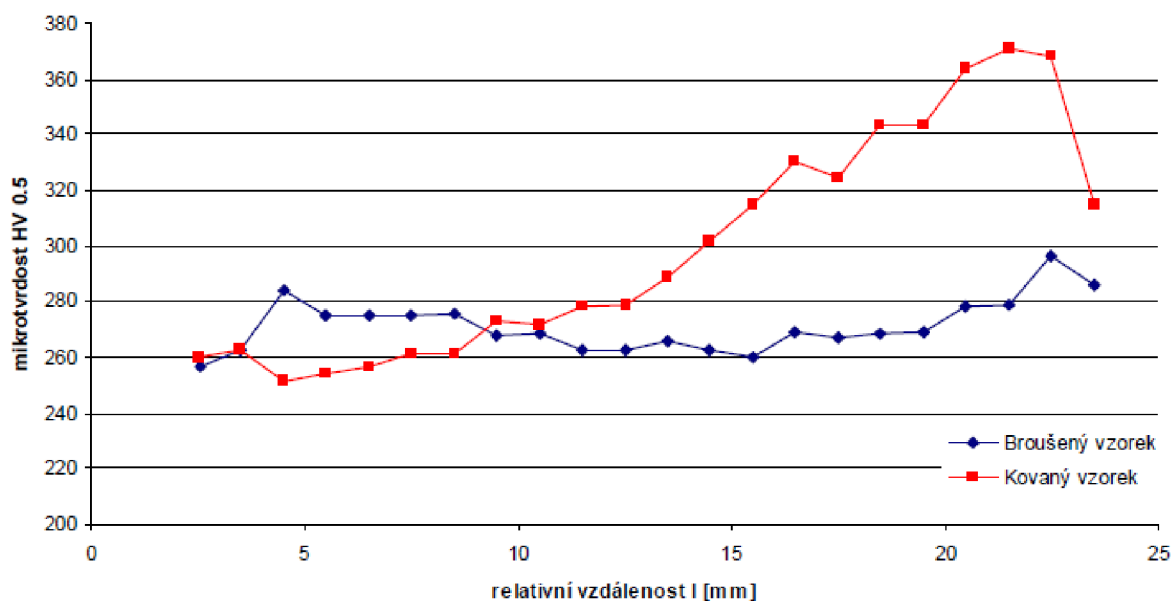


Obr. 9 Metalografický vzorek [17]

### 4.3.1 Měření mikrotvrdosti

Mikrotvrdost se měřila ve směru od hřbetu k ostří (viz obr. 15) a její hodnoty byly vyneseny do grafů. [17]

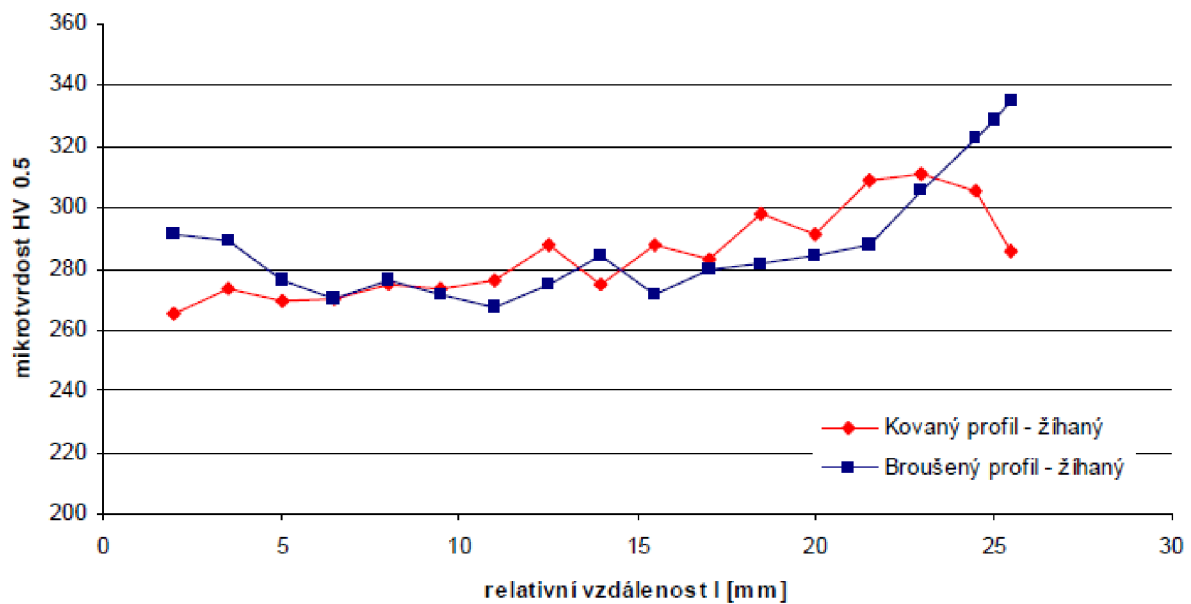
#### Tepelně neupravené vzorky



Obr. 10 Graf mikrotvrdosti tepelně neupravených vzorků [17]

Jak je z grafu patrné, tvrdost broušeného vzorku zůstává po celé délce prakticky stejná. Mírné výkyvy jsou pravděpodobně způsobeny nehomogenní strukturou oceli. Zato u kovaného vzorku sledujeme, že tvrdost je tím větší, čím více se přibližujeme k břítu a tedy i místu většího prokování materiálu. Zajímavým úkazem je strmý propad tvrdosti na samém konci břítu. Nejpravděpodobnější příčinou je oduhličením vlivem několikanásobného ohřevu. [17]

## Normalizačně žíhané vzorky

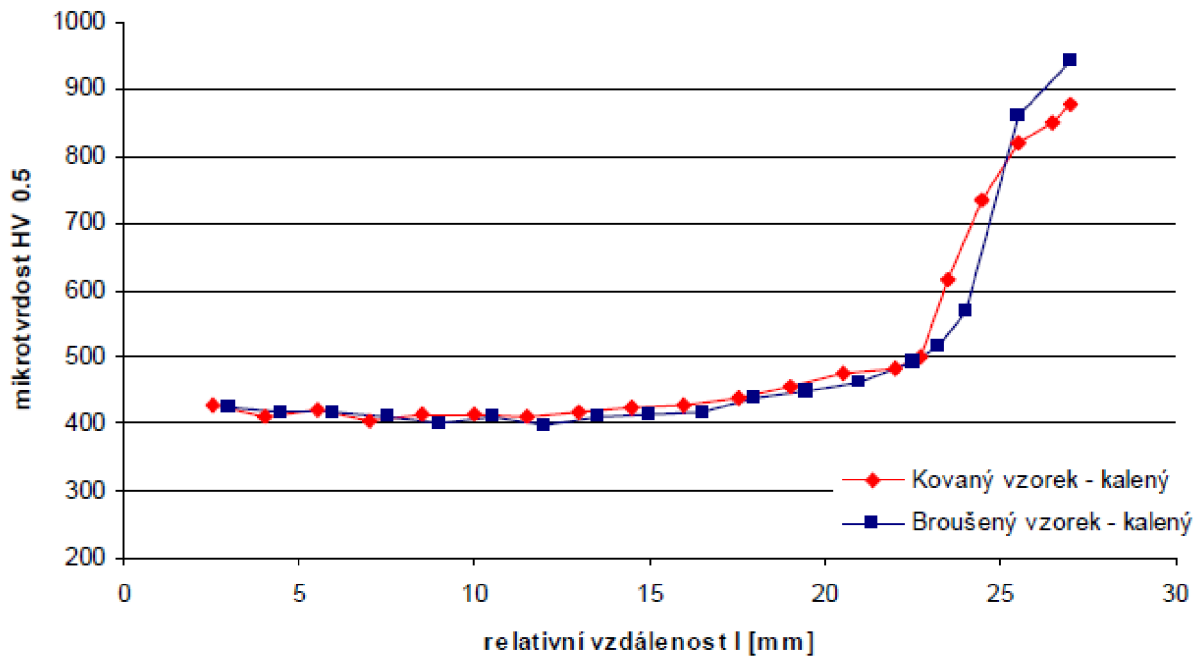


Obr. 11 Graf mikrotvrlosti žíhaných vzorků [17]

U vzorků normalizačně žíhaných nepozorujeme ve většině průřezu žádný relevantní rozdíl mezi kovaným a vybrušovaným vzorkem. Lze tedy usuzovat, že žíhání rozdíl mezi kováním a vybrušováním zneuguje. U obou trendů pozorujeme výchyly jako v případě tepelně neupravených vzorků, pravděpodobně se stejnou příčinou. I v tomto případě pozoruje pokles tvrdosti na břitu kovaného vzorku, vlivem mnohonásobného ohřevu. Avšak tvrdost na břitu vybrušovaného vzorku neočekávaně prudce roste, patrně z důvodu rychlejšího chladnutí tenčího profilu a vzniku jemnějšího perlitu o vyšší tvrdosti. [17]

## Kalené vzorky

Vzorky byly z důvodu obav z popraskání kaleny z teploty 810 °C do oleje. Pro ocel 19191 je vhodné kalení do vody. Olej je pomalejší kalící médium, výsledná struktura tedy byla očekávána spíše bainitická než martenzitická. [17]



Obr. 12 Graf mikrotvrlosti kalených vzorků [17]

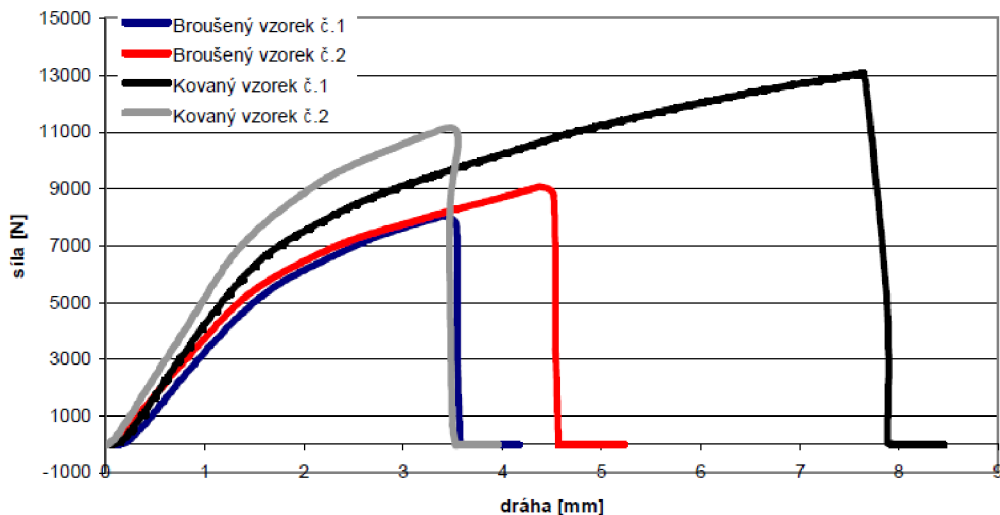
Z grafu kalených vzorků vidíme, že křivky tvrdosti kovaného a vybrušovaného vzorku se překrývají. Na začátku bříty obou vzorků tvrdost rapidně roste a na konci bříty vybrušovaný vzorek dokonce lehce převyšuje kovaný, patrně z důvodu, že u něj nedošlo k oduhličení. [17]

#### 4.3.2 Zkouška třibodovým ohybem

Pro ohybovou zkoušku byly zhotoveny dvě dvojice vzorků, broušených a kovaných. Byla měřena potřebná síla a průhyb vzorků pro jeho zlomení. Výsledky byly vyneseny do grafu [17]



Obr. 13 Zkouška třibodovým ohybem [17]



Obr. 14 Graf závislosti zatěžovací síly na velikosti průhybu vzorku při jeho lámání [17]

Z grafu je vidět, že pro přelomení kovaných vzorků bylo nutné vynaložit větší sílu než u vybrušovaných. Hodnota průhybu před zlomením vzorku byla taktéž větší. Nutno však brát v potaz, že plocha průřezu jednotlivých vzorků se lišila. Hodnoty síly a plochy průřezu byly tedy přepočteny na ohybové napětí, které činilo pro kované vzorky 110,82 a 92,11 MPa a pro vybrušované vzorky 83,87 a 93,84 MPa. [17]

#### Verdikt:

Z měření mikrotvrdomosti vyplynulo, že v místě více prokovaného břitu tvrdost narostla, avšak tento benefit byl žíháním odstraněn a po kalení nebyl taktéž zaznamenán žádný markantní rozdíl mezi tvrdostí kovaného a vybrušovaného vzorku. Tváření má tedy vliv na tvrdost jen na tepelně nezpracovaný materiál.

Rozdílných výsledků bylo dosaženo u ohybové zkoušky, kde kované vzorky vykazovaly vyšší houževnatost, neboť na jejich přelomení bylo potřeba vynaložit větší zátěžnou sílu a odolávaly většímu průhybu.

Ve výsledku můžeme říct, že kování mírně zlepší mechanické vlastnosti, ne však v takové míře, jak se mezi lidmi traduje. Pro běžné použití nože bez hrubého zacházení (např. sekání tvrdých materiálů, páčení) není mezi kovaným a vybrušovaným skoro žádný rozdíl. Ten se spíše projeví u silně zatěžovaných čepelí, jako jsou meče.

Tohle všechno však platí pouze pro technologicky správné kování, kdy nedojde k výraznému oduhlíčení nebo tvorbě mikrotrhlin v důsledku kování pod kovací teplotou. V takovém případě jsou mechanické vlastnosti oceli spíše zhoršeny.



## 5 Tepelné zpracování

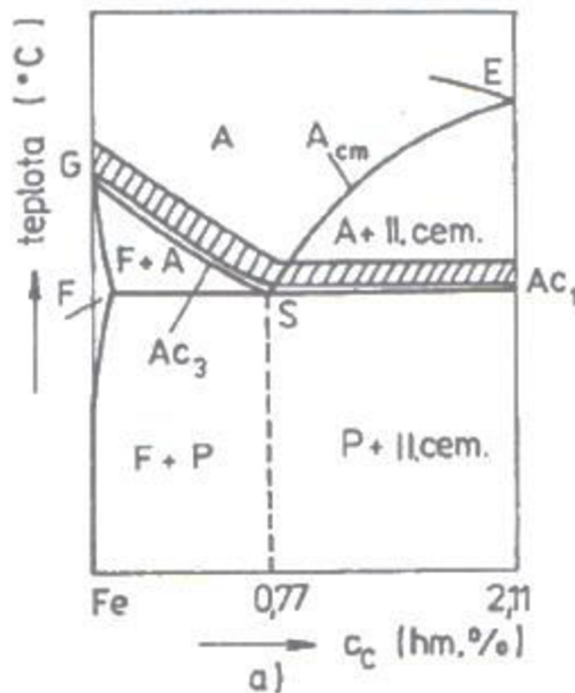
Tepelné zpracování provádíme za účelem získu konkrétních mechanických vlastností pomocí řízených strukturních a fázových přeměn. Do tepelného zpracování čepelí nožů řadíme kalení a popouštění. [18]

### 5.1 Kalení

Kalení se na základě převahy konkrétní strukturní složky rozděluje na martenzitické a bainitické, přičemž pro účely výroby nožů se využívá výhradně kalení martenzitické. Martenzitickým kalením se snažíme docílit martenzitické struktury. Martenzitická struktura se získává austenitizací (ohřevem a výdrží na kalicí teplotě) a bezprostředně následujícím ochlazením nadkritickou rychlostí. [18]

Kalení lze provádět nepřetržitě, nebo přetržitě. Mezi přetržité způsoby kalení se řadí například kalení lomené, termální a kalení se zmrazením. Pro účely výroby nožů se ve většině případů používá kalení nepřetržitě, které je technologicky jednoduché a levné, avšak za cenu značných vnitřních pnutí. Druhou používanou variantou s menší úrovní pnutí je kalení lomené, kdy je předmět ochlazován nejprve v rychlejším prostředí těsně nad teplotu  $M_s$ , aby nedošlo k perlitické přeměně. Poté v prostředí pomalejším, kde se uskuteční martenzitická přeměna. [18]

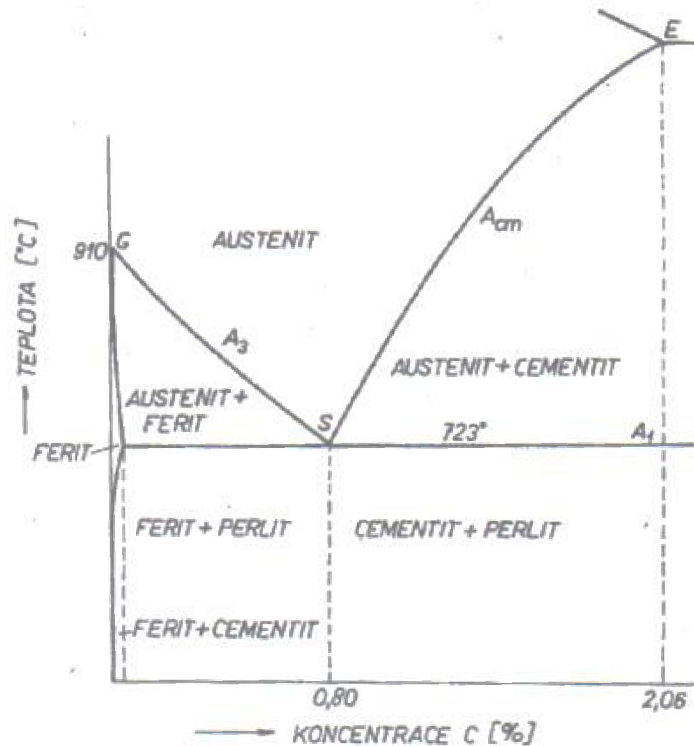
Kalicí teplota se pro různé oceli liší. Pro oceli podeutektoidní se pohybuje v rozmezí 30 až 50 °C nad teplotou  $A_{c3}$ . Pro oceli nadeutektoidní se opět pohybuje v rozmezí 30 až 50 °C avšak nad teplotou  $A_{c1}$  (viz obr. 15). [18]



Obr. 15 Kalicí teploty [18]

### 5.1.1 Austenitizace

Austenitizace spočívá v ohřevu ocelina teplotu vyšší než kritické teploty  $Ac_1$ ,  $Ac_3$  a  $Ac_m$  v diagramu Fe-Fe<sub>3</sub>C (viz obr. ...) a přeměnění feriticko-cementitické struktury, existující za pokojové teploty, na strukturu austenitickou. [19]



Obr. 16 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C [18]

Austenitizace se řadí mezi difúzní přeměny, kde je tvorba zárodků doprovázena jejich růstem. Austenitické zárodky se začnou tvořit po překročení teploty  $Ac_1$  heterogenní nukleací na strukturních poruchách, jako jsou fázové rozhraní mezi feritem a cementitem, či hranice kolonií perlitu. [18]

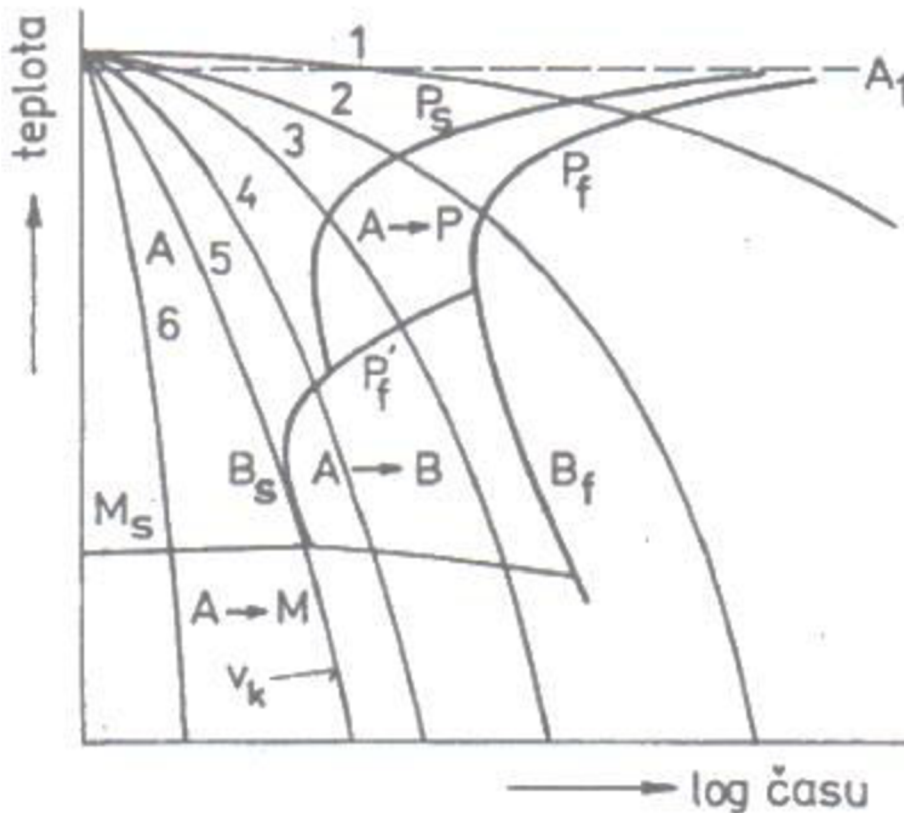
Ve všech uhlíkových ocelích se jako první na austenit začne přeměňovat perlit, dále u podeutektoidních ocelí ferit, u nadeutektoidních se na austenit rozpouští cementit.[19]

Po přeměnění perlitu, nalézáme v austenitu ještě zbytky karbidů, které se postupně rozpustí. Časem a zvyšováním teploty se místní rozdíly v koncentracích uhlíku a přísadových prvků srovnávají – homogenizace austenitu.[18]

Na rychlost austenitizace má primárně vliv výška teploty ohřevu, kdy za vyšší teploty vznikne homogenní austenitická struktura za kratší čas. V opačném případě, tedy za teploty nižší, je nutné delší setrvání na teplotě, což může mít negativní následky ve formě růstu austenitických zrn. Významným faktorem je i chemické složení, hlavně hmotnostní podíl uhlíku a legujících prvků. S rostoucím podílem uhlíku se doba přeměny perlitu na austenit zkracuje, vlivem větší plochy rozhraní feritu s cementitem. [19]

## 5.1.2 Martenzitická přeměna

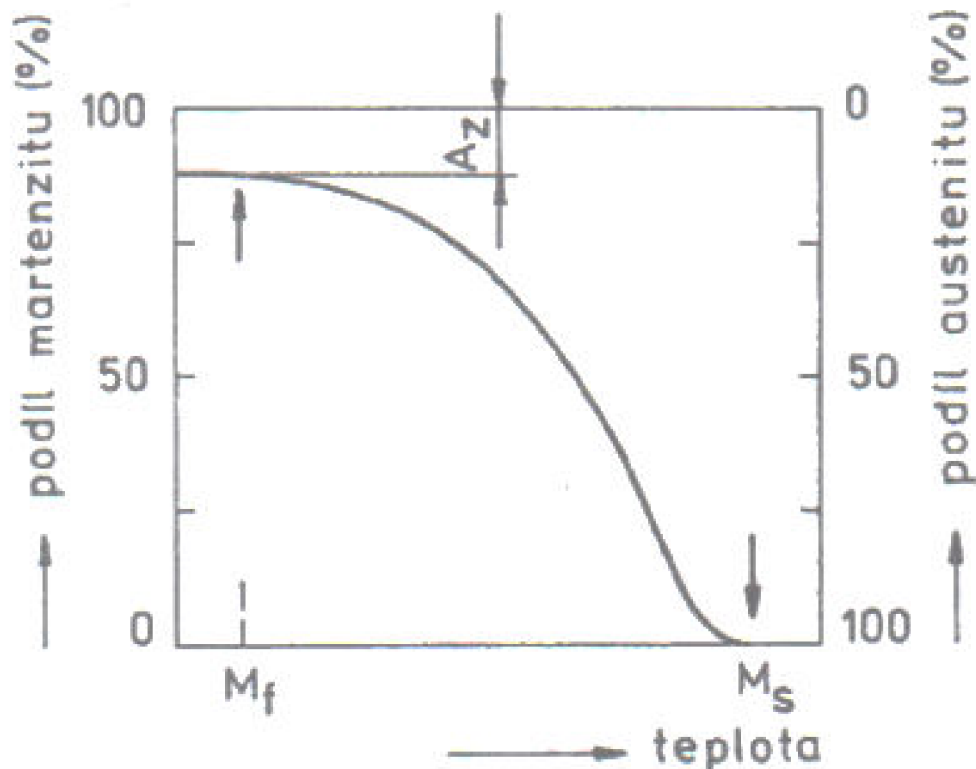
Martenzitická přeměna se řadí mezi bezdifúzní či stříhové přeměny. Austenit, který je ochlazován tak rychle, že je zamezeno difuzi jak substituční, tak i intersticiálních atomů, se transformuje na martenzit, což je přesycený nerovnovážný tuhý roztok uhlíku v  $Fe_\alpha$ . Pro vznik této nerovnovážné fáze je zásadní, aby ochlazovací křivka v ARA diagramu (viz obr...) neprotнула křivku perlitické nebo ještě hůře bainitické přeměny. To znamená, že je potřeba austenit ochlazovat minimálně takovou rychlostí, která nedovolí vznik těchto přeměn. Tato rychlost se nazývá kritická rychlost kalení. Označuje se  $v_k$  a její hodnota se různí v závislosti na chemickém složení oceli a struktuře austenitu. [18]



Obr. 17 Diagram anizotermického rozpadu austenitu (ARA) [18]

Martenzit má tetragonální prostorově středěnou mřížku. Tetragonalita, tedy poměr mřížkových parametrů  $c/a$ , závisí na obsahu uhlíku. Tetragonalita se zvyšuje s rostoucím podílem uhlíku. [19]

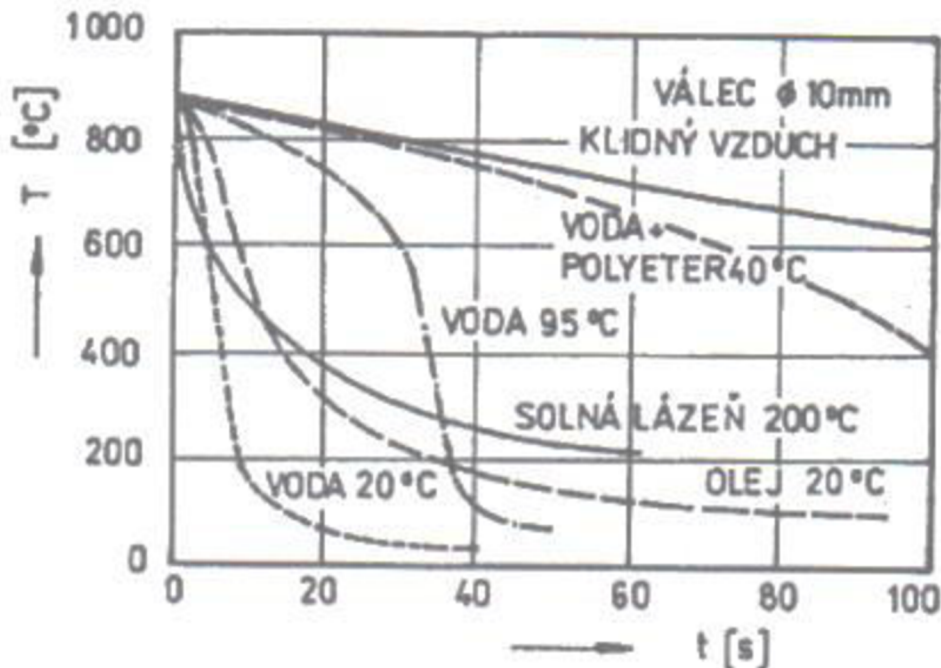
U většiny ocelí má martenzitická přeměna atermický charakter. Tedy pro určitou teplotu z intervalu ( $M_s$ ,  $M_f$ ) je dán určitý podíl martenzitu. Martenzit vzniká extrémně rychle. Martenzitické útvary rostou rychlostí zvuku v oceli. K pokračování martenzitické přeměny je třeba dalšího podchlazení. Martenzitická přeměna je kompletní po dosažení teploty  $M_f$ . Avšak na martenzit není přeměněn veškerý austenit, ten se nazývá zbytkovým austenitem. Podíl zbytkového austenitu je znázorněn na obrázku 18. [18]



Obr. 18 Podíl martenzitu a zbytkového austenitu [18]

### 5.1.3 Kalicí prostředí

V ideálním případě by kalicí prostředí mělo být takové, aby jeho ochlazovací rychlost jen lehce překračovala kritickou rychlost. Jinak by docházelo ke vzniku přílišných vnitřních teplotních a strukturních pnutí. Ideální kalicí prostředí odvádí teplo nejrychleji v perlitické oblasti (v intervalu teplot 650-550 °C), kde je stabilita podchlazeného austenitu nejnižší. Naopak v oblasti martenzitické přeměny (interval teplot 350-250 °C) je vhodná nižší ochlazovací rychlost, při níž nedochází k nadměrným vnitřním napětím, které by mohly zapříčinit vznik trhlin v kaleném materiálu. Na druhou stranu ochlazovací rychlost pod teplotou  $M_s$  (martenzit start) nesmí být zase příliš pomalá, aby nedošlo ke stabilizaci zbytkového austenitu. Různé ochlazovací rychlosti kalicích médií jsou vidět na obrázku... Pro nožářské účely se používá voda, olej a vzduch. Vzhledem k tomu, že olej a voda jsou výparná prostředí, je nutné při jejich použití čepelí v lázni pohybovat. Tímto se zabrání vzniku parního polštáře, jenž by narušoval chladicí proces. [18,19]



Obr. 19 Ochlazovací křivky různých prostředí [18]

### Voda

Rychlé ochlazovací prostředí, mezi jehož výhody patří extrémně nízká cena, nehořlavost. Používá se pro kalení nelegovaných uhlíkových ocelí, neboť je jeho ochlazovací rychlost nejrychlejší v oblasti nosu ARA diagramu (viz obr...). Značnou nevýhodou však je, že voda má vysokou ochlazovací rychlost i v oblasti martenzitické přeměny, což má za následek nárůst vnitřních pnutí. Ohříváním vody docílíme rapidního snížení ochlazovací schopnosti v perlitické oblasti, zatímco v oblasti martenzitické přeměny se ochlazovací schopnost takřka nemění. Tímto dochází ke snížení tepelných napětí, avšak napětí strukturní se zvýší. Z tohoto důvodu není vhodné kalit do vody teplejší než 30 °C. Problém nastává i při kalení do příliš studené vody (pod 10 °C), kdy dochází ke zvýšení deformací kaleného kusu vlivem nárůstu tepelných napětí. Pro většinu nožířských ocelí je voda příliš rychlé kalicí médium a jejím použitím u ocelí, pro které není určena, dochází velmi často k lomu čepule nebo k značné deformaci. [18,19]

### Olej

Jedná se o nejpoužívanější kalicí médium, vhodné pro většinu nožířských ocelí, primárně ocelí legovaných. Má však několik nevýhod jako vyšší cenu nebo snadné vznícení (nutnost používat ochranné pomůcky). Další nevýhodou je negativní vliv na životní prostředí. Ten je však vzhledem k velmi nízké nožířské produkci (jednotky až desítky kusů ročně) zanedbatelný. Oleje ochlazují oproti vodě 3-4x pomaleji v oblasti perlitické přeměny a až 10x pomaleji v oblasti přeměny martenzitické. Kalením do oleje se snižuje riziko vzniku trhlin a deformací, díky malým vnitřním pnutím. Teplota kalicího oleje má oproti vodě minimální vliv na ochlazovací účinnost. Olej je velmi citlivý na kontaminaci vodou, kdy se velmi snižuje jeho rychlost ochlazování. [18,19]



## Vzduch

Vzduch odvádí teplo plynule a velmi pomalu. Ze všech kalících médií je nejmírnější. Je určen pro kalení vysoce legovaných tzv. samokalitelných ocelí. Odvod tepla lze zvýšit prouděním vzduchu nebo přidáním vody, čímž vznikne vodní mlha. [18]

### 5.1.4 Parciální kalení (na tzv. hamon)

Jak už název napovídá, jedná se o kalení částečné. Ne však v tom smyslu, že by zakalení bylo nedokonalé, nýbrž zakaleno je pouze ostří a hřbet nože zůstává měkký a houževnatý. Díky této technologii může nůž popustit na vyšší tvrdost a zvýšit tím odolnost ostří bez toho, že bychom výrazně snížili houževnatost celého nože. Celkově zakalená čepel by musela být popuštěna na nižší tvrdost, jinak by hrozilo její zlomení. Další výhodou je, že po vyleštění a naleptání čepule docílíme velmi estetického barevného kontrastu, kdy části čepule o různých strukturách odděluje linka zvaná Nioi. Hamonovou linku však nejsou schopny vytvořit všechny ocele. Nejpoužívanějšími jsou 19 191 a 14 260.



Obr. 20 Nůž kalený na hamon [20]

Existují dvě metody parciálního kalení. První je kalení s kalící pastou. Druhá kalení bez pasty, pouze ohřevem ostří.

Při kalení s pastou potřeme pouze hřbet nože. Necháme zaschnout a poté nůž kalíme jako standardní. Pokud kalíme v uhelné výhni, dbáme na to, abychom při pohybu nožem v uhlí pastu neodloupli či neodrolili. Výhodou je, že můžeme měnit tvar linky (např. vlnky nebo zuby). Pasta zabraňuje rychlému odvodu tepla do kalícího média, čímž není dosaženo kritické rychlosti ochlazování v zakryté části nože. Ve výsledku má ostří strukturu martenzitickou, na hřbetu se vyskytuje perlit či bainit. Přesné složení kalící pasty většina nožířů tají, ví se však, že základem je kamnářský tmel, do kterého se přidává jemný uhelný prach či vodní sklo.

U parciálního kalení bez pasty nahříváme pouze ostří nože protahováním ostří skrz žhavé uhlí do ohřátí na požadovanou teplotu. Následuje neprodlené zchlazení. Čepel se nesmí ohřívat příliš dlouho, aby se nevyhřál i hřbet nebo nespálilo ostří. [20] Poté však vyvstává otázka, zda měla ocel dostatek času se plně zaustenitizovat.

## 5.2 Popouštění

Popouštěním rozumíme ohřev materiálu na teplotu pod  $A_1$  (viz diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C, obr. 16), setrvání na této teplotě nejčastěji po dobu dvou hodin a následné pozvolné ochlazování. Cílem popouštění je snížení vnitřního pnutí a podílu zbytkového austenitu a stabilizace rozměrů, aniž by byla výrazně snížena tvrdost čepce. Je rozumné nůž popouštět bezprostředně po kalení, neboť vlivem vnitřního pnutí může dojít k zbrzděným lomům. Vlivem popouštění dochází k precipitačnímu rozpadu tetragonálního martenzitu (s vysokým obsahem uhlíku) na martenzit kubický (s nízkým obsahem uhlíku do 0,125%) a přechodový  $\epsilon$ -karbid. Dochází ke zmenšení měrného objemu a rozpadá se i zbytkový austenit. Teplota a doba popouštění ovlivňuje výslednou tvrdost a míru vnitřního pnutí. [18,19]

## 6 Praktická část – výroba kuchyňského nože

### 6.1 Volba materiálu a geometrie ostří pro praktické zadání

V praktické části, tedy výroby kuchyňského nože, byla použita korozivzdorná ocel N690 firmy Böhler. Tato ocel byla zvolena z důvodu nadstandardních vlastností (zejména dosažitelné tvrdosti a korozivzdornosti), relativně nízkým pořizovacím nákladům a dostupnosti v mnoha rozměrových variantách polotovaru. Tloušťka polotovaru (tedy i hřbetu nože) byla zvolena 2,5mm, která při výšce čepele nad 40mm vytvoří velmi ostrý úhel ostří. Čepel tvoří plný klínový výbrus, který zaručuje dobrý řez a jeho výroba není tolik náročná. Konstrukce rukojeti byla zvolena s plnou stopkou (fulltang).

### 6.2 Zhotovení základního tvaru/obrysu nože

Výchozím polotovarem byla pásovina s patřičnými rozměry a tloušťkou shodnou s tloušťkou hřbetu nože. Prvním krokem výroby bylo vytvoření nákresu zamýšleného tvaru nože a přenesení nákresu na pásovinu lihovým fixem.



Obr. 21 Přenesení nákresu

Ještě než se přikročilo k vyřezání obrysu nože, bylo vhodné odvrtat díry pro piny (neboť byla použita konstrukce typu fulltang), dokud měl polotovar dobře upnutelný tvar. Přesnou polohu děr zajistilo naznačení důlčícem. Při značení děr je třeba se vyvarovat vícero slabým úderům, při kterých by důlčíc cestoval po materiálu, a poloha díry by nebyla přesná. Místo toho byl důlčík umístěn na požadované místo a proveden jeden silný úder kladivem. Postup byl opakován, dokud všechny důlky nebyly dostatečně hluboké, aby vrták neuhnul.

Díry pro piny byly poté odvrtány na stojanové vrtačce, aby byla zaručena kolmost. Vrták bylo v průběhu vrtání nezbytné chladit. Eventualitou ještě bylo odvrtat několik odlehčovacích děr ve stopce, čímž by se těžiště přesunulo více do čepele. Vzhledem k tomu, že nůž neměl být určen pro sekání, na poloze těžiště nezáleželo, tudíž k tomuto úkonu nebylo přistoupeno.



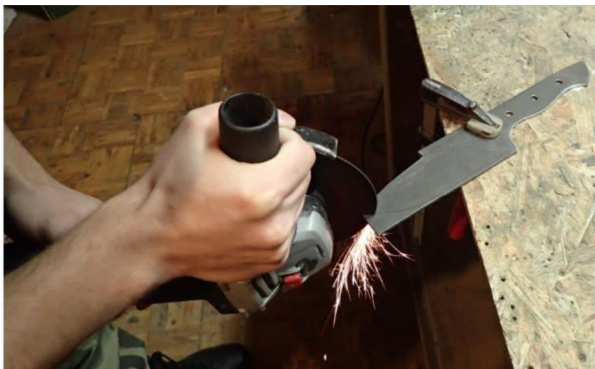


Obr. 22 Naznačení děr dulčíkem



Obr. 23 Odvrtání děr pro piny

Následně bylo možné přikročit k vyřezání obrysu nože. Ten byl nejprve nahrubo obříznut pomocí uhlové brusky s řezným kotoučem. Obřezání by usnadnila pásová pila, tou však má dílna nedisponuje. Konečný tvar nože byl doladěn brusným kotoučem a mikrobruskou s různými nástavci. Pilníkem a smirkovým papírem byly strženy ostré hrany vzniklé broušením, aby se zabránilo pořezání při manipulaci.



Obr. 24 Řezání hrubého obrysu



Obr. 25 Dobroušení konečného tvaru

## 6.3 Zhotovení výbrusu

Dalším krokem byl výbrus čepel. Nejzásadnější problematikou je udržení konstantního úhlu výbrusu po celé délce čepel. Zde si lze pomoci různými přípravky. Pro zhotovení výbrusu je nejpraktičtější použít pásovou brusku. Jiné varianty mohou být uhlová bruska s brusným kotoučem nebo pilník s vodítkem. V tomto konkrétním případě byla použita úhlová a pásová bruska.

Na břit se vždy nechává určité množství materiálu, za prvé, aby bylo z čeho vyrobit fasetu a za druhé, aby se snížilo riziko zkroucení čepel při kalení. Nikdy se nevybrušuje do „nuly“. Taktéž je třeba pamatovat, že se na čepeli po kalení vytvoří vrstva okují (cca 0,1mm), kterou je potřeba odstranit.

Aby nedošlo k vybroušení jedné strany čepel více než druhé, byla spodní hrana čepel natřena permanentním fixem a pomocí rýsovacího posuvného měřidla zhotoveny rýhy z obou stran po celé délce čepel v takové vzdálenosti od kraje, kolik

materiálu bylo potřeba odebrat. Rýhy byly díky kontrastu na obarveném kovu dobře vidět.

Kvůli nedostatku zkušeností s pásovou bruskou, a tím spojeným problémům s udržením konstantního úhlu na počátku broušení, bylo prvotní stržení hrany provedeno úhlovou bruskou s talířovým kotoučem s hrubým smirkem. Ten skýtá výhodu v zapuštěné utahovací matici kotouče, což umožňuje pohodlné broušení v rovině.



Obr. 26 Stržení hrany 1



Obr. 27 Stržení hrany 2

Tímto vznikla část plochy výbrusu, kterou je už možno přitlačit k pásu brusky stabilně. Čepel byla dále na pásové brusce broušena až do chvíle, kdy tloušťka materiálu na břitu dosáhla 0,8mm. Z důvodu obav ze zkroucení při kalení dlouhé tenké čepel bylo rozhodnuto pro zhotovení výbrusu jen částečně (do zmíněných 0,8mm) a jeho dokončení až po tepelném zpracování. Taktéž je důležité, aby čepel byla vybroušena z obou stran rovnoměrně. Pokud by byla mírně zvlňená, při kalení se značně zkrouť.



**Obr. 28** Dobrušování plochy výbrusu

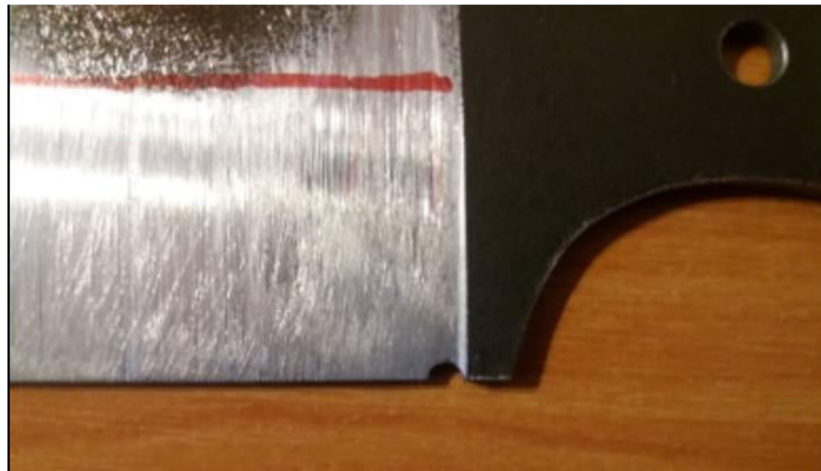
Na obrázku je patrné, že se na dvou místech nepodařilo dodržet zamýšlenou linii výšky výbrusu. To bylo zapříčiněno přitlačením čepele na pás příliš blízko hřbetu. Tato skutečnost však ničemu nevádí, neboť výbrus čepele bude po kalení znova vybrušován až k samému okraji hřbetu.



**Obr. 29** Dokončený částečný výbrus



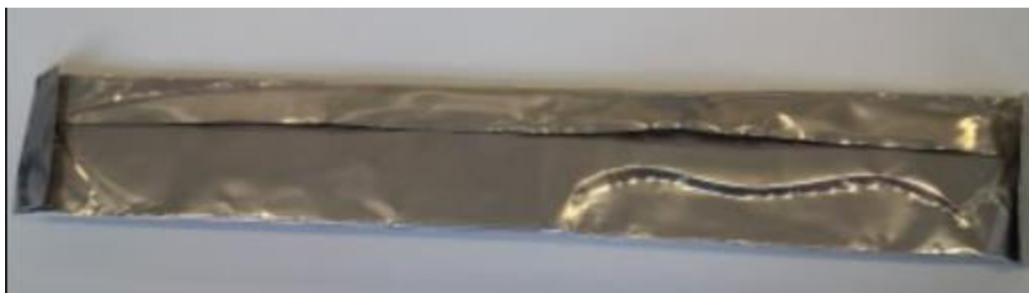
Konec čepule byl opatřen výběhem, který usnadňuje ostření nože v místě přechodu čepule a rikasa. Výběh byl vyroben pomocí kulatého jehlového pilníku.



Obr. 30 Výběh ostří

## 6.4 Tepelné zpracování a měření tvrdosti

Tepelné zpracování bylo provedeno ve školní kalírně VUT FSI. Byla použita elektrická odporová pec. Pro zamezení oduhličení povrchové vrstvy ohřevem v peci byl nůž zabalen do austenitické kalící fólie. Kvůli obavám, že fólie zpomalí ochlazování čepule, byl nůž obalen pouze dvěma vrstvami. Dovnitř balíčku byl vložen kousek papíru, který měl za úkol svým hořením spotřebovat případný zbylý kyslík kolem nože. Sklady fólie byly pečlivě umačkány kleštěmi, aby se dovnitř nedostával vzduch a konce fólie zahnuty tak, aby bylo možné nůž v peci postavit na hřbet, což by mělo zaručit rovnoměrnější ohřev.



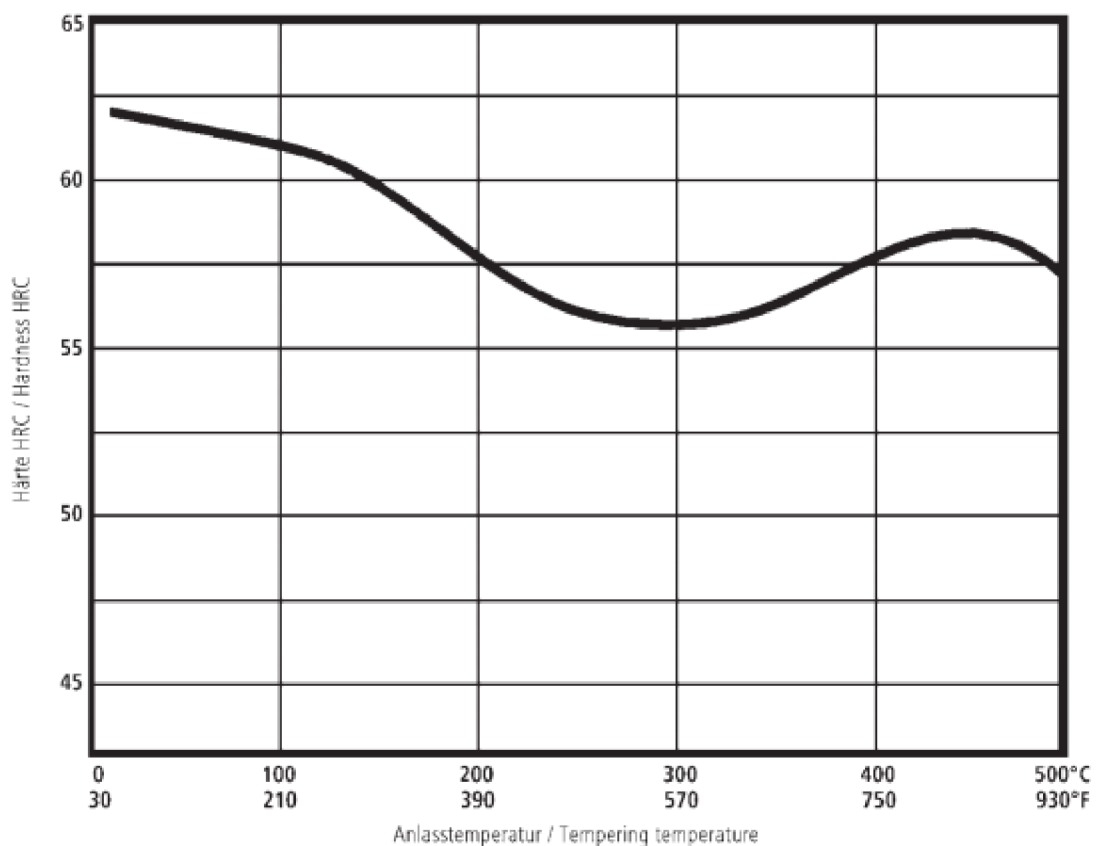
Obr. 31 Nůž zabalený do kalící fólie

Nůž byl kalen dle materiálového listu. Stálo zde, že kalící teplota se má pohybovat v rozmezí 1030 až 1080°C. Byla tedy zvolena teplota 1065°C a na tuto teplotu rozežhána pec. Nůž byl vložen do pece za teploty okolo 1000°C, což při zpětném pohledu, nebyl vhodný krok z důvodu tepelného šoku. Výdrž na teplotě činila okolo 25 minut. Nůž byl zakalen dle materiálového listu v kalícím oleji, zanořením kolmo dolů. Nožem bylo pohybováno do stran, aby se zabránilo tvorbě parního polštáře, který by omezoval přechod tepla z čepule do oleje a mohl tak zabránit vzniku požadované martenzitické struktury. Bohužel vzhledem k tomu, že během kalení

nesmí vznikat časové prodlevy, nebylo možné proces kalení fotograficky zdokumentovat.

Po zakalení byla změřená tvrdost na rikase pomocí Rockwellova tvrdoměru. Byly provedeny 4 kontrolní vpichy. Naměřené hodnoty tvrdosti činily (62,5; 60,4; 61,0; 63,1) HRC. Hodnota tvrdosti 63,1HRC je překvapivá, neboť materiálový list udává maximální dosažitelnou tvrdost po zakalení 62HRC.

Nůž byl poté popuštěn taktéž v odporové peci. Materiálový list udává rozsah popouštěcích teplot 100 až 200°C a popouštěcí dobu 2x1 hodina. Zvolena byla teplota 150°C, která by dle popouštěcího diagramu (viz obr....) měla čepel popustit na tvrdost 60HRC, což je pro kuchyňský nůž ideální hodnota. Čepel byla dle materiálového listu popouštěna hodinu, nechána zchladnout na vzduchu a znovu popouštěna hodinu.



Obr. 32 Graf závislosti tvrdosti na popouštěcí teplotě [21]

## 6.5 Rovnání

Při kalení dochází ke vzniku napětí, které v tomto případě zapříčinilo nezanedbatelné prohnutí nože. Z obrázku ... je patrné, že prohnutí je viditelné pouhým okem. Začíná v přechodu ríkasa a rukojeti a plynule pokračuje k jejímu konci. Takováto deformace znemožňuje připevnění střeňkové rukojeti, a proto musela být odstraněna.



Obr. 33 Prohnutí nože

Pro rovnání nože byl vyroben jednoduchý přípravek. Jeho konstrukce spočívala v třech kusech tlustší kulatiny přivařených ke dvěma odřezkům L-profilu. Ty byly umístěny na čelisti kovářského svěráku a tímto byl vytvořen jednoduchý lis ohýbající nůž třemi body. Rovnání kladivem na kovadlině nepřicházelo v úvahu, neboť vlivem rázů by hrozilo značné riziko prasknutí čepele. Na obrázku 34 je vidět, že pro srovnání poměrně mírného prohnutí bylo potřeba nůž prohnout v opačném směru do extrémní pozice. Zde hrozilo velké riziko prasknutí, avšak nůž byl evidentně správně popuštěn a měl dostatečnou houževnatost, aby k tomu nedošlo. Tímto postupem se nakonec podařilo nůž úspěšně srovnat.



Obr. 34 Rovnění nože

## 6.6 Měření tvrdosti po popouštění

Poté co byl nůž srovnán, byla znova změřena jeho tvrdost, tentokrát po popouštění. Vpichy byly opět umístěny v oblasti ríkasa. Očekávalo se, že tvrdost se bude pohybovat kolem hodnoty 60HRC. Byla však naměřena tvrdost vyšší, a to (61,2; 60,5; 62,8; 61,7) HRC

## 6.7 Dokončování výbrusu a leštění

Po tepelném zpracování bylo třeba z čepele odebrat přebytečný materiál, který byl ponechán kvůli snížení rizika zvlnění čepele vlivem tepelných pnutí. Ponechána byla tloušťka 0,8mm, což je pro fasetu příliš. Čepel byla zbrušena do plného V výbrusu na tloušťku 0,4mm za použití pásové brusky. Při broušení po kalení již bylo nutné dávat pozor, aby nedošlo k vyhřátí čepele pásem a následného snížení tvrdosti.

Následně byla čepel leštěna pro dosažení relativně hladkého povrchu, který při použití nože v kuchyni snižuje ulpívání vody a jiných agresivních látek (jako jsou kyselá šťávy) v povrchových nerovnostech čepele. Leštění bylo prováděno ručně pomocí brusného plátna o zrnitostech 80, 120, 180, 240, 320, 400, 600, 800 a 1000. Každým plátnem o vyšší zrnitosti byl změněn směr broušení o 90° z toho důvodu, aby jemnější zrna odstraňovala rýhy po hrubších zrnech a původní rýhy neprohlubovala.





Obr. 35 Doleštěná čepel

## 6.8 Výroba rukojeti

Rukojeť byla vyrobena ze dvou příložek exotického dřeva Zebrano, podlepených černým plastem. Pro přilepení ke stopce byla použita dvousložková epoxidová pryskyřice. Po zatvrdnutí pryskyřice byla rukojeť profilována pro vytvoření ergonomického úchopu. Povrch dřeva byl přeštěněn jemným smirkem a napuštěn teakovým olejem, který má dřevo chránit proti vlhkosti.

## 6.9 Zhotovení fasety

Ostření bylo provedeno pomocí brusky nástrojů Tormek T8. Úhel fasety, vztažený ke středové ose čepele, byl zvolen 18°. To by mělo zajistit optimální řezné vlastnosti pro použití v kuchyni.



Obr. 36 Broušení fasety





Obr. 37 Hotový nůž 1



Obr. 38 Hotový nůž 2

## Závěr

V teoretické části byla věnována pozornost materiálům vhodným pro čepel nožů, kde byla zaměřena pozornost na rozličné druhy ocelí, neboť jsou nejpoužívanější, a co se vhodnosti týče doposud nepřekonané. Byla provedena charakteristika geometrie ostří ovlivňující řezné vlastnosti a použití nože. Byla objasněna problematika tepelného zpracování, která se řadí mezi stěžejní části výroby nože.

Jakožto produkt praktické části vznikl plně funkční kuchyňský nůž. Byly popsány a zdokumentovány jednotlivé kroky procesu výroby a bylo upozorněno na úskalí, která se mohou při výrobě vyskytnout. Při výrobě došlo k několika chybám, respektive několik úkonů mohlo být provedeno jinak. Mezi ně patří vložení studené čepel do již plně rozehřáté kalící pece, čímž došlo k tepelnému šoku oceli. Vhodnější by bylo ohřívat pec na kalící teplotu spolu s čepelí. Tento šok se naštěstí v rámci dalších kroků výroby nijak neprojevil.

Přestože byla na břitu ponechána tloušťka materiálu 0,8mm, čepel se po kalení prohнула. Nůž bylo tedy nutno podrobit rizikovému rovnání, kdy hrozilo jeho prasknutí. Čepel byla ale podle všeho kvalitně popuštěna, tudíž k lomu nedošlo a nůž byl úspěšně srovnán. Prohnutí při kalení by se dalo předejít zakalením čepel ještě před zhotovováním výbrusu, neboť tlustší materiál nemá tak velkou tendenci se při kalení kroutit. Tento přístup by však s sebou nesl jiná úskalí, jako jsou ztížené obrábění a riziko vyhřátí čepel při broušení, a s tím spojené přílišné popuštění.

Při dokončování výbrusu po kalení vznikly na čepeli hluboké vrypy, zapříčiněné hranou pásu brusky při příliš dlouhém setrvání na jednom místě. Čepel tedy musela být dále broušena pro odstranění těchto vrypů. Během toho došlo ke ztenčení materiálu v místě vrypů. Rozdílná tloušťka materiálu zbylého na ostří dále ovlivnila výrobu fasety. Při ostření pod konstantním úhlem 18° měla tedy faseta v oblasti původních vrypů nižší výšku než ve zbylé délce břitu.

# Seznam použitých zdrojů

- [1] PAJL, Josef. *O nožích: nejen loveckých*. Praha: Grada, 2010. ISBN 978-80-247-3502-3.
- [2] Druhy legovaných nástrojových ocelí. *Tumlikovo* [online]. 2010 [cit. 2019-04-24]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/druhy-legovanych-nastrojovych-oceli/>
- [3] *Nožířské oceli* [online]. [cit. 2019-01-25]. Dostupné z: <https://www.nozirske-oceli.cz/index.php?route=common/home>
- [4] 1.2767 / X45NICRMO4 / 19641 / 19655. *Toolsteel* [online]. [cit. 2019-01-27]. Dostupné z: <http://toolsteel.cz/1-2767-x45nicrmo4-19641-19655/>
- [5] Ocel N690 Nožířské oceli - ocele Nože - Nůž. *Nože-nůž* [online]. [cit. 2019-03-21]. Dostupné z: [http://www.noze-nuz.com/nozirske\\_oceli/N690.php](http://www.noze-nuz.com/nozirske_oceli/N690.php)
- [6] RWL-34 Nožířské oceli - ocele Nože - Nůž. *Noze-nuz.com* [online]. [cit. 2019-02-24]. Dostupné z: [http://www.noze-nuz.com/nozirske\\_oceli/RWL-34.php](http://www.noze-nuz.com/nozirske_oceli/RWL-34.php)
- [7] Uddeholm Vanadis 4 Extra SuperClean. *Uddeholm.com* [online]. [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: <https://www.uddeholm.com/czech/cs/products/uddeholm-vanadis-4-extra-superclean/>
- [8] Nožířské oceli - ocele Sleipner Steel. *Noze-nuz.com* [online]. [cit. 2019-01-30]. Dostupné z: [http://www.noze-nuz.com/nozirske\\_oceli/sleipner.php](http://www.noze-nuz.com/nozirske_oceli/sleipner.php)
- [9] Ocel damascénská. *Artlexikon.cz* [online]. [cit. 2019-01-20]. Dostupné z: [http://www.artslexikon.cz/index.php?title=Ocel\\_damasc%C3%A9nsk%C3%A1](http://www.artslexikon.cz/index.php?title=Ocel_damasc%C3%A9nsk%C3%A1)
- [10] Nože / Knives. *Nože Melichárek* [online]. [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: [http://nozemelicharek.cz/?page\\_id=38](http://nozemelicharek.cz/?page_id=38)
- [11] KOSMÁK, Jaroslav. *Historie výroby oceli*. Brno, 2011. Bakalářská práce. Vysoké učení technické. Vedoucí práce Doc. Ing. Jaroslav Šenberger, CSc.
- [12] RUDOLF, Tomáš. *Damašková ocel*. Brno, 2010. Diplomová práce. Mendelova univerzita. Vedoucí práce Doc. Ing. Josef Filípek, CSc.,
- [13] ČECHLOVSKÝ, Stanislav a Michal ČERNÝ. *Povídání o damaškové a vrstvené oceli - část I.* [online]. [cit. 2019-02-25]. Dostupné z: <http://www.noze-nuz.com/recenze/damasek1/damasek1.php>
- [14] Wootz knife "Promisloviy Big", blade crucible wootz, handle layered stabilized karelian birch (natural color), elk horn, leather-brass. *Rusdamask.com* [online]. [cit. 2019-02-17]. Dostupné z: <https://rusdamask.com/gift-knives/wootz-knife-promisloviy-big-blade-crucible-wootz-handle-layered-stabilized-karelian-birch-natural-color-elk-horn-leather-brass/>

- [15] BUBLÍK, Pavel. Nůž. Praha, 2007. Dostupné z: <http://www.jcots.cz/data/file/prednasky/noze2007.pdf>
- [16] Autumn is coming. *Trollsky Custom Knives* [online]. [cit. 2019-03-10]. Dostupné z: <http://trollsky.com/2018/09/24/autumn-is-coming/>
- [17] KEJDANA, Aleš. Změna mechanických vlastností kovaného profilu [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2019-01-31]. Dostupné z: [https://dspace.upce.cz/bitstream/10195/37090/1/KejdanaA\\_ZmenaMechanickych\\_PS\\_2010.pdf](https://dspace.upce.cz/bitstream/10195/37090/1/KejdanaA_ZmenaMechanickych_PS_2010.pdf). Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Vedoucí práce Ing. Pavel Švanda, Ph.D.
- [18] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002. ISBN 80-720-4248-3.
- [19] BEZECNÝ, Jan. *Vznik trhlin a lomov pri tepelnom spracovaní ocelí*. Trenčín: Trenčianska univerzita Alexandra Dubčeka v Trenčíne, 2007. ISBN 978-80-8075-202-6.
- [20] Kalení na vlnkovaný hamon. *Pospaknives* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.pospaknives.cz/navody/>
- [21] Nožířské oceli. *Nože Velínský* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://noze-velinsky.webnode.cz/products/nozirske-oceli1/>

# Seznam obrázků

Obr. 1 Srovnání jemnosti struktury běžné (vlevo) a práškové oceli (vpravo) ve shodném měřítku

Obr. 2 Nůž ze svářkového damašku, pírkový vzor

Obr. 3 Nůž z wootzu

Obr. 4 Řez sendvičovou čepelí (vlevo varianta s tvrdou složkou mezi měkkými, vpravo varianta s měkkým jádrem)

Obr. 5 Základní typy výbrusů

Obr. 6 Konstrukce fulltang

Obr. 7 Konstrukce na trn

Obr. 8 Mozaikový pin

Obr. 9 Metalografický vzorek

Obr. 10 Graf mikrotvrdosti tepelně neupravených vzorků

Obr. 11 Graf mikrotvrdosti žíhaných vzorků

Obr. 12 Graf mikrotvrdosti kalených vzorků

Obr. 13 Zkouška třibodovým ohybem

Obr. 14 Graf závislosti zatěžovací síly na velikosti průhybu vzorku při jeho lámání

Obr. 15 Kalicí teploty

Obr. 16 Diagram Fe-Fe<sub>3</sub>C

Obr. 17 Diagram anizotermického rozpadu austenitu (ARA)

Obr. 18 Podíl martenzitu a zbytkového austenitu

Obr. 19 Ochlazovací křivky různých prostředí

Obr. 20 Nůž kalený na hamon

Obr. 21 Přenesení nákresu

Obr. 22 Naznačení děr důlčikem

Obr. 23 Odvrtání děr pro piny

Obr. 24 Řezání hrubého obrysu

- Obr. 25 Dobroušení konečného tvaru
- Obr. 26 Stržení hrany 1
- Obr. 27 Stržení hrany 2
- Obr. 28 Dobrušování plochy výbrusu
- Obr. 29 Dokončený částečný výbrus
- Obr. 30 Výběh ostří
- Obr. 31 Nůž zabalený do kalící fólie
- Obr. 32 Graf závislosti tvrdosti na popouštěcí teplotě
- Obr. 33 Prohnutí nože
- Obr. 34 Rovnání nože
- Obr. 35 doleštěná čepel
- Obr. 36 Broušení fasety
- Obr. 37 Hotový nůž 1
- Obr. 38 Hotový nůž 2