



**FAKULTA  
STROJNÍ  
ČVUT V PRAZE**

VYUŽITÍ TECHNOLOGIE  
KOVÁŘSKÉHO SVAŘOVÁNÍ PŘI  
VÝROBĚ KOMPOZITNÍHO MATERIÁLU

2018

**EVA PSZCZOLKOVÁ**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pszczolková** Jméno: **Eva** Osobní číslo: **439325**  
 Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
 Zadávatel/katedra/ústav: **Ústav materiálového inženýrství**  
 Studijní program: **Výroba a ekonomika ve strojírenství**  
 Studijní obor: **Technologie, materiály a ekonomika strojírenství**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Využití technologie kovářského svařování při výrobě kompozitního materiálu.**

Název bakalářské práce anglicky:

**Use of forging welding technology for the production of composite material.**

Pokyny pro vypracování:

Zhodnotit možnosti technologie kovářského svařování při tvrstvení vybraných druhů ocelí. Ověřit změnu tvrdosti v průběhu výroby japonských/samurajských mečů.

Literární studie středověkých kovářských postupů, metalurgických znalostí a jejich konfrontace se současnými teoretickými poznatky. Mapovat celý postup výroby náročného produktu - kalení s ohledem na změnu mechanických vlastností. Diskuse, zvěřý.

Seznam doporučené literatury:

GOŇA, K., RÍČVAJ, P. - VONDRUŠKA, Š. Umělecké kovářství, 1. vyd. Praha, Grada, 2005, 80-247-0918-X  
 HURNÍK, Z.: Samurajský meč. Naše vojsko, 1995

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

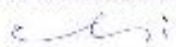
**doc. Ing. Jiří Cejp, CSc., ústav materiálového inženýrství FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **03.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_


  
 doc. Ing. Jiří Cejp, CSc.  
(podpis vedoucího ústavu)


  
 prof. RNDr. Petr Špalečka, CSc.  
(podpis vedoucího ústavu)

  
 prof. Ing. Michael Vališek, DrSc.  
(podpis konzultanta)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Studentka bere na vědomí, že je povinna vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez číh pomoci, s výjimkou posledních konzultací. Seznamem doporučené literatury, jiných zdrojů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

  
 Datum převzetí zadání

  
 Podpis studentky

# Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Využití technologie kovářského svařování při výrobě kompozitního materiálu vypracovala samostatně a použila jsem jen zdroje a pramenů, které cituji a uvádím v příloženém seznamu literatury.

Eva Pszczolková

V Praze dne 15. 7. 2018

# Poděkování

Mé poděkování patří především Doc. Ing. Jiřímu Cejpovi, CSc., vedoucímu mé bakalářské práce, za trpělivost a cenné rady a za spoustu načerpaných znalostí v oblasti materiálového inženýrství. Dále bych chtěla poděkovat pánům Radimovi a Kamilovi Dachsovým, kteří mi poskytli cenné rady, propůjčili a poskytli mi materiál a uvedli mne do technologických postupů, včetně výrobního tajemství, a bez nichž by tato práce nemohla vzniknout. Dále děkuji panu Josefu Mádlovi, zen-budhistickému mnichovi a mistrovi bojových umění s mečem, a panu Jakubovi Zemanovi, kteří mne uvedl k myšlence napsat tuto práci, a bez jejich odborné pomoci by nebyla práce kompletní. Dále děkuji pánům Ing. Vladimíru Márovi a Ing. Janu Krčilovi za jejich pomoc při laboratorním měření a zhodnocení výsledků. V neposlední řadě děkuji svému zaměstnavateli, společnosti Brinlen s.r.o., bez jejichž shovívavosti bych nemohla distančně dostudovat. Mé obrovské poděkování patří mé rodině, za jejich plnou podporu a pomoc za celou dobu studia.

# Abstrakt

Jak již název bakalářské práce Využití technologie kovářského svařování při výrobě kompozitního materiálu napovídá, práce pojednává o použití ocelového kompozitu na výrobu japonského samurajského meče. Popisuje tradiční postup zhotovení meče a sleduje změny vlastností a struktury během výroby. Práce se rovněž zabývá historií nejen japonské společnosti a postavení meče a samurajů, ale také vývojem kovářství a kovářského svařování na našem území. Především se jedná o tradiční výrobní postup mistrů mečířů při výrobě dosud nejtvrděšího, dosud průmyslově nepřekonaného, japonského samurajského meče, který vykazuje neuvěřitelnou tvrdost a odolnost.

Klíčová slova:

japonský samurajský meč, kovářství, kovářské svařování, historie, materiály na výrobu, kompozit, kalení, hamon, vrstvení materiálu.

As the title of the bachelor thesis Use of forging welding technology for the production of the composite material suggests, the thesis deals with the use of steel composite and describes the traditional process of manufacturing of one of the most famous composite materials of steel - the Japanese Samurai sword. The thesis deals with the history of not only Japanese society and the position of the sword and samurai, but also with the development of blacksmithing and forge welding on our territory. Above all, it is the traditional production process of swordmasters in the production of the hitherto hardest, yet industrially unspoiled, Japanese Samurai sword, which shows incredible hardness and durability.

Key words:

Japanese Samurai sword, blacksmithing, forge welding, history, production materials, composite, quenching, hamon, material layering.

## Obsah

Titulní strana bakalářské práce .....	1
Zadání bakalářské práce .....	2
Prohlášení.....	3
Poděkování .....	4
Abstrakt.....	5
1. Úvod a cíl práce .....	7
2. Historie.....	7
2.1. Japonské samurajské meče .....	7
2.2. Výroba železa a vývoj kovářství .....	19
3. Kovářské svařování.....	26
3.1. Technologie kovářského svařování různých materiálů .....	26
3.2. Vhodné materiály pro kovářské svařování.....	28
3.3. Tepelné zpracování.....	30
4. Deformační chování materiálu.....	32
4.1. Mechanismus plastické deformace.....	32
4.2. Mechanismus zpevňování materiálu .....	34
5. Experimentální materiál.....	35
5.1. Nízkouhlíková ocel .....	35
5.2. Nástrojová ocel .....	35
6. Experimentální metody.....	36
6.1. Metalografická technika.....	36
6.2. Světelná mikroskopie .....	42
6.3. Měření tvrdosti .....	43
7. Vlastní výroba meče.....	46
7.1. Příprava výroby .....	46
7.2. Použité zařízení .....	50
7.3. Postup výroby .....	52
8. Výsledky a jejich diskuze.....	57

8.1. Mikroskopie výchozích materiálů.....	57
8.2. Tvrdost výchozích materiálů.....	62
8.3. Průběžné výsledky – struktura a tvrdost.....	64
8.4. Konečné zhodnocení výrobku .....	75
9. Závěr a diskuze.....	76
Seznam použité literatury a citace.....	77

# 1. Úvod a cíl práce

V bakalářské práci se zabývám zkoumáním tradičního postupu výroby výchozích materiálů a technologického postupu při zpracování a výrobě nejslavnější chladné zbraně všech dob, japonského samurajského meče. Téma jsem si vybrala, jelikož se dlouhodobě zabývám studiem bojových umění, a okrajově se zajímám o japonskou kulturu, umění boje s mečem, kaligrafii. Mezi mými přáteli jsou kováři, kteří se výrobou samurajských mečů zabývají, stejně tak odborníci, jež patří k Česko-japonské společnosti a jsou odborníky nejen ve výrobě, ale také mistry v boji, dále zen-budhistický mnich spolu s mým otcem, kteří ve mne probudil touhu dozvědět se o japonských mečích více. Chtěla jsem rozšířit své dosavadní znalosti a načerpat nové, a přiučit se alespoň teoreticky kovářskému umění.

## 2. Historie

### 2.1. Japonské samurajské meče

V Japonsku je meč jako zbraň a zároveň symbol moci odkazem z dob mytických a patří k císařským insigniím (vedle zrcadla a klenotu), které darovala císaři sama pramáti, bohyně slunce Amaterasu.

Nejstarší japonské meče měly dvojsečné, přímé čepele s oboustranným středním žebrem a rozšířeným hrotem – takový meč měl dle legendy i Susanoo, který usekl hlavu osmihlavému drakovi.

Kategorie samurajských mečů lze rozdělit na vyrobené z ocele, jednosečné (s jedním ostřím), zakřivené, speciálně zakalené (tepelně zpracované).

Historie mečů se pak dělí do 4 období:

- Období starověkých mečů – džokótó – do roku 900, kdy meče vyráběli převážně mečíři z Číny a Koreje, centra výroby byla v provinciích Jamato, Mucu a San-in.
- Období starých mečů – kótó – 900-1530 – hlavní bojovou zbraní se stal samurajský meč, vzniklo pět mečířských škol v provinciích Bizen, Jamaširo, Jamato, Sošu a Minó. Každá škola a každá provincie měla vlastní výrobní metody a tradice.
- Období nových mečů – šintó – 1530-1867 –zanikla metoda Pěti škol, u zbraní se kladl důraz na vzhled než na funkčnost, v tomto období hodně zdobené meče, z této éry pochází více než polovina dnes existujících mečů.
- Období moderních mečů – šin-šintó – po r. 1868 –skončil feudální systém a s ním i prestiž samurajů, meče se dál nesměly nosit, mečíři ztratili zdroj obživy a přešli na kovařinu a zámečnicku, spousta mečů byla vyvezena do Francie a USA. [1]

Typy mečů podle délky čepel jsou znázorněny na obrázku (Obr. 1)



Obrázek 1 Daito a Wakizaši (Foto Radim Dachs, jap-swords.com)

- Daitó – dlouhý meč – je každý meč přesahující délku dvou šaku, tj. Více než 600 mm. Je velmi obtížné zakalit rovnoměrně tak dlouhou čepel, ale existuje mnoho kvalitních mečů této délky.
- Wakizaši – krátký meč – jeho délka je mezi jedním a dvěma šaku, tj. Cca 300-600 mm. Byl nošen samuraji jako druhý meč, nebo lidmi, kterým bylo povoleno nosit meč do dvou šaku délky.
- Tantó – krátký meč nebo dýka – je kratší než jeden šaku. Je to druhý meč z páru daišó nošený samuraji jako přídatná zbraň, dále jej používali obchodníci a ženy jako zbraň obrannou. Mají čepel plochou bez středního žebra, bývají označovány jako dýky.



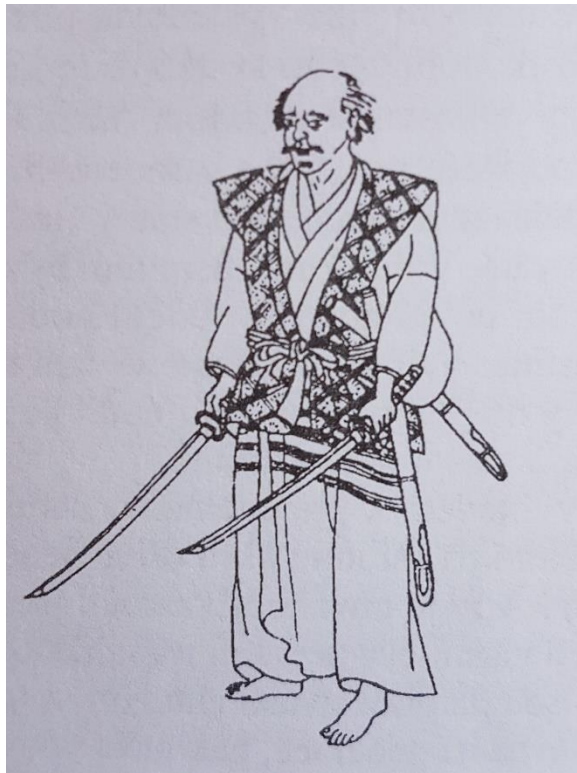
Samurajové utvářeli japonskou kulturu a vládli jí asi 700 let jako vlivná společenská třída. Nejzásadnější okamžiky uvádí následující stručný přehled.

- Období starověku (cca před r. 650) – začaly se objevovat první meče, zpravidla přivezené z Číny a Koreje, tepelným zpracováním méně kvalitní a s převážně přímou čepelí.
- Období Nara (650-793) – bylo založeno hlavní město Nara v provincii Jamato, vzrůstal se buddhismus, rozkvétalo umění, architektura, malby a sochařství – období nazýváno „Zlatým věkem“. Počátkem éry vznikají nové státní zákony a císařská rodina je nastolena jako jediná absolutistický vládce. O umění v mečířství se nedalo mluvit, ale kvůli státní armádě se zvyšovala poptávka po kvalitních zbraních.
- Období Heian (794-1191) – hlavním městem se stalo Heian, dnešní Kjóto, v provincii Jamaširo, moc se přesunula z císařské rodiny na klan Fudžiwara, Japonci se vymaňovali z vlivu Číňanů. Přišel pokrok ve výrobě mečů.
- Období Kamakura (1192-1336) – o invazi na japonské ostrovy se pokusili Mongolové, národní ohrožení vedlo ke vzniku požadavků na nové, účinnější typy mečů, dílny mečířů v provincii Sagami vyvinuly meče, které od těch dob nebyly nikdy překonány. Dochází ke zvyšování nároků na luxusnější život ze strany původně skromných samurajů.
- Období Muromači (Ašikaga) (1337-1573) – v Japonsku existovaly současně dva císařské dvory, následovalo nejtemnější období v japonské historii, docházelo k bojům mezi feudálními pány, éra válek trvala více než 100 let, potřeba mečů rostla, v Kjótu vzkvétalo mečířské umění.
- Období Azučí-Momojama (1574-1602) – hlavním městem byla Ósaka a výroba mečů prosperovala.
- Období Edó (Tokugawa) (1603-1867) – celému Japonsku vládne rod Tokugawů z hlavního města Edó (dnes Tokio), byly stanoveny základní zákony a rozdělení společnosti (na feudální pány, samuraje, farmáře, umělce a obchodníky).
- Období Meidži (1868-1912) – císař Meidži se chopil vlády a z Tokia udělal hlavní město a vydal edikt zakazující nošení mečů s výjimkou policistů a vojáků ve výslužbě. [1]

Podle dostupných pramenů lze v japonské historii až po období Meidži napočítat celkem okolo 13.000 mečířů, můžeme připočítat i ty, kteří se výrobou mečů neživilí a ty, o kterých se ví, ale není historicky doložena jejich existence, a dojdeme k číslu okolo 20.000 mečířů.

Pokud uvažujeme celoživotní výrobu každého z nich cca na 100 ks, vyjde celkový počet v Japonsku vyrobených mečů na zhruba dva miliony.

Slovo samuraj pochází ze slovesa savorou, jehož význam podporovat, sloužit, jasně ukazuje postavení samuraje vůči svému pánovi. Samurajové měli dříve povinnost na zavolání pozdvihnout zbraň pro svého pána, což jim sice dodávalo autoritu a právo prosazovat dodržování zákonů, ale materiálně se nelišili od ostatních vesničanů z vesnice. Až do 14. století se všichni svobodní občané, ať už ozbrojení, nebo ne, označovali hjakušó, později označení pro selský lid. Po 16. století se oddělily třídy – rolníci nesli odpovědnost za obdělávání půdy, samurajové za udržování pořádku a shromažďování výnosů, svatby mezi vrstvami se nepovolovaly. Chudý samuraj stál společensky výše než bohatý rolník, měl totiž privilegia, která mu zaručovala jeho nadřazené postavení, především mohl nosit zbraň, což bylo symbolem urozenosti. Jejich symbolem byl meč. Prvním milníkem na cestě životem samuraje byly 5. narozeniny, kdy získal povolení nosit válečnický oděv a dřevěnou napodobeninu meče a odznak svého stavu. Později nosil tupý ale opravdový meč, od 15 let nosil již funkční a použitelný meč a od té doby je považován za muže. Pak musel následovat také Kodex cti válečníka, tzv. Buši-dó = Cesta válečníka, který zdůrazňoval oprávněné použití meče a informoval nositele o tom, že meč je nástroj spravedlnosti a nikoliv zbraň. Kodex cti shrnoval 7 rozličných vlastností válečníka, kterými se pravý samuraj měl vyznačovat: spravedlnost, odvaha, benevolence, zdvořilost, důvěryhodnost, čest, oddanost (věrnost).



Obrázek 2 Samuraj (Foto [1])

Samuraj (Obr. 2) nosil dva meče, tzv. daišó – katana a wakizaši, na levé straně, prostrčené opaskem obi, s ostřím vzhůru. Delší meč, katana, se nosil jen venku, kratší meč, wakizaši, se nosil stále. Samurajové se učili bojovat se všemi druhy zbraní: kopím, tyčemi, mečem, řetězy, srpem, a i v dnešním Japonsku existují školy, které takové zbraně využívají dodnes.

Samurajové mají i své vlastní náboženství, které je založeno na soucitu s bližním a odporu k jakýmkoli vojenským aktivitám vůbec. Životní filosofii samurajů lze dohledat v šintoismu, který předepisuje bezvýhradnou úctu ke starším, která tvoří základ života a vědomí kultovní sounáležitosti s předky, učení synovské lásky a podřízení všech osobních záležitostí potřebám rodového společenství. Samotné buddhistické náboženství Zen bylo do Japonska přineseno ve 12. století, v době společenského vzestupu samurajů. Toto náboženství jim pomohlo dosáhnout mentální a duchovní kázně, učil je sebezapření, spoléhání na sebe sama, pohrdání smrtí, a především nutnosti nenechat se jakýmkoliv důvodů odvést od hlavní role svého života – boje za správnou věc svého pána.

Samurajský meč je sečná zbraň a jako taková nahradila zbraně s bodnou funkcí. Mečíři hledali formu čepel, která by měla rovnoměrnou a zároveň efektivní funkci po celé své délce. Objevili, že tvrdá a ostrá čepel praskne při nárazu na zbroj, naproti tomu měkká houževnatá nezlomitelná čepel se ohne, dalším problémem byla váha zbraně ještě použitelná v boji (ideální hmotnost je mezi 1-1,5 kg, zpravidla 1,2 kg pro Evropany). Při výrobě čepelí měl každý mečíř, každá mečířská škola i odnož svoji vlastní technologii výroby a pracovní postup, který udržoval v tajnosti. Tajemství se předávalo z otce na syna, z mistra na žáka pouze ústní formou s názornými ukázkami, takže rodová tajemství bránila rychlejšímu rozvoji mečířského řemesla v Japonsku. Staří mistři nezaznamenávali své objevy ani poznatky, neexistovaly moderní prostředky např. ke změření teploty nebo tvrdosti materiálu, tak používali pro popis přirovnání z přírody. Pro příklad: „Při závěrečném kalení zahřej ocel do barvy vycházejícího měsíce za červnového či červencového večera.“, nebo „Při závěrečném zakalení ponoř čepel do vody mající teplotu jako v únoru nebo v srpnu.“ Jeden z největších mistrů z éry Nových mečů, Suišinši Masahide (1750-1825) intenzivně studoval staré mistry tak, že jsme schopni dnes pochopit něco ze starých metod.

Výrobní postup se od dávných dob nezměnil, a tak má tato technologie v Japonsku více než tisíciletou tradici. Po celou tuto dobu se předávala ústně z otce na syna. Písemné doklady jsou vzácné. Hlavním znakem a charakteristickým pro japonské samurajské meče je bělavá linie, japonsky zvaná hamon a je vyobrazena na obrázku (Obr. 3). [3]



Obrázek 3 Pohled na linii hamon

Vzniká kalením následkem rozdílného pokrytí čepelí tenkou a tlustou vrstvou jílovité kaše, tomuto způsobu kalení se v Evropě říká selektivní kalení. Kalení v kalící lázni je tedy nejzásadnější okamžik, protože při kalení čepel ožije, získá svoje zakřivení a charakteristický tvar a meč dostane svoji duši a ukáže hamon, který určuje kvalitu zpracování. Jedná se o nejdůležitější estetický prvek čepelí, podle kvality hamon se určuje hodnota zbraně. Všechny hamon nejsou stejné, vzory záleží přímo na volbě a kreativitě mečíře, může to být rovná nebo klikatá čára, série oblouků nebo cokoli mezi tím. Je známo několik desítek základních tvarů, neexistují však dva meče, které by měly totožný hamon, totožné kalení.

Vykovat kvalitní meč není jen otázkou manuální zručnosti, ale obecně uměleckého cítění, technických znalostí a zároveň jako součást kultovního konání. Mistr mečíř, než začal kovat, podstoupil rituální akt očisty těla, oblékl se do čistého oblečení a vlasy si zakryl

lodičkovou čepicí, poklekl před domácí oltář a meditací soustředoval ducha na nadcházející práci. Pracovní prostor ohradil provazem a chomáčky z rýžové trávy a papírovými pásky, aby chránil pracoviště před znečištěním.

Díky dokonale zvládnutému tepelnému zpracování – kalení a temperování a využitím přirozených vlastností oceli, vyrobí mečíři čepel s relativně měkkým a houževnatým perlitovým pláštěm, a tvrdým martenzitovým ostřím. Pozoruhodné, když si uvědomíme, že japonský meč je jedním kusem oceli zahrnujícím rozličné krystalické struktury, kdy je uvnitř čepel jádro z měkké, nízkouhlíkové oceli, za účelem zvýšení pevnosti meče.

Dalším estetickým prvkem mečů jsou stopy po překládání. I ty jsou viditelné, stejně, jako hamon, jen po dokonalém odborném vyleštění. Jeví se jako drobné vrstvy kovu, při dobrém prokování spíše podobné jednotlivým zrnům kovu. Tomuto „nahlédnutí dovnitř čepel“ se říká hada. Ta má různé tvary a rozeznává se i její hrubost. Může mít jen rovné linie, může být vlnitá ve tvaru let dřeva, nebo ve tvaru jakýchsi velmi jemných chuchvalců. Na kvalitě hady a hamon se dá poznat, jak zručný mečíř byl a jak dobrý je daný meč. Krása, výjimečnost i jistá tajemnost japonských mečů bud zájem sběratelů a znalců, a udržuje i dnes, kdy meče již nejsou používány jako zbraně, po nich poptávku. Obdiv a úctu zasluhuje také jejich dokonalá geometrie a moderní tvarosloví. [3]

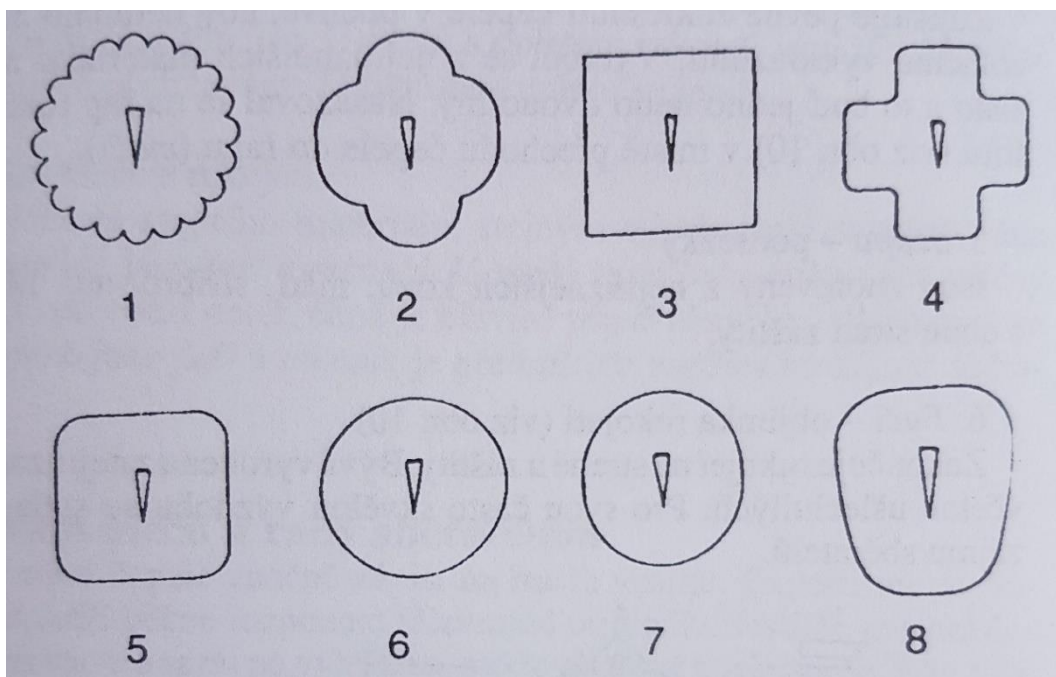
Čepel je hotová a nastává tvorba meče. Následuje hrubé broušení. Broušení může dělat mečíř buď sám, nebo předává brusiči (Obr. 4).



Obrázek 4 Brusič (Foto [1])

Čepel dostává základní tvar a formu, a pokud hrubé broušení provádí mečíř, sám se může přesvědčit o dokonalosti svého díla – dají se odhalit trhliny, praskliny či jiné defekty materiálu. Broušení mečů, stejně tak jako samotná výroba meče, se řadí mezi velmi důležitý proces, jelikož nabrousit meč mohla být záležitost i několika dní i týdnů. Broušení a leštění určuje tvar čepule, oživuje hamon, odhaluje strukturu oceli a leštěním se vyhlazuje povrch do zrcadlového lesku. Při výrobě meče zanechává každá z výrobních technik stopy někde v materiálu, a pokud se podaří perfektně vyhladit povrch kovu, všechny tyto stopy jsou jasně viditelné. I ten nejjemnější leštící kámen způsobuje, i když jemné, přece jen škrábance. Při broušení se proto používá několik brusných kamenů odstupňované jemnosti, kterými se odhaluje to nejlepší z meče. Pracovní pozice brusiče je v podřepu na nízké stoličce s pravým kolenem pokrčeným do podpaží pravé ruky, pravou nohou se přišlapávají brusné kameny, levá noha je stočená pod tělo. Používá se také nádoba s vodou na svažující se plošině – sklon pomáhá pro kontrolu brusného kamene (směr broušení, náklon čepule, přitlačná síla) a odtok vody. Brusné kameny jsou nejčastěji z pískovce nebo vápence. Základními kameny jsou arato (přírodní pískovec, 180 grit, nové meče nebo silně poškozené a zkorodované), binsui (přírodní pískovec, 280-320 grit, zdokonalování geometrie, linií a tvaru), kaisei (400-600 grit, uhlazení povrchu, tmavnutí kovu, zrcadlení, vystupují obrysy hamon, tvary a linie čepule, která už se pak nedala změnit), nagura (800-1500 grit, kývavý pohyb, linie kalení hamon), uči-gumori (3000 grit, podélná práce, docházelo k vlastnímu broušení, čistá linie kalení hamon). Kameny pro finální leštění připomínají spíše průsvitné, jako papír tenké oplatky – hazjuka, džizuja, nugui, hadori. Poté následuje finální broušení a vyhlazování. Po dokončení se vrací meč mistrovi mečířovi, který, pokud je spokojený, opatří řap (část čepule, která se schová do rukojeti) svojí signaturou, kdy malými sekáči vyrazí do řapu svoje jméno a další údaje, které tam chce mít on nebo majitel zbraně, případně přidá rytiny. Takové označování se nazývá hi. Řap je část čepule, která se nikdy neleští ani nečistí, a právě dle toho se dá určovat datace a původ meče. Tato část čepule se nikdy neleští ani nečistí, a právě podle něj se určí datace a původ meče.

Meč se pak skládá z několika menších částí, které tvoří finální podobu (Obr. 7). Prstenec habaki slouží jako ozdoba a zároveň zabraňuje samovolnému vypadnutí čepele z pochvy – ze strany čepele dosedá na osazení a z druhé strany je přidržován rukojetí. Vyrábí se především z mědi, stříbra nebo zlata. Tím, že se směrem od základny ke hrotu zužuje, vklouzne snadno do pochvy, pevně čepel zafixuje, přičemž ještě udrží malou vůli mezi čepelí a dřevem pochvy. Následně se zafixuje záštitou (Obr. 5 a Obr. 6).

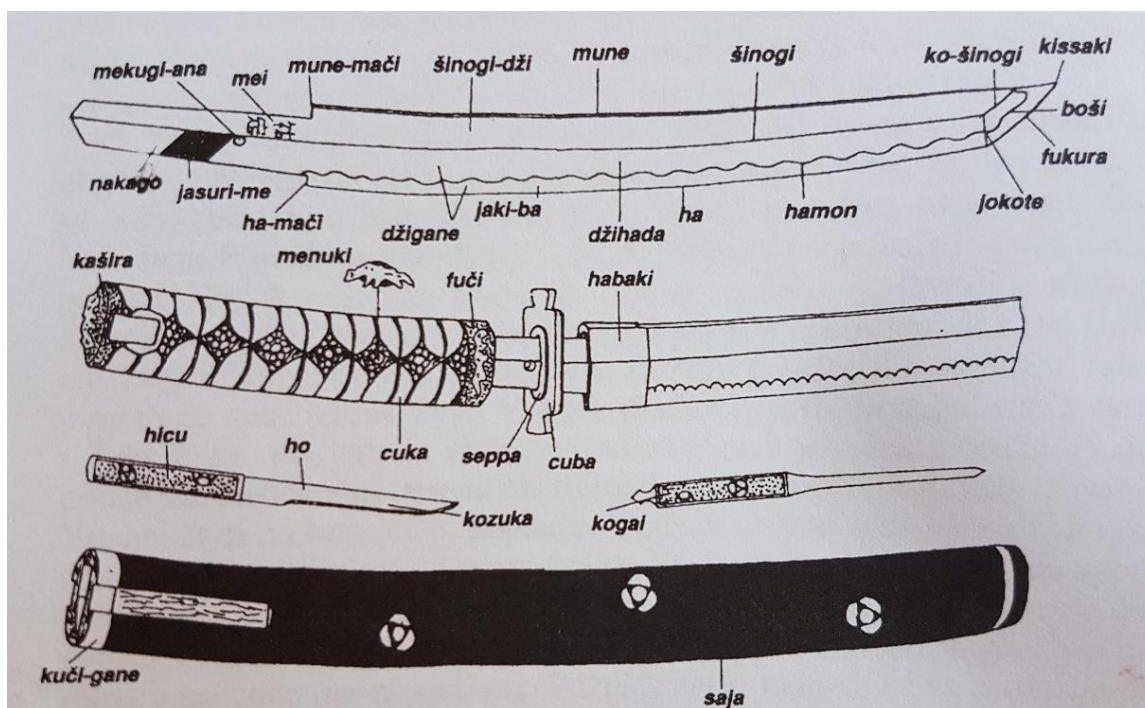


Obrázek 5 Ukázka záštit pro samurajský meč (Foto [1])



Obrázek 6 Záštity vyrobené bratry Dachsovými

Samotná výroba prstence je stejně rozsáhlá jako výroba meče – polotovar se vysekne z plechu, následně se vytvaruje a vyleptává základní obdélník do kónického zúžení, pak se pasuje na čepel, zapasuje se pomocí klínku ze stříbra, piluje se a potahuje fólií.



Obrázek 7 Sestava meče tvořená jednotlivými částmi (Foto [1])

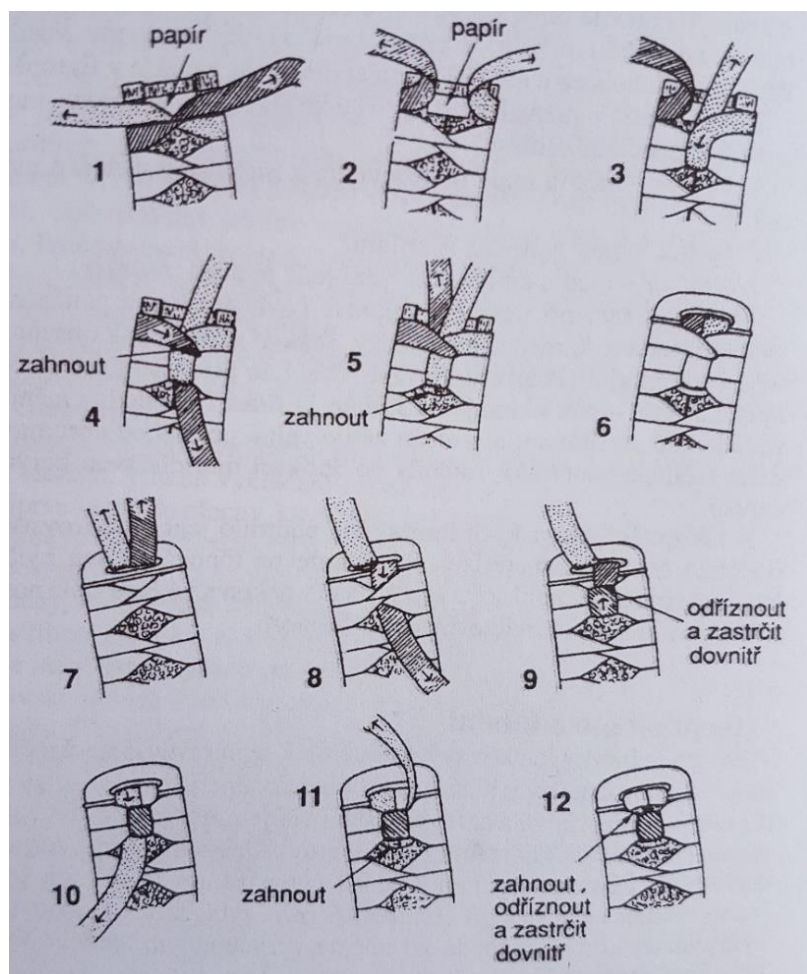
Pochva saja poskytuje leštěnému japonskému meči chráněné prostředí, jelikož jen tak se může uchovávat, pochva je součástí soupravy zvané koshirae. Pochva je dřevěná, nejčastěji ze dřeva ho – magnolia obovata. Toto dřevo je měkké, nepoškodí čepel, je snadno opracovatelné, má pravidelnou strukturu a neobsahuje žádnou zbytkovou vlhkost. Nejdůležitější na pochvě je slícovanost s čepelí, pochva musí být šitá na míru každému meči, spoje se dělají perfektně těsné a pevné, aby zabránily pronikání nečistot a vlhkosti, nebo případnému rozpadnutí nebo vypadnutí při nárazu. Celkový vzhled odráží charakter meče uloženého uvnitř. Řezbáři si dřevo uchovávají několik let a ke každému meči pečlivě vybírají, jak staré dřevo se hodí ke konkrétnímu meči – kvalitou, strukturou, tloušťkou a požadavkům zákazníka. Polotovar se rozřízne, hobluje se zvnějšku na hrubo, následně se hoblují vnitřní plochy, vydlabe se vnitřní prostor, dvě poloviny pochvy se slepí, povrch se opracuje do požadovaného tvaru, jemně se opracuje, vyvrtá se otvor pro čep, povrch se velmi jemně ohobluje, a nakonec se speciálně vyleští uvařenými přesličkovými stonky nalepenými na špalíky dřeva, aby pochva získala jakoby voskovaný vzhled. Poté může být povrch pochvy dále zdoben – lakováním, řezbami, potahování fóliemi nebo rejnočí kůží, zdobení perletí, mušličkami, slonovinovou kostí, přírodními plody a bobulemi, květinami apod.





Obrázek 8 Ukázka hotové rukojeti

Rukojeť je pak polotovar z pochvy ve formě kusu dřeva, který se potahuje rejnočí kůží především kvůli zpevnění rukojeti a zlepšení uchopení meče (Obr. 8). Před nalepením kůže se oba konce polotovaru musejí slícovat s hlavicí na jednom a objímkou na druhém konci. Rukojeť se následně oplete hedvábnou nebo bavlněnou stuhou, nebo koženým páskem, po dokončení složitého opletu (Obr. 9) se pod stuhy umístí případné ozdoby rukojeti. Pak se rukojeť nasadí na meč, do otvoru se vloží a úderem vloží bambusový kolíček mekugi, který drží celou rukojeť pohromadě.



Obrázek 9 Oplétání rukojeti (Foto [1])

Vzniká finální výrobek, kompletní sada zvaná koshirea (Obr. 10).



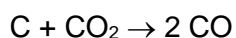
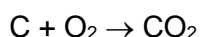
Obrázek 10 Hotová sada koshirea bratrů Dachsových (Foto Radim Dachs, jap-swords.com)

## 2.2. Výroba železa a vývoj kovářství

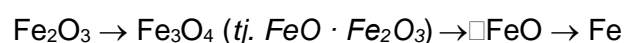
Výroba kujného železa se dělí na přímou a nepřímou. Při přímé výrobě se jedním technologickým procesem získá z rudy kujné železo (ocel). Nepřímá výroba v prvním technologickém procesu vyrobí křehký meziprodukt (surové železo), které se dále zkuňuje v následném ocelářském procesu.

Nejběžnější (tj. nepřímá) výroba surového železa probíhá ve vysokých pecích. Jde o kuželovité šachty, do kterých se kontinuálně naváží vsázka tvořená rudou, palivem a struskotvornými přísadami. Rudy jsou výše uvedené minerály nebo hmoty z nich připravené. Důležité je chemické složení - min. 50 % Fe a co nejméně škodlivých příměsí – a fyzikální vlastnosti – vlhkost, pevnost a příznivá kusovitost (nejlépe zrna 10 - 25 mm). Některé typy rud není možné nebo vhodné používat přímo, ale předupravují se a do vysoké pece jdou ve formě pelet nebo aglomerátu. Palivem je hutnický koks, který zároveň slouží jako redukční činidlo. Jde o hmotu s obsahem uhlíku nad 85 % s vysokou výhřevností. Nejvýznamnějšími struskotvornými přísadami jsou vysokoprocenní vápenec -  $\text{CaCO}_3$ , dolomit-  $\text{CaMg}(\text{CO}_3)_2$  nebo přechodný dolomitický vápenec.

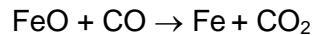
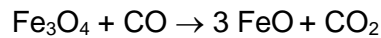
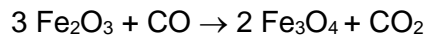
Princip výroby železa ve vysoké peci je následující: koks se spaluje v proudu přehřátého (a někdy zvlhčovaného) vzduchu, který je do pece vháněn zespodu výfučnicemi. Spalování uvolňuje velké množství tepla při vzniku oxidů uhličitých a uhelnatých. Redukční vlastnosti má jen oxid uhelnatý, oxid uhličitý se na něj ovšem opětovně transformuje při reakci s koksem (3. reakce):



S gravitačním klesáním materiálu do spodní části pece se materiál dostává do oblasti stále vyšších teplot. Při teplotách nad 570 °C se rozkládají i oxidy železa s výjimkou FeO podle schématu:



Redukce železných rud na surové železo probíhá ve dvou stupních. Prvním je nepřímá redukce oxidů železa oxidem uhelnatým, druhým přímá redukce, ke které dochází na styku úlomků koksu a železné rudy:



Vyredukované železo díky své vysoké hustotě klesá do spodní části pece, kde se v níže hromadí. Při jeho stékání přes koks však dochází k rozpouštění uhlíku a nauhličení kovu, takže surové železo obsahuje obvykle okolo 3,5 % uhlíku.

Struska i surové železo vznikají při tavbě neustále, proto je nutné je z pece pravidelně vypouštět. Surové železo se dále zpracovává na oceli nebo litinu – buď se přepravuje v tekutém stavu, nebo ve formě odlitků - tzv. housek.

Celý proces probíhá průběžně a odstávky pecí a přerušení výroby nastávají obvykle jednou za 5 až 15 let. Existuje více konstrukčních variant pecí. Snahou je využít co nejefektivněji teplo a odpadní plyny – obojím se předejde ohřívání vzduch vháněný do pece i pevná vsázka. Pro vylepšení energetické bilance a zvýšení výkonu pece se výfučnými může do níže přivádět i zemní plyn, ropa nebo její deriváty, uhelný prach nebo kyslík. Základní konstrukce vždy využívají jako vyzdívku žáruvzdorný materiál – nejčastěji šamot.

Železo sehrálo ve vývoji lidstva důležitou roli. Vyspělost národů byla posuzována i podle jejich znalostí zpracovávání železných rud. Přesnější stanovení počátku výroby železa je obtížné. Znalost železa je doložena nečetnými nálezy už ze starší doby kamenné. Protože však ještě několik tisíc let člověk neuměl dosáhnout teplot nutných pro tavbu železných rud, šlo o železo, které se v přírodě nacházelo v ryzí formě (tzv. meteorické železo – železo-niklové meteority). Úplně první železné předměty vyráběné tavbou pozemských železných rud pochází z období 3000 až 2000 let př. n. l. z oblasti Egypta, Anatólie (poloostrov Malá Asie, dnešní Turecko), Mezopotámie (území dnešního Iráku) a údolí řeky Indus (dnešní Pákistán). Železo bylo vhodnějším kovem než bronz kvůli vyšší tvrdosti a hojnosti železných rud, i když kvůli vysoké teplotě tavení rud (1300–1350 °C) bylo jeho získávání technologicky náročnější. Železo však svým používáním vytlačilo bronz a stalo se nejvíce používaným kovem a následně byla po něm pojmenovaná i celá doba železná. Původně se železo vyrábělo přímo z rud v pecích různých obměn, vytápěných dřevěným

uhlím. Vyredukované železo ve formě tzv. železné houby bylo pórovité a nebylo dobře oddělené od strusky, díky menšímu obsahu uhlíku ale bylo kujné. Tato svářková ocel obsahovala až 99,8 % Fe, 0,004 - 0,006 % C.

Inovací výroby oceli byly tzv. pudlovací pece vytápěné černým uhlím, použité poprvé Henrym Cortem v roce 1784. Surové železo se roztavilo v plamenné peci s mělkou nístějí a za stálého míchání taveniny byly nežádoucí prvky oxidovány a přecházely do strusky bohaté sloučeninami železa, zatímco ocel chladla ve formě houbovitého železa. Zásadní změnou výroby oceli přinesl nástup průmyslové revoluce. V roce 1855 si anglický vynálezce Henry Bessemer nechal patentovat princip výroby oceli dmýcháním vzduchu do roztaveného železa ve sklopné válcové nádobě – konvertoru. Bessemerův konvertor pracoval s kyselou dinasovou vyzdívkou a kyselou struskou, nebylo v něm možno odstranit ze surového železa síru ani fosfor. Tento nedostatek byl odstraněn zásaditou vyzdívkou konvertorů, kterou si nechal patentovat další anglický vynálezce Sidney Gilchrist Thomas v roce 1878. Thomasův konvertor našel hojné využití v rudách, které obsahují větší množství fosforu ve formě fosfátů. Ocelářská struska bohatá fosforem byla využívána v zemědělství jako hnojivo. Ve vsázce do těchto konvertorů mohl být podíl ocelového odpadu obvykle do 3 hm. %.

Dalším pokrokem bylo použití pecí s uzavřenou nístějí a předehříváním topného plynu a vzduchu, umožňujících dosažení vyšších teplot a zpracování neomezeného množství ocelového odpadu (šrotu). Tyto pece německého inženýra Carla Wilhelma Siemense byly od roku 1856 využívány ve sklářství, pro ocelářství je použitím žáruvzdorných materiálů adaptovali Francouzi Emile Martin a Pierre Martin roku 1864. Jejich Siemens-Martinské pece představovaly efektivní systém využití tepla a ve velkém se používaly ještě počátkem 2. poloviny 20. století.

V roce 1902 se ocel začala vyrábět v elektrických obloukových pecích a elektrických indukčních pecích.

V současnosti jsou pro výrobu oceli nejvyužívanější kyslíkové konvertory, též nazývané LD (Linz-Donawitz) konvertory. Proces zkujňování v nich probíhá dmýcháním kyslíku do tekutého surového železa. V současnosti je železo nejhojněji využívaným kovem.

Železo se v přírodě vyskytuje poměrně hojně, ale jen výjimečně se na zemském povrchu vyskytuje v ryzím stavu. Pro výrobu železa jsou ovšem z hlediska obsahu kovu, hojnosti výskytu a technologie zpracování jen některé minerály, jak uvádí následující tabulka s přehledem nejpoužívanějších rud železa. (tab. 1).

Tab. 1 Nejpoužívanější rudy železa. Pozn.: limonit není samostatný minerální druh, ale směs hydratovaných oxidů železa s převahou goethitu a lepidokrokitu. Maximální obsahy železa jsou teoretické, v rudě jsou vždy přítomny i nerudní minerály (tzv. hlušina), které jeho obsah významně snižují.

minerál	krystalochemický vzorec	skupina	max. obsah Fe (%)	průmyslový význam
magnetit	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	oxidy	72	velký
hematit	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	oxidy	70	velký
„limonit“	FeO(OH) · n H <sub>2</sub> O	oxidy	50 - 69	střední
siderit	FeCO <sub>3</sub>	uhličitany	48	střední
chamosit	(Fe,Mg) <sub>5</sub> Al[(OH) <sub>8</sub>  AlSi <sub>3</sub> O <sub>10</sub> ]	křemičitany	< 38	malý

První železné předměty, které nesou znaky zpracování člověkem, byly objeveny na území dnešního Íránu, Egypta a Sýrie. Jednalo se o zbraně, amulety a nástroje patřící ke starým kulturám Mezopotámie z období 3. tisíciletí př. Kr., u nichž byl použit materiál zemského nebo meteorického původu. Již u těchto předmětů lze dokladovat kovářské techniky vytahování, rozšiřování, rozštěpování, ostření a probíjení materiálu. Nálezy z Turecka nebo města Uru svědčí o tom, že kováři východních kultur uměli zpracovat tento náhodně získaný materiál a poznávali jeho důležitou vlastnost, tedy kujnost. V naší zeměpisné šířce byly objeveny železné nálezy z doby bronzové v Německu, ve Francii a na Slovensku. Jednalo se o prsteny, plíšky, jehlice a rukojeti dýk. Všechny tyto předměty byly ve své době vysoce ceněny a ukládány mezi vzácné poklady, a samotné železo bylo považováno za drahý kov. [2]

K většímu rozvoji výroby železa došlo ve 12. a 11. století př. Kr. v Asii a jižní Evropě. Snadněji dostupná ložiska měděné rudy slábla a nároky na výrobu nástrojů stoupaly. Zatímco bronzové předměty byly převážně odlévány, lití železa bylo objeveno o mnoho století později. Zatím jedinou cestou zpracování železa se stalo kování. První železné předměty kopírovaly tvar bronzových litých forem. Později kováři nabyli větší zkušenosti i zručnost a začali používat nové postupy při tvarování kovu. Poznatky o zpracování železa přišly na území dnešní Evropy ve 2. polovině 1. tisíciletí př. Kr., v tzv. haštatském období, a to ze dvou center, která od sebe byla sice vzdálená, ale která čerpala z kultury řecké civilizace. Šlo jednak o oblast severnější – černomořskou, a jednak o oblast italskou. Kováři této doby přispěli k dalšímu rozvoji svého řemesla. Ovládali znalost plastického zpracování materiálu – naučili se sekat kov zatepla, vytahovat jej, rozkovávat do žádaných ploch, tepat plech, pěchovat hlavy hřebů, probíjet otvory do plechů a hranolů, nýtovat, ostřit, hladit povrch, štěpit železné pruty a ohýbat je a zkrucovat. Většinou používali měkkou nebo nejstejněměrně nauhličenou surovinu, vzácněji nauhličovali pracovní části zbraní a nástrojů opakovaným tvrzením žhavého nástroje v hromadách dřevěného uhlí s přísadami. Znamé, ale málo rozšířené, bylo rovněž kalení a spojování měkkých a tvrdých částí výrobků. V mladé době haštatské bylo železo do střední a východní Evropy importováno, ale současně zde vznikaly malé hutě. V kovárnách se pracovalo těžkými

kladivy ze železa na nevelkých kovadlinách, které mohly být i z kamene. Zařízení kováren a jejich velikost bohužel není známá, a proto obtížně rekonstruovatelná. [3]

#### Vývoj kovářství

- Laténská doba – je mladá doba železná, z přelomu 5. a 4. století, kdy ji expandovali Keltové na velkou část evropského území, na našem území především místní kmen Bójů. Keltové díky válečným tažením získali mnoho technických znalostí a zkušeností, nastal mohutný rozvoj výroby, stoupla výroba železa, především železných zbraní. Keltové ovládli proces zpracování železa velmi dokonale a jejich kováři byli schopní výrobky tvrdit a cementací a kalením vyrábět i ocel. Ve východokeltském prostředí byla vyvinuta originální redukční pec, která na dalších pět až šest století ovlivnila železářství i severních sousedů. Doba laténská tak poskytla doklady o rozvoji kovářského řemesla, jež ovlivnily i ostatní evropské národy, zejména Germány a Slovany.
- Kovářství v době římské – na území střední Evropy vznikl markomanskokvádský kmenový svaz, tzv. Marubova říše, založený na kontaktu s římskou říší, objevily se kovárny a způsoby práce podobné kovárnám 20. století, prohloubila se specializace řemesla, přišel i obrovský rozvoj kovaných zbraní.
- Slovanské kovářství – období „stěhování národů“. Největší vyspělost je datována do 8. a 9. století (formování Velkomoravské říše), kdy Slované ve své kulturní vyspělosti, měli základní kovářské znalosti a přebírali nové poznatky od ostatních etnik, s nimiž přišli do styku. Navázali zejména na řemesla laténské doby (keltské kultury) a zdokonalili je. Od konce 8. století dosáhlo řemeslo jako neoddělitelná součást veškeré produkce v některých oborech evropské úrovně, a v některých je i předstihlo – zejména se jednalo o metalurgii železa, která se stala záležitostí specializovaných kolektivů.

Slovanští kováři dokonale ovládali techniky zpracování kovu. Dokázali dát svým výrobkům potřebné vlastnosti pomocí cementace (břity seker, nůžek, nožů a kladiv), kalení, popouštění a svařování. Znalost výrobních postupů, zručnost řemeslníků, a tedy i kovářů, a vysoká úroveň jejich výrobků jsou jedny z důkazů vyspělosti Slovanů v tomto období. [2]

Meč se postupně stával od 8. století hlavní zbraní pro celou Evropu, Slovany nevyjímaje. Meč byl symbolem moci, nejdříve, v začátcích slovanského osídlení, byl používán sax – krátký jednosečný meč, od konce 8. století k nám byly importovány velmi kvalitní větší meče z porýnských franských dílen, zhotovované obvykle podle techniky svářkového damašku. Od druhé poloviny 9. století Slované napodobovali franské meče, nebo vyráběli svoje jednoduché meče a v tomto

období se již jednalo o masové rozšíření výroby. Meče dosahovaly délky okolo 90 cm a šířky dvojbřité čepele s krevní drážkou 5-7 cm, byly těžké a měly tupý hrot, proto byly určené spíše k sekání než k bodání, zavěšovaly se na okované řemení do pochvy.

- Románské kovářství – od konce 9. do počátku 11. století nastal rozmach řemeslné výroby. Vše bylo ovlivněno impulsy ze západu, zejména z Francie a Německa. Kováři se věnovali většinou výrobě předmětů pro běžné potřeby obyvatelstva, zejména rolníků, řemeslníků a válečníků. V této době však byl rozmach i architektury, v souvislosti s christianizací našich zemí, a tedy vznikla potřeba výstavby románské architektury, která se neobejde bez složitější kovářské práce, až uměleckého kovářství, a tak kovářům dávala nové uplatnění. Jednalo se o výrobu kovových doplňků, zejména mříží, kování dveří, svícňů, nádobí. S rozvojem kovářství v románské době se rozmohlo i kotlářství, nožířství, helměství, štítářství, platněřství atd. Samostatné postavení měli výrobci střelných zbraní. [2]
- Gotické kovářství – objevuje se v českých zemích ve 13. století, kovářství se více dostávalo do polohy uměleckého řemesla. Ve 14. století se pak objevilo nové řemeslo puškařství a s ním spojené lití železa.
- Renesanční kovářství – objevilo se v 16. století v Itálii a postupně začalo vytlačovat už dál nerozvíjející se gotiku. Stále stoupající poptávka po kovářském umění vedla k rozšiřování hutí a hamrů, které dodávaly větší množství lépe zpracovaného výrobního materiálu. Nastalo tvarové uvolnění kovářských prací a ustoupilo se od bohaté výzdoby drobnějších kovaných předmětů. Podle A. Franze bylo v letech 1290–1775 sedmáct kovodělných řemesel – zlatníci, mečíři, mědikovci, cínaři, zámečníci, nožíři, kováři, pasířské řemeslo, klempíři, jehláři, hřebíkáři, platněři, puškaři, hodináři, zvonáři, mosazníci. [2]
- Barokní kovářství – od poloviny 17. století, kovářské umění dosáhlo svého vrcholu. Umělecký kovář se mohl ubírat 2 směry – klasicistním s přísnějším řádem a symetrií, nebo radikálním s velkou bohatostí tvarů, křivek a forem.
- Rokokové kovářství – začátkem 2. poloviny 18. století pod vlivem Francie vznikl nový směr propojený právě s barokem. Vznikaly manufaktury, od cechů z období renesance až do baroka se lišily výrobním rozsahem a principem. Také kovářství v této době se vyznačovalo spíše jako umělecké.
- Klasicistní kovářství – sloh poslední třetiny 18. století. V kovářství našla široké uplatnění litina, z níž se zhotovovaly kříže, pamětní a náhrobní desky, robusty a sochy, zábradlí a mříže. Průmysl v tomto období se svou sériovou výrobou potlačil individuální rukodělnou práci.



- Kovářství v období historických slohů – ve druhé polovině 19. století, kovářství prožívalo krizi, umělecké řemeslo nemohlo konkurovat levným průmyslovým výrobkům. Průmyslová litina nahrazovala ručně kuté železo, svařování nahrazovalo letování a nýtování, vystřihování pak kování detailů.
- Moderní kovářství (secese) – konec 19. století patřil rozkvětu uměleckého kovářského řemesla, vzrostl zájem o originalnost, jemnost a preciznost ruční práce, vzrostla poptávka po kovaných interiérových a exteriérových mřížích, doplňcích a špercích. Se vznikem českého státu rostl nejen význam drahých kovů (Ag, Au) a dalších využívaných kovových materiálů (Sn, Pb, Cu), ale i železa. V posledním desetiletí 16. století byly zavedeny první vysoké pece, vysoké jen 3 m, které umožňovaly zpracování většího množství vsázky a produkovaly kujné železo a ocel.

Po třicetileté válce nastal propad těžby a zpracování nejen železa, ale i ostatních kovů.

V období 1700-1830 výroba železa neustále rostla, přímá výroba železa byla vystřídána nepřímou výrobou ve vysokých pecích.

Nástup průmyslové revoluce začátkem 19. století pak přinesl nový zájem o železo, kdy výroba se soustřeďovala do míst výskytu železných rud (například Králův Dvůr, Vítkovice, Třinec) a do míst výskytu uhlí, ze kterého se vyráběl vysokopecní koks (Kladno, Ostravsko). Objevily se nové výrobní postupy, dřevěné uhlí se nahrazovalo koksem, výroba oceli pudlováním, bessemerací, Thomasovým procesem, připravovaly se speciální legované oceli, celkově se zkvalitnil sortiment ocelových výrobků a litiny. V souvislosti s ekonomickou krizí nebyl dostatek surovin, a tak se železné rudy začaly importovat ze Slovenska, Štýrska a Švédska. Ve válečném období se díky dodávkám ocelí pro zbrojní průmysl výroba železa dále zvyšovala, meziválečné období pak spolu se světovou hospodářskou krizí přineslo velký úpadek výroby a na ní navázaného zpracování železa. Nové oživení před druhou světovou válkou a následná válečná výroba měla díky přetížení průmyslu neblahý vliv na hospodaření se zásobami rud i uhlí. V poválečném období pak následoval konec soukromého podnikání, a orientace na plánovanou výrobu.

## 3. Kovářské svařování

### 3.1. Technologie kovářského svařování různých materiálů

Při tepelném zpracování kovů se nemění tvar výrobků, ale vnitřní struktura použitého materiálu. Kov se skládá z drobných krystalů a tato polykrystalická struktura se pak mění podle teploty a podle mechanického zatížení. Podrobněji ohledně mechanismu plastické deformace se budu zabývat v kapitole 4.1. Mechanismus plastické deformace.

Kováním je možné zatepla nebo zastudena tvářet kov. Údery kladiva nebo bucharu dostává materiál požadovaný tvar. Zastudena se tvaruje pouze měkká ocel, provádí se ostří, válcuje a lisuje se materiál. Základní operace pro tvářením zatepla je pak volné kování (kování pomocí kladiva a kovadliny) a zápusťkové kování.

Svařování patří do kategorie spojovacího procesu. Rozdělujeme několik druhů svařování:

#### a) Svařování v ohni

Svařitelnost železa je jednou z jeho nejdůležitějších vlastností, při níž dochází k pevnému spojení dvou částí v jeden kus. Svařuje se za vysokých teplot 1400 až 1450 °C, kdy již ocel přechází z tuhé do vláčné konzistence. Čím méně uhlíku je v oceli, tím lépe se spojuje svařování. Ocel s vyšším % uhlíku má nižší svářecí teplotu. Nejobvyklejší způsob svařování v ohni je svařování přeplátováním, které se používá u plochých, čtyřhranných a kulatých ocelí. Konce předmětu se při tomto procesu musí napěchovat, protože při svařování dojde k zeslabení materiálu v místě sváru, následně se oba konce zaostří tak, aby se po přiložení na sebe dobře spojily. Konce musí být naprosto čisté a zbavené okují a strusky. Do ohně se vkládají oba konce současně, aby byly stejně ohřáté. Teplotu určuje kovář zpravidla odhadem podle barvy konců – správnou teplotu pozná podle mazlavosti kovu ve výhni a podle vznikajících jisker ve tvaru hvězdiček, které znamenají, že se ocel již pálí. Následně se předmět vyjme z výhně, oklepem se zbaví nečistot a kove se na kovadlině rychlými údery. Po ochladnutí následuje kontrola sváru, který by měl být neznatelný a měl by mít stejnou tloušťku. Při druhém ohřátí se vhaduje na výheň svařovací prášek, který tvoří křemičitý písek, práškový jí. Borax a jiné prostředky, kdy svařovací prášek se nasype na žhavé svařované místo a při úderech kladiva se sloučí kyselina křemičitá s kyslíčkem železa – tato sloučenina kov dobře očistí a vznikne kvalitní svár. Suchý písek zajišťuje vytvoření tekutější strusky na povrchu sváru, a tím jej chrání před okysličováním. Jedná se o velmi starou techniku, používanou právě při speciálních pracích nebo v malých kovárnách.

Dalším druhem svařování v ohni, méně používaném, je svařování natupo, které se používá především pro svařování silného kulatého nebo čtyřhranného materiálu. Ten se nemusí před svařováním ani pēchovat, ani zaostřovat, oba konce se vloží do výhně, zahřejí se na svařovací teplotu, vyjmou, oklepou od nečistot a přiloží proti sobě, na jeden konec se udeří rychle kladivem a tím dojde ke stlačení materiálu do sebe a následné částečné svaření obou konců. Následuje opětovné nahřátí a kování jako při pēchování, čímž se materiál současně zesiluje a svařuje, v záпустce se pak materiál prokove a zaoblí. I zde se používá svařovací prášek. Dalším je svařování do klínu, pro spoje silně namáhané ohybem nebo kroucením.

Při kovářském svařování se objevují různé závady. Pokud součásti k sobě nepřilnuly, byla pravděpodobně dosažená svářecí teplota příliš nízká, nebo je materiál znečištěný, je nutné pak svařování opakovat při vyšší teplotě. Případně může dojít k znečištění ohně barevným kovem, pak se musí měnit palivo ve výhni. Pokud je svár dobrý, ale vedle něj je ocel slabší a přepálená, došlo ke krátkému napēchování nebo byla ve výhni škvára, která způsobila, že po stranách výhně byl žár větší než uprostřed a materiál se v těchto místech spálil. Pokud je svár dobrý, ale v místě sváru je materiál tlustší nebo slabší, pak došlo k jeho malému nebo příliš velkému prokování. Pokud je svár dobrý, ale materiál praskl, pak kovář použil příliš velkou svářecí teplotu a ocel přepálil. Nezbyvá než materiál přeseknout, tyč zkrátit a znovu svařit.

b) Svařování plamenem

Jedná se o novodobou techniku spojování materiálu, uměleckými kováři málo používanou. Zdrojem tepla je plamen, který vzniká spalováním acetylenu, případně propan-butanu, svítiplynu, vodíku a jiných plynů kyslíkem. Tímto způsobem je možné svařovat téměř všechny kovy, používá se přídavný materiál ve formě svařovacích tyčinek, jejichž tloušťka musí být přizpůsobena tloušťce svařovaného materiálu, a jejichž materiál by měl být shodný se svařovaným materiálem.

c) Svařování elektrickým obloukem

Jedná se o moderní způsob svařování, kdy vzniká žár mezi svařovaným výrobkem a elektrodou. Používají se elektrody uhlíkové, kde se používají kovové tyčinky jako přídavný materiál, a kovové, které jsou samy přídavným materiálem. Uměleckými kováři je tato technika také málo používaná, zejména z estetických důvodů (stejně jako svařování autogenem. Speciální novou technikou je svařování v ochranné atmosféře a elektrickým obloukem (metody MIG, MAG, TIG).

d) Svařování laserem, plazmou, elektronovým paprskem

Patří k moderním metodám svařování, používané ve 20. a 21. století.

## 3.2. Vhodné materiály pro kovářské svařování

V kovárnách se používají různé druhy materiálů, a to především ocel z hutí a hamrů.

Tvárné kovy jsou zejména ocel, litá ocel, měď, čistý hliník, olovo, stříbro a zlato. Mosaz je tvárná jen tehdy, jestliže obsahuje mnoho mědi, slitiny hliníku jsou tvárné jen pokud obsahují málo mědi a hořčíku. Temperovaná litina je tvárná jen do hloubky 30 mm. Vůbec nelze kovat litinu a červený kov (slitiny mědi). Staří kováři znali rozdíl mezi železem na uhlík chudým, a tvrdší ocelí, neznali legovanou ocel. Kalitelná ocel byla vždy ceněna více, byla hůře dostupná, měla odlišné vlastnosti. Různé vlastnosti materiálu pak ovlivňují způsob jeho využití.

Výběr vhodného materiálu na svařování, v našem případě oceli, je dána především zvyšujícím se obsahem legujících prvků, jejichž vlivem ocel ztrácí svařitelnost. Proto se pro kovářské svařování používají právě uhlíkové oceli. Uhlíková ocel vytváří jemnou strukturu, lze ji velice jemně nabrousit a vzhledem k obsahu uhlíku je tvrdá, není korozivzdorná. Slitinové oceli disponují vyššími obsahy nejen uhlíku, ale i legur jako mangan, křemík, chrom, vanad, molybden pro zvýšení pevnosti, tvrdosti a trvanlivosti ostří, avšak nejsou korozivzdorné.

Případně se spojují tvrdé, vysokouhlíkové oceli s vysokou odolností proti opotřebením a měkké, nízkouhlíkové oceli s dobrou houževnatostí. Cílem je pak postupným překládáním nejméně dvou různých ocelí získat nehomogenní materiál s více či méně pravidelnou vnitřní strukturou, kterou ovlivňuje právě způsob překládání, počet překládání a směr překládání. Výsledným materiálem je takový materiál, který spojuje ty nejlepší vlastnosti z použitých slitin – například v našem případě spojení oceli měkké, houževnaté s ocelí tvrdou, odolnou proti opotřebením. Díky vnitřní struktuře bude dokonce měkkou složku převyšovat v torzní, ohybové i rázové houževnatosti. Stejně tak bude překonána tvrdá složka ve výsledku zachování vyšší řezivosti a vysokou opotřebitelností.

Jak již bylo uvedeno, nelze kovářsky svařit každou ocel. Nejvhodnější se ukázaly uhlíkové oceli bez přílišného obsahu legujících prvků (legury proces svařování snižují, až znemožní). Nejčastěji jsou v ČR využívány oceli třídy 19 (např. dle ČSN 19191, 19314) s 1 % obsahem uhlíku (C) v kombinaci s ocelí třídy 10 nebo 11. Stále častější je využití segmentů starých nástrojů jako pilníky, řetězy motorových pil či pilové listy, staré obruče, staré železo.

Pro tvrdou složku je dnes u nás využívána nejčastěji zmíněná ocel ČSN 19191 (0,95 % C) nebo 19314 (0,95 % C) ČSN. Obě patří do nástrojových ocelí uhlíkových, manganových, křemíkových a vanadových. [8]

Z hlediska vlastností materiálu nás zajímá:

- Pevnost = odpor, který klade materiál proti svému porušení při namáhání tlakem, tahem, kroucením, ohybem a stříhem.
- Tvrdost = odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa, tvrdost se zvyšuje kalením.
- Tvárnost = schopnost materiálu měnit vnějším působením trvale svůj tvar. Tato vlastnost je pro kováře nejdůležitější, protože výrobek se zhotovuje kováním, což je tváření zatepla. Čím lépe a snáze materiál mění pod úderu kladiva svůj tvar, tím je měkčí, kujnější.
- Svařitelnost = schopnost materiálu spojovat se svařováním za určité teploty v celek. Svařování patří k jedné z hlavních kovářských prací. Nejlépe se svařuje měkká ocel.
- Houževnatost = vlastnost, která zajišťuje neporušení soudržnosti materiálu při působení velké síly. Pružný je takový materiál, který se vrací do své původní polohy, když na něj přestala působit síla, která tuto pružnou deformaci způsobila.
- Další vlastnosti jako tavitelnost, křehkost, slévatelnost, stálost, odolnost proti rezivění.

Železu odpovídají měkké druhy konstrukčních ocelí, které nejsou kalitelné a jsou houževnaté. Z nich se vyrábějí například různá kování, skoby, háky a obruče. Naopak uhlíkové oceli nástrojové se mohou kalit a slouží jako materiál pro výrobu všech nástrojů, například srpů, kos, sekáčů či seker. Množství obsahu uhlíku zde rozhoduje o vlastnostech a využití oceli, a zvyšuje podstatně tvrdost a pevnost kovu, ale také křehkost a lámavost zastudena. Zhoršuje také obrobiteľnosť a svařitelnost. [2]

Vlastnosti materiálu ovlivňují také příměsi chemických prvků, jako například mangan, fosfor, křemík, měď, nikl, síra apod.

V nejstarších dobách se kovářům dodávala ocel v polotovarech různých tvarů (bochníky, hřivny, tyče). Ve středověku pak byly běžné tyče a pruty. Dnes se používají ocelové tyče různých rozměrů a tvarů.

Kovář v malé dílně, bez možnosti přesných měření a zkoušek, dokáže odhadnout poklepem kladívka, zářezem pilníku, zkouškou tvaru jisker, ohýbáním, lámáním nebo svařováním jakost kovu, jeho vlastnosti a v souvislosti s tím určit, na jaké výrobky je vhodný.

Jako palivo se používalo dlouho dřevěné uhlí s výhřevností 7000 až 8000 kcal, které bylo velmi čisté, bez síry a s dokonalým spalováním. Jeho nevýhodou je rychlé hoření, vyhřívají se v něm dobře menší předměty z kvalitní oceli. Dnes se od jeho používání z důvodu vyšší

ceny upustilo, v dřívějších dobách však bylo prakticky jediným druhem paliva. V mladších a současných kovárnách se používá kamenné kovářské uhlí velikosti ořechu s výbornými vlastnostmi a velkým množstvím síry a popela, což je nežádoucí. Nejlepší uhlí je několikrát prané, a tudíž zbavené prachu. Má výhřevnost 5000 až 6000 kcal a je silně spékavé, kdy při hoření se spéká ve větší kusy a ty ochraňují materiál proti ochlazování vzduchem. Na výheň se pak přikládá mokré uhlí, které podporuje spékavost a hoření. Méně vhodným palivem je koks, který má sice větší výhřevnost (6900 až 7300 kcal), ale nespéká se a netvoří v žáru škváru, která dotváří ohřev materiálu. Kováři ho používají na větší výkovky, například nápravy, obruče kol, protože pak se dříve ohřejí. Používání hnědého uhlí s výhřevností dle druhu od 2500 do 5600 kcal je v kovárnách málo obvyklé. Moderní doba přinesla vytápění speciálních kovářských pecí naftou, olejem, vodíkem, svítiplynem a jinými palivy.

Kovárny produkují také odpad v podobě popele z paliva a zbytky paliva, modrošedé okuje (které vznikly ohřevem kovu a odpadly při tváření), při ohřevech okuje tají, spadají do popela s uhlím a tvoří škárovitou hmotu – kovářskou strusku.

Kromě oceli a paliva potřebují kovárny také pomocný materiál, jako cementační prášky, kalící a svářecí prostředky, vodu (s níž se chladí nástroje, kalí se výrobky, skrápí oheň).

### 3.3. Tepelné zpracování

Tepelné zpracování oceli zahrnuje několik procesů, zejména sem patří kalení, popouštění a žíhání. Zaměřím se především na kalení, které je klíčové ve výrobě.

Aby se ocel dala zakalit (ztvrdit), je nutné, aby měla obsah uhlíku od 0,1 do 1,7 %. Kalení je proces, při kterém dochází ke změně struktury oceli a zvyšuje pevnost oceli. Toho se dosahuje ohřevem oceli na předepsanou teplotu, výdrž na této teplotě a jejím ochlazením předepsaným způsobem a rychlostí. Vytváří se martenzit (tvrdá struktura), karbidy uhlíku a legur, zajišťující dosažení požadovaných vlastností oceli. Kalící teploty se u nástrojových ocelí pohybují orientačně okolo 800 °C a u nerezavějících okolo 1050 °C. Přesné kalící teploty, výdrž na této teplotě, způsob a rychlost ochlazení udává technický list nebo tabulky. Zde lze najít diagramy a doporučené kalící teploty. Ohřev na kalící teplotu se dnes provádí v pecích, zejména elektrických odporových, často s ochrannou atmosférou, takže povrch čepele je na rozdíl od kalení v běžných atmosférických pecích bez okují, jen mírně matnější než před vložením do pece. Ochlazení se provádí ve vodě, oleji, solných lázních či v proudu vzduchu a dochlazování také v parách tekutého dusíku (-80 °C). Mražení čepele při zmíněné teplotě však není vhodné pro všechny druhy oceli. Mražení čepele

dokončí ztvrdnutí oceli, ale zisk tvrdosti vzhledem k technologickým problémům spojeným s tekutým dusíkem je malý, a to cca 1-2 HRC.

Dalším krokem navazujícím na kalení je popouštění. Je to proces, jehož výsledkem je odstranění tepelného stresu po kalení a vnitřního pnutí. Pnutí může v případě neprovedení, nebo při nedostatečně provedeném popouštění způsobit prasknutí čepele. Popouštění snižuje křehkost ve prospěch pevnosti změnou struktury martenzitu. Popouštěcí diagram a tabulka uvedená v technickém listu materiálu nebo ve strojnických tabulkách udává popouštěcí teploty (prakticky přibližně v rozmezí 100-500 °C), výdrže na této teplotě a počet ohřevů a ochlazení. Při popouštění nabíhají na povrchu čepele takzvané popouštěcí barvy, dané vznikem oxidů železa na jejím povrchu. Konkrétní barva pak určuje poměrně přesně popouštěcí teplotu. Následující tabulka platí zejména pro uhlíkové a slitinové nástrojové oceli (Tab. 2) [7]

Tab. 2 Přehled popouštěcích barev při různých teplotách

Teplota [°C]	Popouštěcí barva
Do 200	Žádná
210	Slabě žlutá
220	Slámově žlutá
240	Tmavožlutá
250	Žlutohnědá
260	Hnědočervená
270	Červená, purpurová
280	Fialová
290	Tmavomodrá
300	Chrpově modrá
310	Světle modrá
320	Modrošedá
330	Šedá, šedozelená

Popouštění je nezbytné a jeho nedodržení zvyšuje riziko poškození zejména ostří. Kovanou čepel je třeba popouštět kvůli dalšímu zpracování a zároveň tak eliminovat nebezpečí vzniku prasklin způsobených pnutí z opakovaných ohřevů a ochlazení. Čepel je pak následně potřeba žíhat. Žíhání je proces, při kterém se ocel po tváření za tepla vrací do opracovatelného stavu díky změně struktury. Spočívá v ohřevu na danou teplotu, u nástrojových ocelí na cca 650-890 °C, výdrž na této teplotě a předepsaný pomalý

způsob ochlazování, nejčastěji ve zvolna chladnoucí peci. Teploty pro žíhání na měkko jsou pro danou jakost oceli přesně stanoveny v tabulkách. [7]

## 4. Deformační chování materiálu

### 4.1. Mechanismus plastické deformace

Konstrukčně svařitelné oceli se zvýšenou pevností v dnešní době představují více než 10 % produkce válcovaného materiálu. Tyto oceli se vyznačují vysokou mezí kluzu, sníženou citlivostí ke křehkému porušení a dobrou svařitelností. Rozdělení ocelí vychází především z hodnot jejich meze kluzu a patří sem ty oceli, které mají mez kluzu větší než 300-350 MPa. Podle struktury matrice se tyto oceli dělí dále na feriticko-perlitické, bainitické nebo martenzitické, feriticko-martenzitické a feriticko-bainitické.

Plastická deformace kovových materiálů se realizuje pohybem dislokací, schéma je vyobrazeno na obrázku (Obr.11). Zpevňování kovových materiálů můžeme proto charakterizovat jako růst jejich odporu proti vzniku a pohybu dislokací. Napětí potřebné k uskutečnění plastické deformace tedy závisí na typu překážek bránících dislokacím v pohybu, na množství a rozložení těchto překážek. Za účinné překážky můžeme z tohoto hlediska považovat například hranice zrn a subzrn, dislokační sítě, hranové dislokační smyčky, atomy příměsí a jejich shluky, precipitáty. Interakci dislokací s těmito překážkami odpovídají základní zpevňovací mechanismy využívané u svařitelných ocelí se zvýšenou pevností. Patří mezi ně zpevnění hranic zrn a subzrn úzce související se zpevněním dislokačním, zpevnění legováním, tj. zpevnění substitučními a intersticiálními atomy a zpevnění precipitační. Výsledná pevnost je významně ovlivněna i strukturou matrice. [9]

Plastické deformaci vždy předchází deformace elastická. Až po překročení meze kluzu, tedy v oblasti, kde již neplatí Hookův zákon, dochází k plastické deformaci, jak je vyobrazeno na obrázku (Obr. 12). Projevuje se tím, že už neplatí přímá úměrnost mezi zatížením a deformací. Plastická deformace kovů nemůže být způsobena normálovým napětím  $\sigma$ , ale pouze smykovým napětím  $\tau$ .



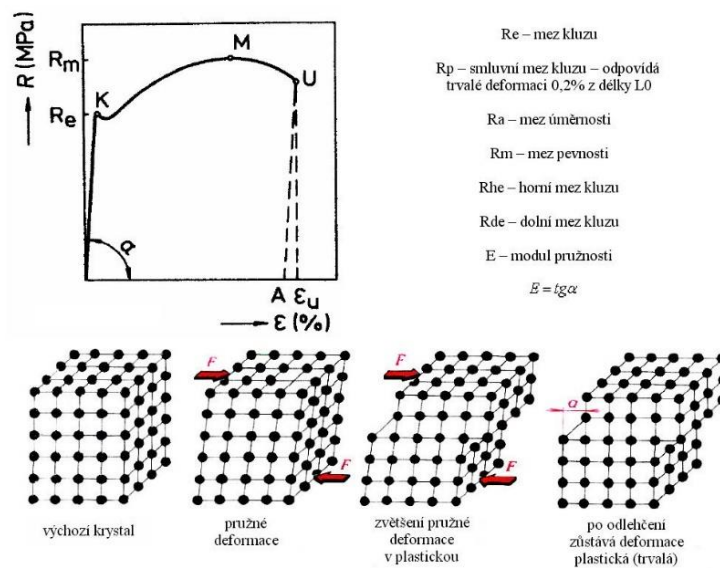
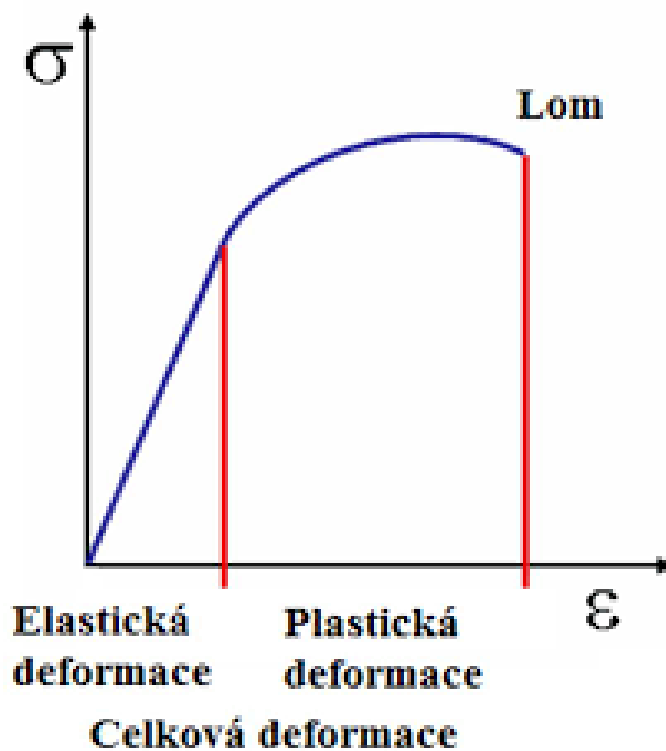


Schéma pružné (elastické) a trvalé (plastické) deformace

Obrázek 11 Schéma pružné a plastické deformace

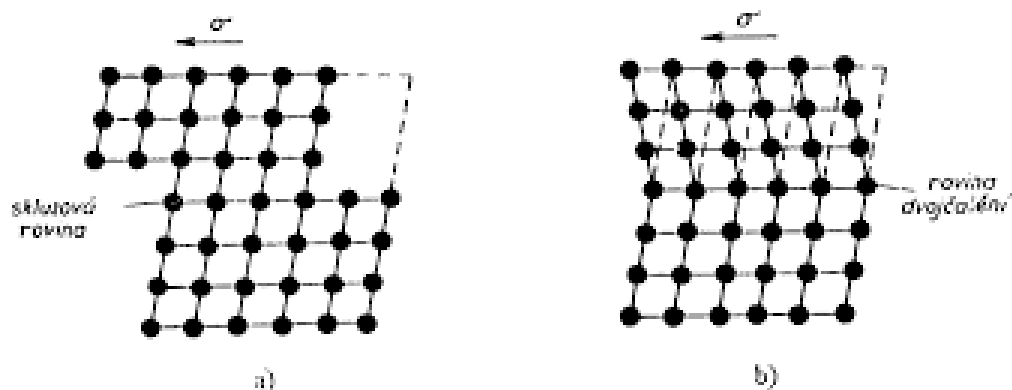


Obrázek 12 Celková deformace, použití Hookova zákona.

Hookův zákon pak zní  $\sigma = E \cdot \epsilon$ .

Působením vnějších sil dochází k trvalému posuvu atomů z jejich rovnovážných poloh o větší vzdálenost, než je hodnota mřížkové konstanty. Atomy se posouvají ve směru nejmenšího odporu, nebo kde jim brání nejméně dislokací. Rozeznáváme dva základní mechanismy plastické deformace, a to skluz neboli translaci a dvojčatění.

Ke skluzu dochází ve směrech a rovinách, které jsou nejhustěji obsazeny atomy. Tyto roviny se označují jako skluzové roviny. Aby došlo k uskutečnění mechanismu skluzu, je nutné překročit hodnotu kritického skluzového napětí. Toto napětí závisí nejen na typu mřížky, ale i na teplotě a čistotě a skutečnosti, jestli byl materiál již dříve deformován. Dvojčatění je zvláštním případem skluzu, typický pro velmi nízké teploty a velké rychlosti deformace. Hodnota kritického napětí pro dvojčatění je vyšší než hodnota kritického skluzového napětí, proto dochází primárněji k deformaci skluzem. Mechanismus dvojčatění vypadá tak, že se atomy přemisťují jen o malé meziatomové vzdálenosti, obvykle v řadě rovnoběžných rovin. Schéma je zobrazeno na obrázku (Obr. 13), kde je patrné vytvoření zrcadlového obrazce vůči neposunuté části mřížky, která se nazývá rovinou dvojčatění. Posun je ve směru působící síly  $F$ ,  $a$ -značí opět meziatomovou vzdálenost v nezátížené mřížce. [10]



Obrázek 13 a) Schéma skluzové roviny, b) Schéma roviny dvojčatění.

## 4.2. Mechanismus zpevnování materiálu

Zpevnování materiálu může nastávat několika způsoby, a to substitučními a intersticiálními atomy, zpevnění hranicemi zrn a subzrn, dislokační zpevnění a precipitační zpevnění. Tvářením za tepla materiál zpevňuje, protože roste hustota poruch jeho krystalické mřížky a vzniklé dislokace si začínou vzájemně překážet.

Zpevnění substitučními a intersticiálními atomy znamená legování prvky, které tvoří se železem tuhý roztok a lze jimi dosáhnout zpevnění a zvýšení meze kluzu tehdy, jestliže

atom rozpuštěné legury způsobuje distorzi mřížky železa. Substitučně rozpuštěnými atomy je pohyb dislokací brzděn v důsledku interakce napěťového pole způsobeného distorzi mřížky s napěťovým polem dislokace a dochází k pružné rozměrové interakci. V případě, že se atomy základního a legujícího prvku neliší velikostí, ale pouze modulem pružnosti ve smyku, nedochází k distorzi mřížky, ale pohyb dislokací je přesto ztížen v důsledku pružné modulové interakce. [9]

Zpevnění hranicemi zrn a subzrn, jež tvoří významnou překážku pohybu dislokací. Ve skluzových rovinách dochází u hranic zrn ke kuperení dislokací, během pokračující plastické deformace množství nahromaděných dislokací roste, v souladu s tím roste i napěťové pole nahromaděných dislokací a tím i smyková složka. Zvýšení meze kluzu pak závisí na velikosti zrna.

Dislokační zpevnění úzce souvisí se zpevněním hranicemi zrn, jelikož platí, že dislokační hustota je nepřímo úměrná velikosti zrna.

Precipitační zpevnění nastává, pokud dojde při plastické deformaci k vyloučení dostatečně jemného precipitátu v pohybujících se dislokacích.

## 5. Experimentální materiál

V experimentální části své bakalářské práce se budu zabývat zkoumáním struktury a mechanických vlastností (tvrdosti) jak vstupních materiálů, tak jejich změnou v průběhu kovářského svařování. Výrobce udává tvrdost samurajského meče v hodnotách až 60-65 HRC dle způsobu konstrukce skládání materiálu (měkká a tvrdá složka). Mým cílem je ověřit, zda uvedenými výrobními a technologickými postupy bude této tvrdosti dosaženo.

### 5.1. Nízkouhlíková ocel

Jako vstupní materiál, zastupující měkkou složku, bylo zvoleno 150 let staré železo z loukoťového kola žebřířáku, odhadem třídy 10 (konstrukční oceli obvyklých jakostí s obsahem uhlíku 0,1-0,2 %). Železo není kalitelné, je houževnaté, není tvrdé. Materiál se překládá a kovářsky svařuje až do počtu 10 000 vrstev.

### 5.2. Nástrojová ocel

Jako druhý vstupní materiál byla zvolena nástrojová ocel 19 191, jež se řadí mezi nástrojové moderní oceli. Překládáním do počtu cca 200 000 vrstev výchozího materiálu o

hmotnosti cca 10 kg, vzniká materiál zastupující tvrdou složku použitou na ostří meče (břit). Při překládání na 250 000 vrstev se používá na boky neboli opláštění čepele.

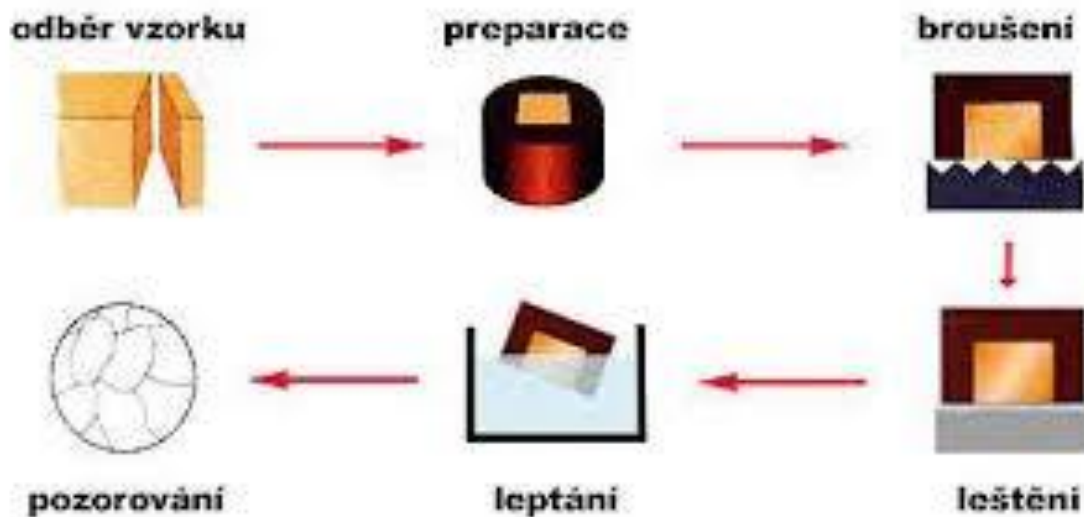
## 6. Experimentální metody

### 6.1. Metalografická technika

Z výchozích materiálů různého složení a v jednotlivých fázích byly odříznuty zkušební vzorky na další techniky jako metalografickou techniku, světelnou mikroskopii a následné měření tvrdosti.

Postup přípravy vzorku pro pozorování tzv. metalografického výbrusu se skládá z následujících na sebe navazujících kroků (Obr. 14):

- 1) Odběr vzorku
- 2) Preparace vzorku (sporadicky)
- 3) Broušení
- 4) Leštění
- 5) Leptání



Obrázek 14 Metalografická technika (Foto: ukmki.vscht.cz)

Každý krok významně ovlivňuje kvalitu výsledného metalografického výbrusu, proto byla nutná preciznost práce při všech fázích, aby bylo dosaženo dokonalého pozorování vzorků.



Obrázek 15 Metalografická rozbrušovací pila LECO

1) Odběr vzorku

Odebíraný vzorek musí plně charakterizovat studovaný materiál, zejména u tvářených a kovářsky svařovaných kovů je tak nutné brát v úvahu jiné struktury ve směru tváření a jiné struktury kolmo na tváření, kdy dochází k protažení zrn.

Technika odběru byla zvolena řezáním na metalografické rozbrušovací pile LECO s řezným kotoučem o parametrech max. 5100 ot/min, rychlosti 80 m/s, pro tvrdosti 140-700 HV, kotouč 44 A 80 N-BF9C/80 (Obr. 15 a Obr. 16)



Obrázek 16 Řezání materiálu na metalografické rozbrušovací pile LECO

## 2) Preparace

Preparace nastává, pokud jsou odebírané části materiálu příliš malé, preparuje se v umělé hmotě. V našem experimentu byl preparován pouze jeden vzorek, a to zakalená a vykovaná čepel, která vzhledem ke svým rozměrům a charakteru by nemohla být v běžné velikosti dále zpracována. Touto technologií se zvětší plocha pro broušení a následné leštění vzorku. Preparace za tepla se používá u vzorků, u kterých nehrozí změny struktury vlivem teploty. Za působení tepla a tlaku se umělá hmota roztaví a dokonale obklopí vzorek. Po vychladnutí je vzorek připravený k dalšímu opracování (Obr. 17).



Obrázek 17 Příprava vzorku na preparaci

Do tlakové nádoby přístroje LECO PR-4X předehřáté na 65 °C byla umístěna čepel, která byla zasypána umělou hmotou – bakelitem (WEM Phenol od německé firmy Cloeren Technology GmbH), a při teplotě 180 °C se vzorek vlivem teploty a

tlaku zapekl do umělé hmoty, a byl připraven k další proceduře – broušení a leštění. (Obr. 18)



Obrázek 18 Tlaková nádoba LECO PR-4X připravena na preparaci vzorku

### 3) Broušení

Broušení je proces, při kterém dochází k intenzivnímu odebrání materiálu z povrchu vzorku. Cílem je dosáhnout rovny plochy s minimálním poškozením, které se případně odstraní při leštění.

V našem případě byl použit univerzální leštící a brousící stroj LECO GPX 300 (Obr. 19). Vzorek se pohyboval po rotujícím kotouči, na kterém byly uchyceny brusné papíry různých hrubostí.



Pracovní podmínky byly při otáčkách od 100 do 250 ot./min. Typem brusiva je dána jeho tvrdost a obecně platí, že čím tvrdší materiál brousíme, tím tvrdší brusivo je nutné použít. Použité smáčedlo a chladicí médium bylo na vodní bázi. Po leštění následovalo opláchnutí vzorků lihem, aby nezoxidovalo.



Obrázek 19 Bruska LECO GPX 300

#### 4) Leštění

Leštění je proces, při kterém již nedochází k odebírání materiálu, nastává pouze deformace vrcholů povrchové drsnosti. Známe leštění mechanické, elektrolytické a chemické. V našem případě bylo vhodné použít mechanické leštění, kdy na rotujícím kotouči z textilního vlákna byla jako smáčedlo použita koloidní silika  $\text{SiO}_2$

na bázi diamantové suspenze o velikosti částic 0,6  $\mu\text{m}$ , při otáčkách 150 ot./min, a chlazené vodou. (Obr. 20)



Obrázek 20 Detail na leštící papír s koloidní silikou a podavačem na vzorky

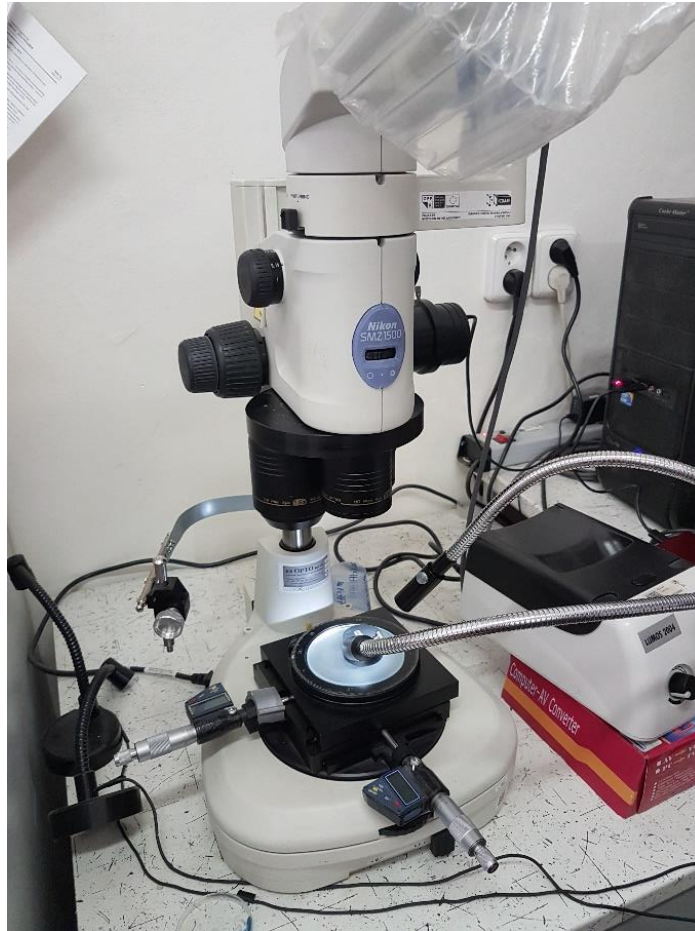
#### 5) Leptání

Leptání je proces, při kterém dochází ke zviditelnění jednotlivých strukturních součástí. Provádí se ponořením vzorku do leptacího činidla o správné koncentraci a teplotě po určitou dobu. Na náš experiment bylo použité leptací činidlo zvané nital, jež je tvořen 2 % kyseliny dusičné a 98 % etanolu. V praxi se uplatňuje několik způsobů leptání, zejména leptání na hranice zrn, plošné leptání nebo selektivní leptání.

## 6.2. Světelná mikroskopie

V experimentu probíhalo měření a pozorování na mikroskopu Carl Zeiss NEOPHOT 32 s CCD kamerou od německého výrobce VEB Carl Zeiss Jena, dále na stereomikroskopu Nikon SMZ 1500 (Obr. 21). Tento mikroskop disponuje řadou nastavení a zobrazení. Možnost zvětšení tohoto mikroskopu je až 2000x. Nosnost pro uložení vzorku je 5 kg. Mikroskop má zabudované vnitřní základní filtry (červený, zelený, modrý = RGB), 3 druhy vyměnitelných filtrů, posuvný pracovní stůl v osách xyz, diferenciální interferenční kontrastní mikroskopii (DIC), světlé pole (BF), tmavé pole (DF), polarizátor s analyzátozem a kameru, která přenáší obraz do programu. Pozorování je možné buď okuláry, nebo

kamerou, nikoliv však současně. Jako zdroj světla se používá halogenová žárovka nebo xenonová výbojka, které jsou součástí přístroje.



Obrázek 21 Stereomikroskop Nikon SMZ 1500

### 6.3. Měření tvrdosti

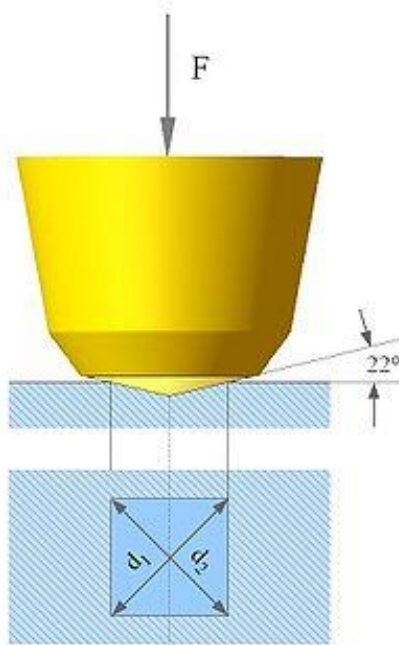
V experimentu byly vzorky měřeny pouze metodou statických zkoušek, vzhledem k charakteru materiálu, a to měření Vickersovou metodou a Rockwellovou metodou.

Vickersova zkouška tvrdosti EN ISO 6507-1

Princip metody spočívá ve vlačování diamantového jehlanu ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu se čtvercovou základnou a vrcholovým úhlem  $136^\circ$  pod zatížením 0,001-1 kg. Měřeným rozměrem vtisku je jeho úhlopříčka, výsledná hodnota tvrdosti pak vyplývá ze vzorce

$$HV = 0,1891 * (F/d^2)$$

kde  $\alpha$  označuje vrcholový úhel jehlanu, F velikost zatížení a d aritmetický průměr dvou délek úhlopříček  $d_1$  a  $d_2$ . Podstata měření je uvedena na obrázku (Obr. 22) [11].



Obrázek 22 Zkouška podle Vickerse (Zdroj: wikipedie.cz)

Měření probíhalo na tvrdoměru LECO V-100-C (Obr. 23).



Obrázek 23 Tvrdoměr LECO V-100-C

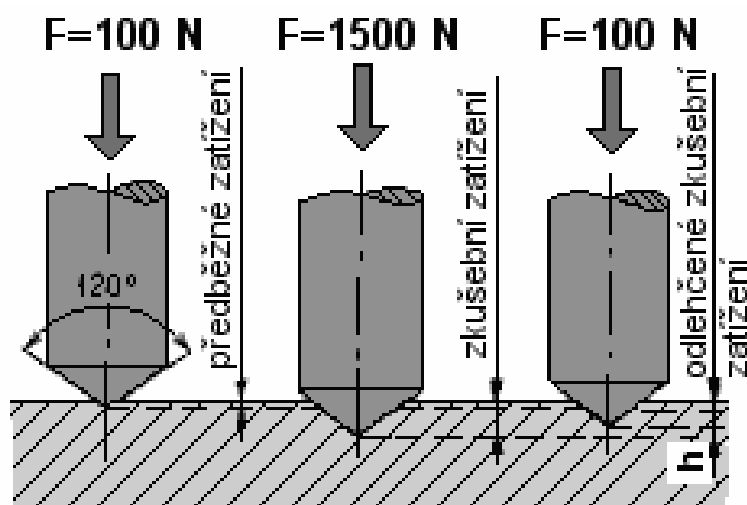
Rockwellova zkouška tvrdosti EN ISO 6508-1 (ČSN EN ISO 18265)

Vnikajícím indentorem je diamantový kužel s vrcholovým úhlem  $120^\circ$  a poloměrem zaoblění 0,2 mm, ocelovou nebo tvrdokovovou kuličkou o průměru 1,5875 mm nebo 3,175 mm. Označení zkoušky je závislé na druhu indentoru a velikosti zkušebního zatížení, jak je uvedeno v tabulce (Tab. 3).

Tab. 3 Označení zkoušky v závislosti na použitém indentoru

Označení	Materiál indentoru	Zatížení [kg]
HRA	Diamantový kužel	60
HRC		150
HRD		100
HRB	Ocelová kulička	100
HRF		60
HRG		150

Hloubka vzniklého vtisku je na tvrdoměru automaticky převedena na hodnotu tvrdosti a je zjištěna na základě rozdílu hloubky vtisku vnikajícího indentoru mezi předběžným a celkovým stupněm zatížení. Předběžné zatížení pak slouží k vyloučení nerovností měřeného povrchu. Zkoušený materiál se nejdříve zatíží silou 100 N, poté během 3-6 vteřin se zvyšuje síla až na předepsanou hodnotu zatížení 1500 N, následuje opětovné zmenšení zatěžující síly na 100 N a v tomto stavu je zjišťován přírůstek hloubky vtisku. Podstata měření je uvedena na obrázku (Obr. 24). [11]



Obrázek 24 Zkouška podle Rockwella (Zdroj: converter.cz)

# 7. Vlastní výroba meče

## 7.1. Příprava výroby

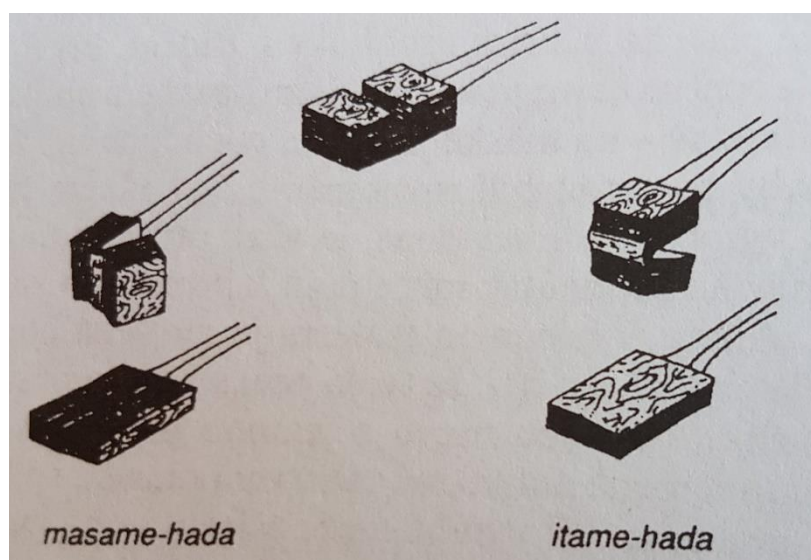
V Jílovicích u Hradce Králové mají svoji kovářskou dílnu bratři kováři Kamil a Radim Dachsovi, kteří byli ochotni propůjčit mi materiál ke studiu a měření a podělili se o poznatky při výrobě japonských samurajských mečů, jejichž výrobou se zabývají více než 15 let. Nejsou jediní v České republice, ale používají stejné, případně podobné metody, jako jsou používány v Japonsku. Kamil Dachs je kovářem, který své umění využívá k výrobě nejen samurajských mečů, ale také různých jiných nožů, především z ceněné a vyhledávané damascenské oceli. Radim Dachs vyrábí na čepele nožů a mečů úchvatné rukojeti a zdobení, nože a meče brousí a propůjčuje jim tak svůj jedinečný rukopis. Svě výrobky označují signaturou Tanuki, což v překladu znamená jezevec (vychází z německého dachs = jezevec).

Výrobní postup se od dávných dob nezměnil, a tak má technologie výroby meče v Japonsku více než tisíciletou tradici. Po celou dobu se postup výroby, veškeré poznatky a technologie předávaly z otce na syna, a to především ústně, písemné záznamy jsou vzácné. Výroba je vrcholem kovářského svařování, neboť technologie je natolik dokonalá, precizní a propracovaná, že komerčně a průmyslově vyráběné čepele nemohou těmto čepelím konkurovat především z hlediska tvrdosti.

Pro výrobu japonských mečů se dodnes používá ocel vyrobená tzv. přímou redukcí. Jako palivo se používá dřevěné uhlí, které neobsahuje nežádoucí fosfor a síru. Pro výrobu je vybírána jen nejčistší ocel, případně kovářsky svařovaná ocel, která vzniká postupným překládáním až stotisíců vrstev. Vstupní materiál tak vzniká postupným překládáním a prokováváním, nebo opakovaným překládáním a svařováním jednoho druhu již zkušněné oceli za účelem snížit její obsah uhlíku nebo zlepšit mechanické vlastnosti. Cílem je tak získat co možná nejhomogennější a nejčistší zkušněný materiál s konstantně distribuovaným obsahem uhlíku v celém objemu.

Běžnou základní surovinou pro získávání oceli je černý křemičitý písek – satecu (oxid železitý  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), jelikož v Japonsku se ložiska železné rudy nenacházejí. Vytavením v peci nazývané tatara se získává ocelový blok – tamahagane. Jako palivo se používá dřevěné borové uhlí odpovídající jakosti a velikosti, které zároveň slouží jako zdroj uhlíku. To zapříčiňuje vznik oblastí s různým obsahem uhlíku. Když teplota v peci dosáhne dostatečnou výši, kyslík začne reagovat s uhlíkem z dřevěného uhlí a tvoří oxid uhelnatý CO, který reaguje s oxidem železa obsaženým v rudě a vzniká tak čisté železo Fe a oxid uhličitý ve formě plynu ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO} = 2\text{Fe} + \text{CO}_2$ ), nečistoty obsažené v rudě se při

dosažení teploty cca 1200 °C teoreticky odplaví a vzniká tak čisté železo, v praxi nehomogenní materiál tamahagane. Ocelový blok (surová ocel kera) se rozbije bucharem na zhruba 12 stejně velkých kusů, jednotlivé kousky jsou roztříděny dle barvy (tvrdá ocel s větším obsahem uhlíku má jednolitou stříbřitě světlou barvu s jemnou krystalovou strukturou, měkkí ocel s menším obsahem uhlíku má zabarvení tmavší, spíše do šeda, s hrubší krystalovou strukturou) a struktury s přibližně stejným obsahem uhlíku – kawagane s vyšším obsahem uhlíku na tvrdý plášť, šingane na měkké jádro. Roztříděné kousky se následně používají k sestavení paketu a jsou dále kovářsky svařeny. I zde se střídají vrstvy oceli s nízkým a vysokým obsahem uhlíku s následně jsou různými způsoby překládány, což ovlivňuje výslednou strukturu vrstvení – hada. Dle konstrukce čepule se následně vyhotovovaly pakety s různými vlastnostmi, avšak pro všechny konstrukce je společné použití vnitřního měkkého jádra z nízkouhlíkové oceli, které propůjčuje čepeli odolnost vůči fragmentaci při šermířských soubojích. Při výrobě se dbá na vrstvení materiálu, jak bylo uvedeno vrstvení tzv. hada, kterých existuje několik druhů, například masame-hada, itame-hada (Obr. 25).



Obrázek 25 Ukázka vrstvení hada (Foto [1])

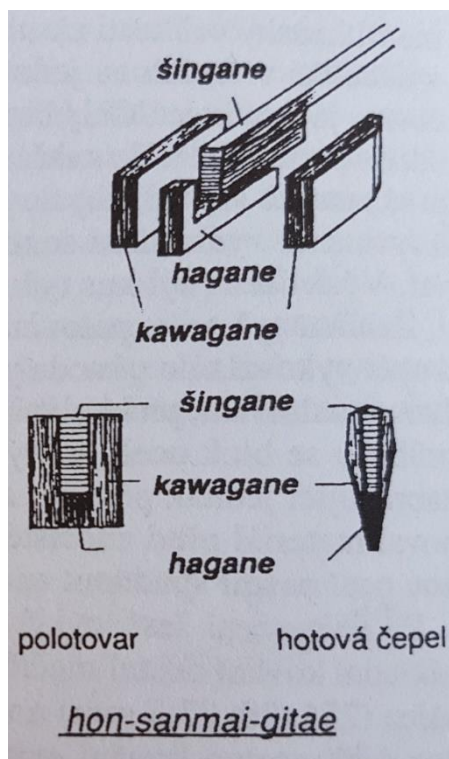
V experimentu je nutné mít připravený výchozí materiál – nástrojovou ocel 19 191 a staré železo z žebříňáku.

Nástrojová ocel je kovářsky svařovaná a překládána na cca 250 000 vrstev. Z té vzniká blok na tvrdé ostří. Při dalším překládání na cca 300 000 vrstev vzniká blok na plášť čepule – kawagane. Měkká ocel ze 150 let starého železa je také kovářsky svařovaná a překládána na cca 10 000 vrstev – shingane. Vrstvením a kovářským se v obou materiálech mění krystalová mřížka, zlepšuje se pružnost a houževnatost materiálu.

Takovým tvářením byl získán paket připravený pro danou konstrukci hada, v experimentu byla zvolena struktura hons-san-mai awase-gitae (Obr. 26 a Obr. 27), skládající se ze 3 bloků a 2 druhů oceli – kawagane (tvrdá ocel na spodní, vrchní a postranní části pláště) naskládané okolo shingane (měkká ocel pro měkké jádro):



Obrázek 26 Konstrukce Hon-san-mai-awase-gitae skládající se z měkkého jádra (horní kus), tvrdého pláště (boční kusy) a tvrdého ostří (spodní kus)



Obrázek 27 Konstrukce hon-san-mai-awase-gitae (Foto [1])



1. Měkké jádro – pohlcuje přebytečnou energii meče po seknutí, je z nízkouhlíkové oceli tř. 11 ze 150 let starého železa, blok materiálu je 10 000 vrstvený a kovářsky svařený. Měkké jádro zvyšuje pevnost meče.
2. Měkčí a houževnatý plášť – obepíná celou čepel meče a ukrývá v sobě měkké jádro a tvrdý břit. Jedná se o nástrojovou ocel 19 191 kovářsky svařovanou a vrstvenou na cca 300 000 vrstev postupným překládáním.
3. Tvrdé ostří – odolné proti nárazům, je z nástrojové oceli 19 191 kovářsky svařené a vrstvené na cca 250 000 vrstev postupným překládáním.

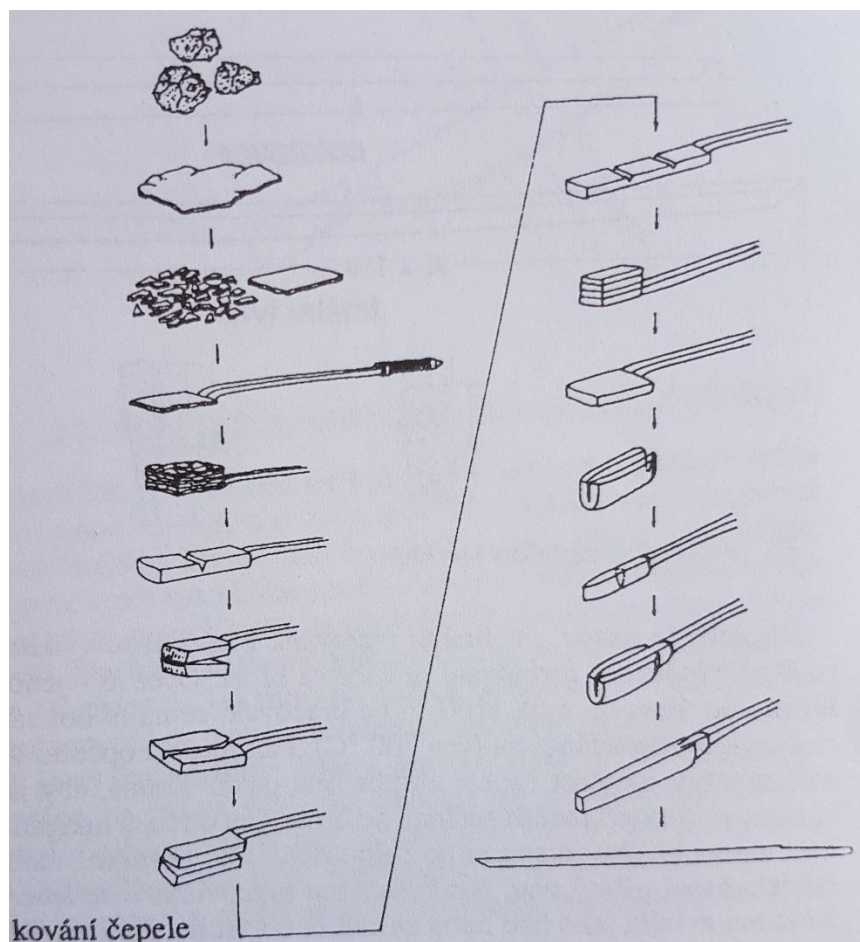
Všechny kusy jsou pečlivě prokovány (kování se nazývá shita-gitae) a vzniká tak kompozitní materiál tvořený 2 druhy oceli nazývaný sunobe. Kompozit je pomocí série rozzhakování a kování protahován ohněm a výsledný tvar je podobný finálnímu tvaru meče. V této části se kovář musí rozhodnout, ve které části se bude nacházet řap, část čepel ukrytá v rukojeti, která zůstane neopracovaná. Řap je oblast čepel nazývaná nakago a je chráněna záštitou (tsuba), má zmenšenou výšku a nachází se zde kruhový otvor pro upevnění rukojeti a opletu.

Problém by mohl nastat, pokud by byla čepel pouze z tvrdé oceli, kdy by hrozilo snadné prasknutí při nárazu do jiné čepel, zbroje nebo kosti. V případě, že by byla čepel vyrobena pouze z měkké oceli, čepel by byla sice pružná, nicméně by snadno vznikaly zuby a rychle by se tupila. Kombinace tvrdé a měkké oceli vede ke snížení nežádoucích vlastností ocelí.

Z bloku hon-san-mai-awase-gitae se vytvoří základní vykováný polotovár pro výrobu meče. Výroba probíhá dle následujícího postupu. Ocel s vyšším obsahem uhlíku (okolo 1 %, nástrojová ocel na boky a ostří) se obalí rýžovým papírem a jílovou kaší a takto chráněný proti oxidaci se vloží do výhně a zahřeje se na svařovací teplotu při cca 1300 °C. Po důkladném prohřátí se blok na kovářské prokování opatrnými, ale rychlými údery kladiva svaří. Potom se blok rozkovává, v polovině nasekne a přehne. Opět se obalí jílovou kaší, ohřeje, kovářsky svaří, rozkovává, nasekne a přeloží. Tento proces se opakuje tak dlouho, dokud se ocel při rozseknutí a přehnutí nejeví jako homogenní a nepraská, což vyžaduje 8-15 takovýchto přeložení. Když je blok dokonale svařen a vyčištěn, rozkove se do obdélníkového tvaru o tloušťce 10-15 mm a v zápustce se podélně přehne do tvaru „U“, do něhož se vloží obdobně získaná ocel s nízkým obsahem uhlíku, v tomto případě ocel tř. 11 ze 150 let starého železa, která uvnitř konstrukce vytvoří pružné jádro zpevňující budoucí čepel. Po vložení jádra se vzniklý kus také zabalí jílovou kaší, zahřeje a kovářsky se svaří. Na kvalitě svaření velice záleží, neboť v případě, že svaření nebude dokonalé, jak je vyžadováno, vznikne vada a je téměř nemožné ji následně opravit. Ze získaného

kusu se vykove polotovar o průměru cca 10 x 20 mm, o délce asi 80 cm (90 % finální délky meče), který se dále tvaruje do budoucí podoby čepele. Základní vykováný polotovar pro výrobu meče je po tomto připraven k dalšímu postupu. Postup je detailněji vysvětlen v kapitole 7.3. Postup výroby.

Schéma překládání a kování je uvedeno na následujícím obrázku (Obr. 28).



Obrázek 28 Překládání a kování čepele (Foto [1])

## 7.2. Použité zařízení

Mezi primární vybavení kovárny Dachsových (Obr. 29 a Obr. 30) patří především kovadlina a výheň.

Kovadlina je z tvrdé a zakalené oceli, její podstatnou vlastností je pružnost a tvrdost.

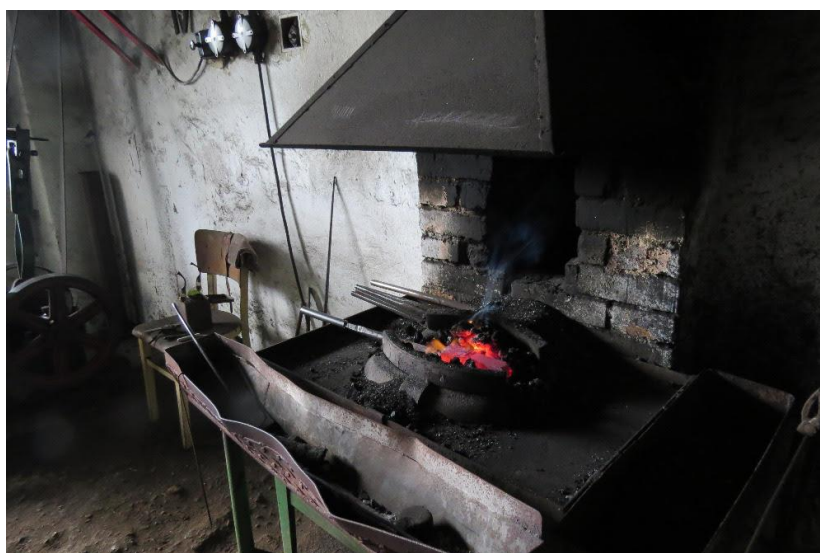
Kovadlin existuje několik druhů (bez rohů anglická, s jedním rohem německá, se dvěma rohy francouzská), bratři Dachsovi používají kovadlinu s jedním rohem. Kovadlina je usazena na špalek z tvrdého dřeva staženého ocelovými obručemi a zapuštěný do země. Základem je tedy velmi pevné uložení a vodorovná poloha. Výška kovadliny je pak závislá na výšce kováře a je přibližně ve výšce 75 cm, o pár centimetrů níže, než je výška výhně. Kontrola kovadliny se provádí lehkými poklepy kladivem na pracovní plochu a z poklepu

kladivem lze odhadnout i vady – jasný čistý zvuk znamená, že je kovadlina v pořádku, křáplavý zvuk upozorňuje na její vady, především trhliny.



Obrázek 29 Kovárna Dachsových pohled na zařízení, kovadlinu, výheň, kalící nádobu

Výheň je srdcem kovárny a je elektrická na železné konstrukci, s litinovými ledvinkami. Litinové ledvinky je principiálně límec otvoru se stočenými rameny, které rozhání vzduch do šikma, tak, aby neproudil z otvoru rovně nahoru. Litinové ledvinky vystupují na povrch výhně a drží uhlí pohromadě a z litiny jsou právě proto, aby vydržely vysoké teploty. Z boku do výhně se fouká proud vzduchu obecně měchy, v kovárně Dachsových je proud vzduchu přiváděn elektromotorem. Kouř a spaliny zachycuje plechový lapač kouře umístěný v komíně. U každé výhně je nutnost zdroje s vodou a zásobník na uhlí. Zde je umístěna nádrž s dešťovou vodou nebo se nosí v kbelících z vodovodního řádu.



Obrázek 30 Kovárna Dachsových, pohled na výheň

Další vybavení kovárny pak samozřejmě tvoří velké množství nářadí, především kleště z měkké uhlíkové oceli pro manipulaci s polotovarem nebo výkovkem. Používají se jednoruční kladiva o váze 1 až 2,5 kg s dřevěnou násadou do 40 cm, používané na drobné výkovky, dvouruční perlíky těžké 3 až 10 kg s násadou 60 až 90 cm, používané na těžké výkovky, které vyžadují silnější údery. Dalším důležitým kladivem je sekáč, který slouží k dělení materiálu – tenké s ostřejším ostřím pro sekání zatepla, druhé s tupějším ostřím pro sekání zastudena. Ostří sekáče je kaleno a popouštěno, sekáče jsou vyrobeny z uhlíkové oceli s obsahem asi 1 % uhlíku. Průbojníky jsou určeny pro prorážení otvorů do žhavého kovu, jsou vyrobeny z kalené oceli s obsahem uhlíku přibližně 0,5 %, násady jsou tvrdých a houževnatých druhů dřeva, jako například jasan, dub, buk, javor, jeřáb nebo hloh. Dále se používají nástroje jako pilníky, pilky na kov, nůžky na plech, vrtačky, svěráky, brusky, dále rýhovačky, zrnice, hnáče, cizelérské nástroje, tepací kladiva, jemné pilníky, škrabáky, rydla a razidla. Nezbytným vybavením kovárny jsou také různá měřidla a šablony.

Ze strojů se zde nachází buchar, který je poháněn starým elektrickým motorem a koženým pásem, dále autogen, flexa (uhlová bruska) 115 a 230, kotoučová bruska, svářečka, lis. Všechno vybavení je používáno kovářem pro výrobu nožů a mečů.

Pro finální úpravy jsou pak používány další nástroje a vybavení, jako kalící nádrže, brusné kameny různých tvrdostí, leštící kameny.

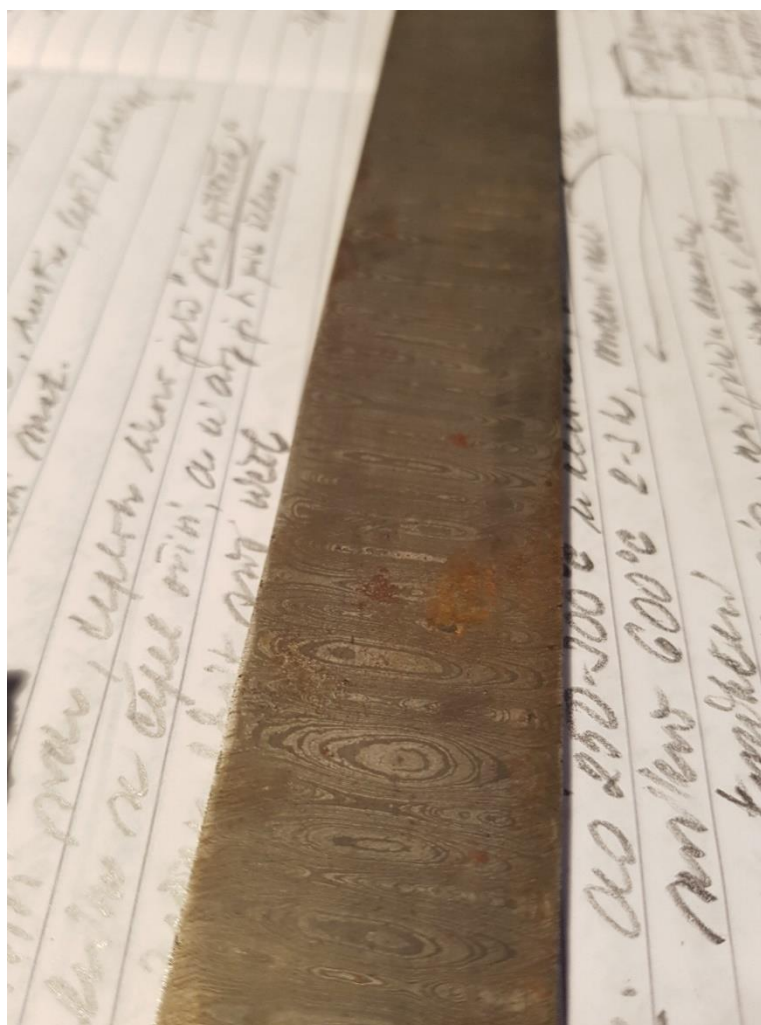
### 7.3. Postup výroby

Kovářsky svařený polotovar – kompozitní materiál japonsky nazývaný sunobe, v konstrukci hon-san-mai-awase-gitae, jež se skládá z měkkého jádra z nízkouhlíkové oceli (nazývané shingane) a tvrdého pláště a ostří z nástrojové oceli s vyšším obsahem uhlíku (nazývané kawagane), je připraven k dalšímu opracování. Postup výroby dvou základních materiálů, ze kterých se následně kovářsky svaří konstrukce budoucí čepule, je popsána v kapitole 7.1. Příprava výroby. Bylo uvedeno, že je nutné dbát na správnou konstrukci a důsledné vykování tak, aby byl zachován charakter požadované konstrukce, z důvodu pevnostního a z hlediska tvrdosti a charakteru konečného výrobku – meče, tedy polotovar tvaru budoucí čepule splňuje tyto požadavky.

Plochy, které vznikají, musí být co nejrovnější a zbavené okují, které případně mohou znehodnocovat povrch a znepříjemňují další zpracování.

Základní polotovar, vytvářený do konstrukce hon-san-mai-awase-gitae o délce cca 80 cm, se postupným kovářským vytahem do délky přibližně 90 cm (Obr. 31), upravuje se šířka, zplošťuje se, formuje se žebro a hřbet. Tvarování čepule hisukuri začíná vytvářením ostří

ha-saki, kdy se okraj nahřívá do žluta na cca 1100 °C, oblast se zplošťuje, sunobe je neustále kováno, aby nevychladlo. Nahřívá se vždy jen část čepel, 2 cm dlouhá, aby ji mečíř stačil opracovat a zároveň aby zbytek meče nevychladl. Přehřívání meče by mohlo způsobit, že úder kladivem rozdělí svařený kompozit, pokud je naopak chladné až moc, úder by mohl narušit strukturu a sunobe by se zlomilo. Kovář – mečíř tedy pracuje rychle a při tvarování čepel dělá zároveň hrot kissaki, oblast nad ostřím shinagi a tupou část meče muna.



Obrázek 31 Vzniklý polotovár

Po finálním kování se kompozitní materiál sunobe obrousí dlouhým hoblíkem sen, kterým se odřežou výstupky a nedokonalosti na povrchu kovu, následuje opilování pilníkem a hrubé broušení brusným kamenem po celé ploše čepel. Tento proces se nazývá shigae a slouží pro srovnání ploch meče a po této operaci by již čepel měla mít přesný tvar (křivky, tvarová linie, hrubé ostří) bez povrchových ani vnitřních vad a být bez okují.

Čepel je připravena k dalšímu vytvrzování. Ostří katany zvané yakiba je tvořené tvrdou ocelí – martenzitická ocel, které lze nabrousit do velké tvrdosti, dobře drží ostří, ale je

často křehké k odrážení ran bez poškození. Naopak zbytek čepel, především uvnitř tvořené měkkou ocelí s feritickou a perlitickou strukturou, vykazuje pružnost a měkkost materiálu. Stovky let mečíři a kováři hledali způsob, jak vytvrdit ostří a tělo meče nechat pružné a odolné. Klíčové je tedy následné tepelné zpracování, které mění měkkou perlitickou ocel u ostří na tvrdou martenzitickou ocel. Aby mohlo dojít k takovému vytvrzení ocele, je nutné pokrýt čepel jílovitou hmotou a vytvořit tzv. habudi, což je dobře viditelná zóna mezi rozdílnými ocelmi, která dává následně vyniknout zkrášené a vyzdvižené krystalové vrstvě, tzv. linii hamon. Hamon je důležitým estetickým prvkem pro posuzování kvality meče a dává meči duši. Pro vytvoření hamonu se nejdříve vytvoří tsuchioki, tedy jak má linie vypadat, a to nanesením jílovité kaše tsuchidori na tu část čepel, která má být tepelně ošetřena. Jílovitá kaše se skládá především z říčního jílu pro izolaci, z dřevěného uhlí kvůli kontrole teploty a drceného pískovce omura, aby se čepel nelámala. Další suroviny jsou tajemstvím výrobce, kaše je ředěna vodou a funguje jako zpomalovač chladnutí a katalyzátor pro přeměnu oceli a slouží pro zachování parciálního ohřívání. Pevné složky jsou míseny zhruba v poměru 1:1:1. Směs se nejdříve rozmíchá s vodou a pomocí bambusových špachtliček se nanáší na povrch oceli ve 3 fázích. Nejdříve velmi slabá vrstvička na ostří, která se nechá zaschnout, následně silnější vrstva (asi 3-6 mm) na zbytek povrchu. Po zaschnutí se na ostří hranou špachtličky vytvořila na tenké vrstvičce přidáním čerstvé pasty kresba linie kalení hamon. Může se zdát, že pro úspěšné zakalení ostří by bylo lepší nepokrývat ji vůbec, opak je pravdou. Vrstva jílu na ostří, jakkoliv tenká, vytváří větší plochu a tím i možnost rychlejšího zakalení, tvoří ochranu před bublinami vřící vody v okamžiku ponoření do lázně. Právě lokálním nanesením tenké vrstvy v místě ostří, a naopak silnější vrstvy na zbytek čepel docházelo při kalení k rychlejšímu ochlazení ostří a tím i většímu zakalení. Čím tenčí je vrstva, tím více martenzitická ocel vzniká. Nanášení a tloušťka vrstvy ovlivňuje následné vyobrazení hamonu. Jelikož martenzit je křehký a při namáhání může prasknout a zničit čepel, nanáší se kaše také kolmo na ostří v několika desítkách tenkých proužků, které mají za následek vytvoření tenkých žilek perlitické oceli ashii na pozadí martenzitické oceli, které zabrání případnému porušení meče při úderu o jiný meč. Případně tak vznikne malé, několikamilimetrové poškození právě měkké perlitické oceli místo martenzitické, což je lehce opravitelné.

Následuje vytvrzování čepel zvané yaki-ire, tedy kalení. Když jílovitá kaše na povrchu zaschne, meč se začne zahřívát do světle červené až oranžové barvy, což odpovídá teplotě okolo 700 °C. Výheň musí mít stejnou teplotu ve všech částech. Ohřívání čepel protahováním po celé délce probíhá ve tmě, jelikož jen tak kovář pozná správnou teplotu dle barvy zahřátého materiálu, ohřev probíhá opět na dřevěném uhlí, které nauhličuje materiál. Po srovnání teploty ve všech částech čepel nastává prudké ochlazení ve vodní

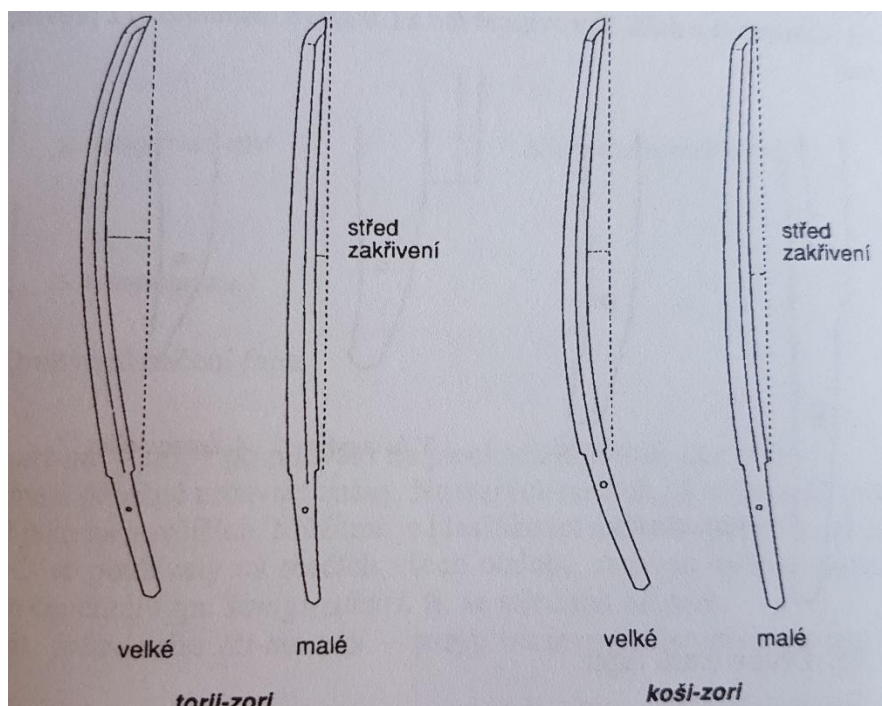
lázni o maximální teplotě 40 °C a tím se kompozitní sunobe vytvrdí. Po vytvrzení se čepel protahuje už na nízkou teplotu při cca 160 °C, aby se uvolnilo vnitřní pnutí a zmenšuje se tak křehkost již zakalené vytvrzené oceli. Tento proces se pak nazývá yaki-modoshi a jedná se o popouštění (temperování). Postup se často několikrát opakuje, ale mečíř musí dbát na opatrnost, jelikož více než přiměřené množství opakování může vést sice ke zviditelnění linie hamon, ale také k zamlžení nebo úplnému zmizení tohoto prvku.

Dalším krokem je odstranění kaše a pokud je mečíř spokojený s výsledkem vytvrzování a linií hamon (Obr. 32), nanáší se na čepel 2 % roztok ethanolu pro zvýraznění výsledné struktury. Zde nastává další vizuální kontrola. Pokud byla čepel moc horká, ocel na ostří může prasknout a hamon zmizet. Pokud byla čepel příliš chladná, není vytvrzená a hamon je špatně viditelný. Řešením pak může být opakovat postup – zahřát čepel na cca 800 °C, nechat zchladit, nanést kaši, zaschnout, vytvrdit a případně doufat v lepší výsledek.



Obrázek 32 Vyniknutí linie hamon po kalení a vyleštění čepel

Vlivem rozdílné rychlosti ochlazování pod vrstvou jílovité kaše získává meč také svůj typický zahnutý tvar (Obr. 33), prohnutí čepel může být až o 2,5 cm, proto je čepel kovaná úmyslně rovnější. Případně se čepel vyrovná několika údery palicí a pokud je prohnutí příliš velké, čepel se podloží nahřátým kamenem, který donutí materiál se roztáhnout a zmenšit tak prohnutí.



Obrázek 33 Zakřivení (prohnutí) čepel (Foto [1])

Kalení čepel je jeden z nejdůležitějších technologických kroků v procesu výroby japonského meče. Tím, že je kalený jen břit a jeho okolí, získává čepel své výjimečné vlastnosti. Tvrdé ostří je možné výborně naostřit. Nevýhodou je jeho náchylnost k prasknutí. Nezakalená, a tedy měkčí zbytek čepel dává meči pružnost a odolnost proti zlomení. Vlastní zakalení, tedy zahřátí meče na určitou teplotu a následné ponoření do vodní lázně je nejdůležitějším momentem při jeho výrobě a každý mečíř má svůj vlastní způsob, téměř mystický. Mečíř musí znát dokonale kompozitní materiál, který vytvořil předešlým kováním a kovářským svařováním, každý kousek materiálu má své vlastnosti, s některými musí počítat, některé zamýšlel. Vytvrzování čepel je pak vysoce sofistikovaný a řízený technologický proces, přestože každý materiál, meč i proces zpracování je jiný. Na konečný výsledek má výrazný vliv i délka ohřevu.



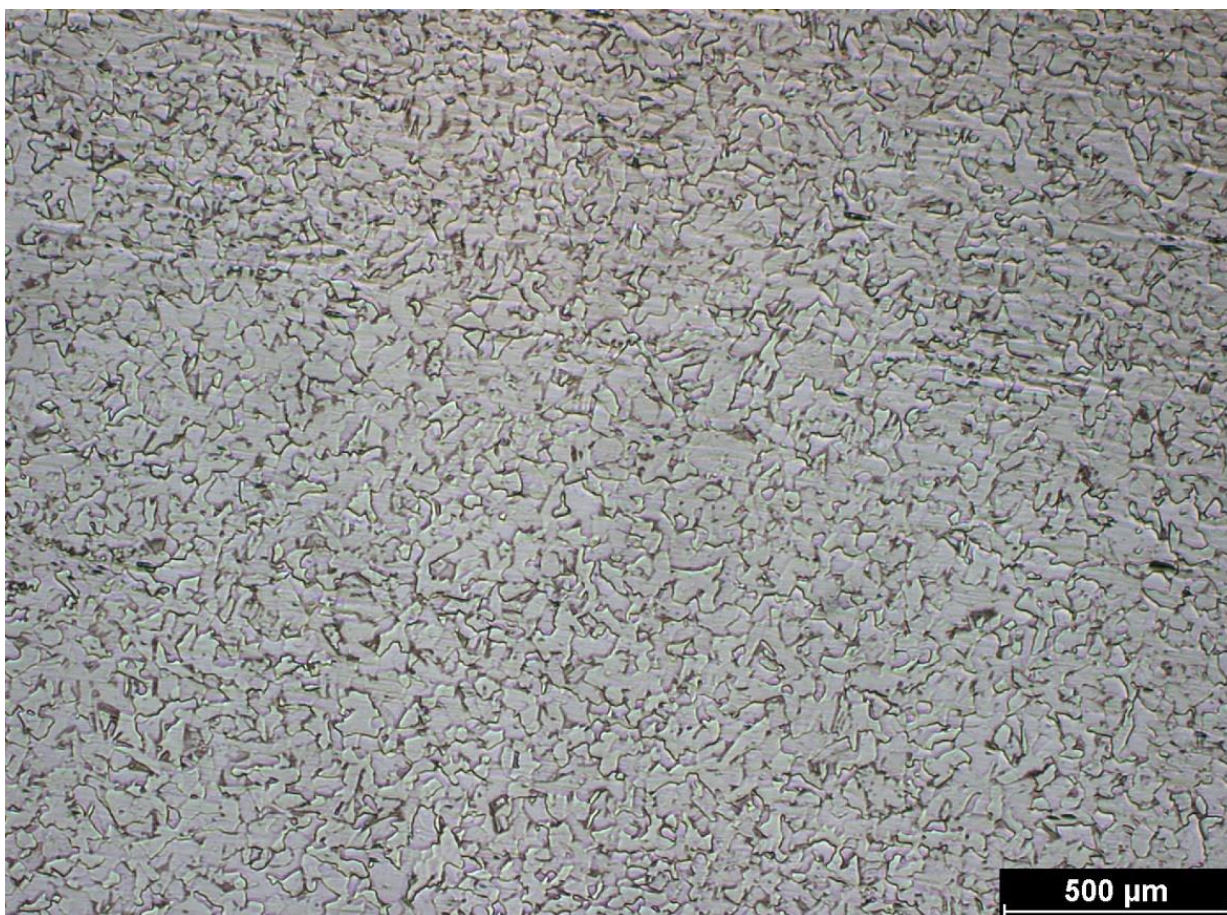
## 8. Výsledky a jejich diskuze

### 8.1. Mikroskopie výchozích materiálů

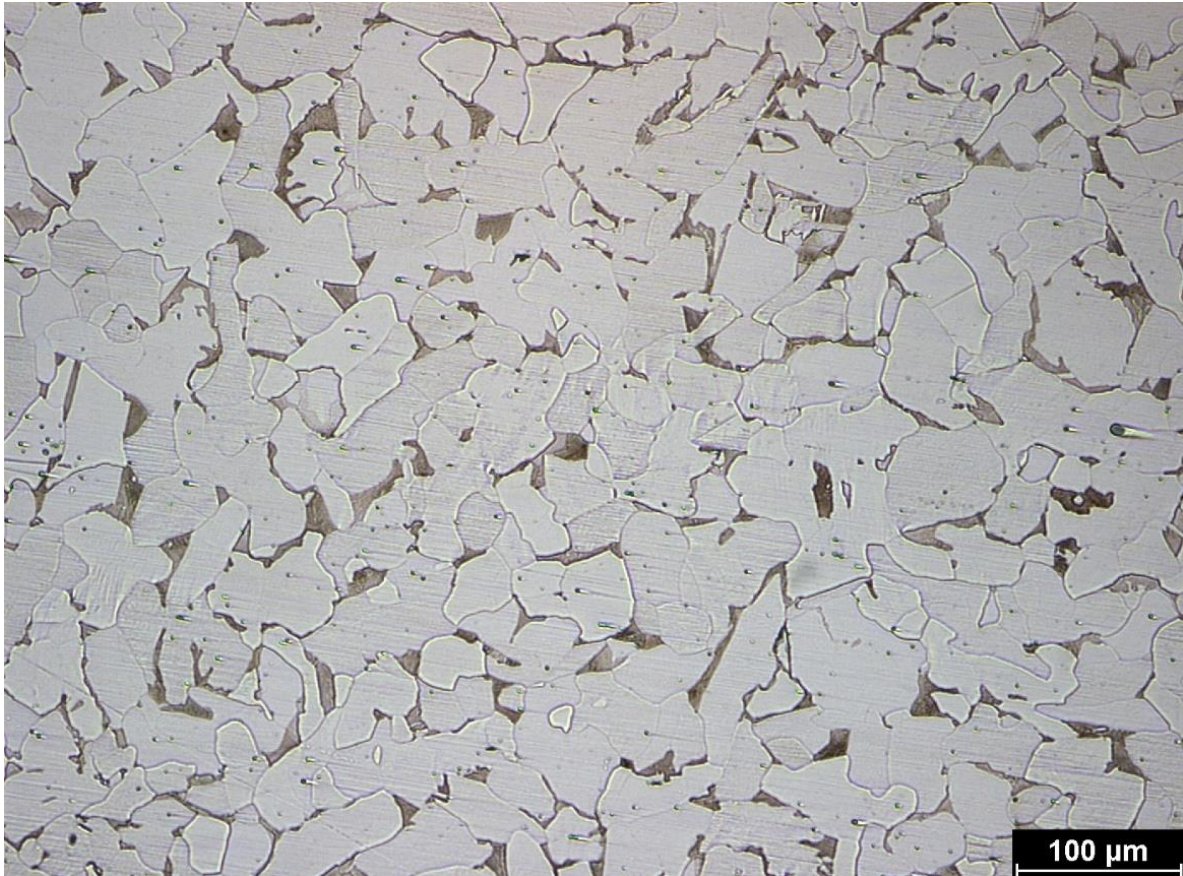
Výchozí materiály byly 2 – měkkí ocel shingane, jež se skládá z 10000 vrstev starého železa, a tvrdší ocel kawagane, jež se skládá z 250000 vrstev nástrojové oceli 19191.

#### Měkká ocel shingane

Jedná se o měkkou, houževnatou ocel, určenou na měkké jádro, která byla vyrobena překládáním a kovářským svařováním 150 let starého železa ze žebříňáku. Struktura je viditelná feriticko – perlitická (Obr. 34), perlitu lze pozorovat 10-20 % na hranicích zrn (Obr. 35).



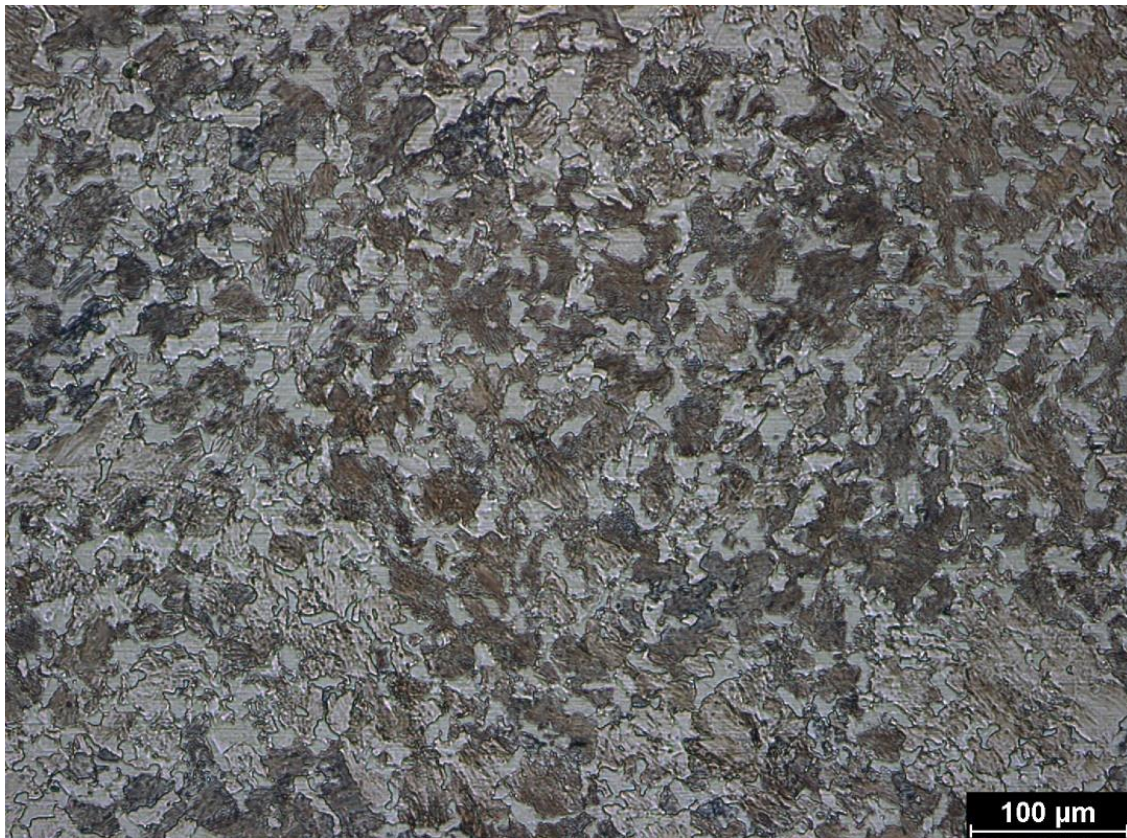
Obrázek 34 Viditelná feriticko-perlitická struktura



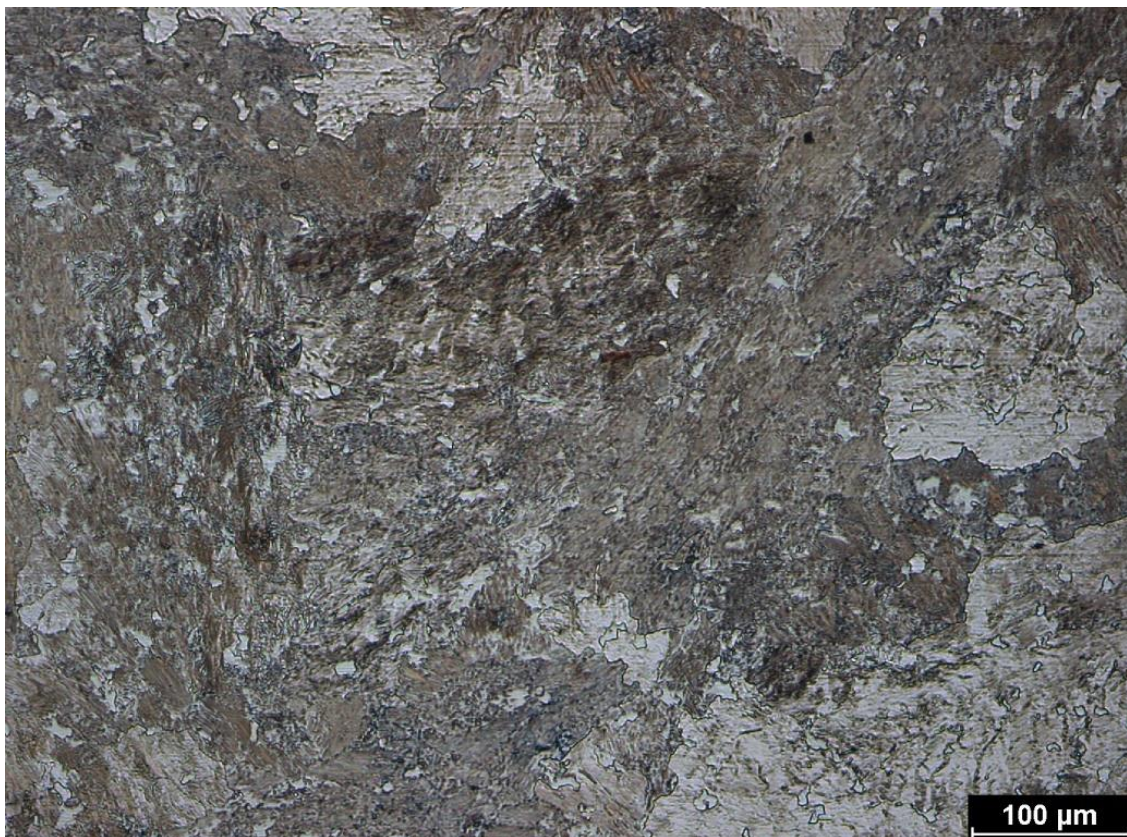
Obrázek 35 Feriticko-perlitická struktura, perlit se hromadí na hranicích zrn

#### Tvrdá ocel kawagane

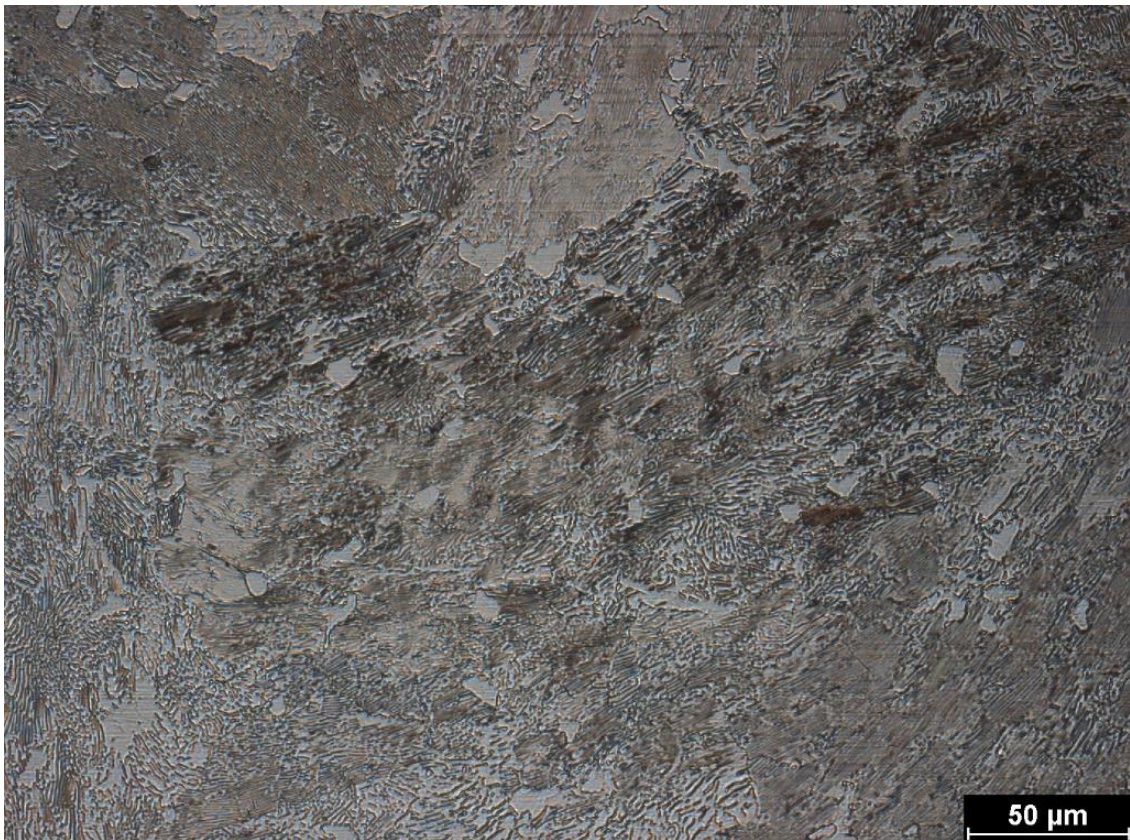
Jedná se o tvrdou ocel – nástrojová ocel tř. 19191 určená na plášť a břit meče, do které se schovává měkká ocel shingane. Struktura je viditelná perlitická s minimem feritu (Obr. 36), jedná se o lamelární perlit (Obr. 37), částečně lze zahlédnout vyžíhanou oblast s feritem (Obr. 38).



Obrázek 36 Viditelná perlitická struktura s minimem feritu



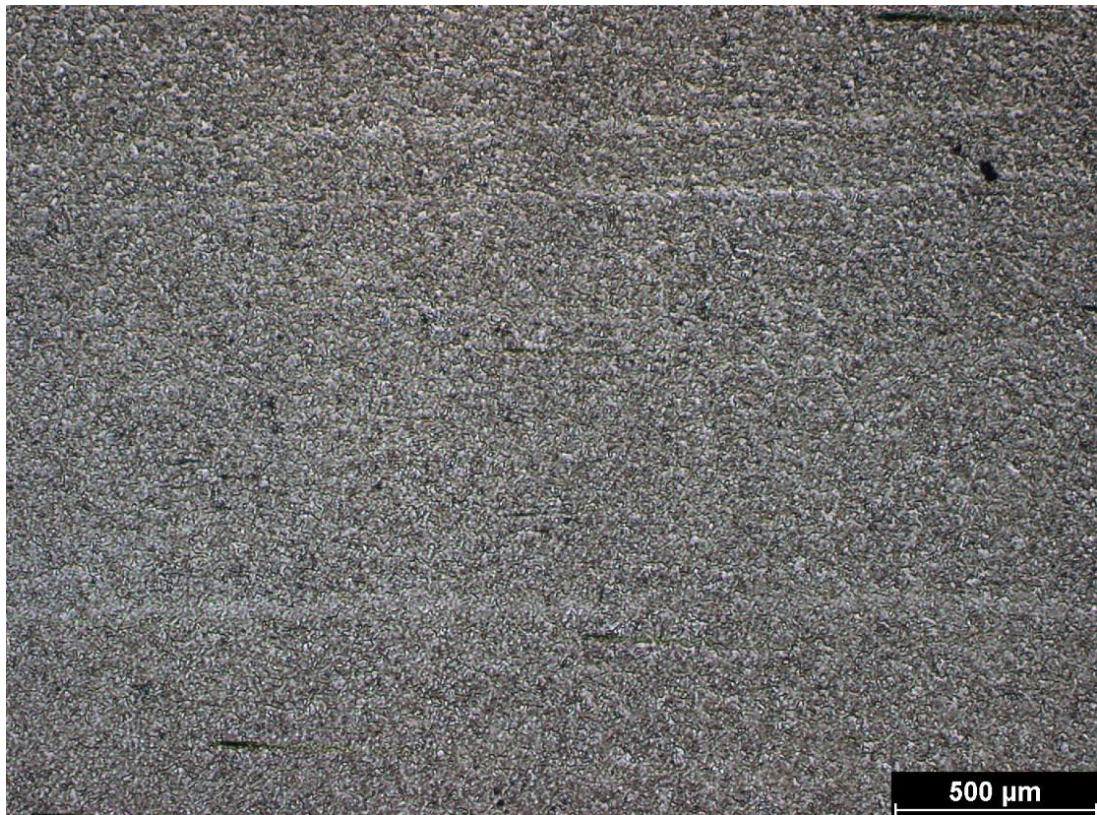
Obrázek 37 Viditelný lamelární perlit s částečně vyžíhaným feritem



Obrázek 38 Detail na lamelární perlit

#### Kompozitní materiál sunobe

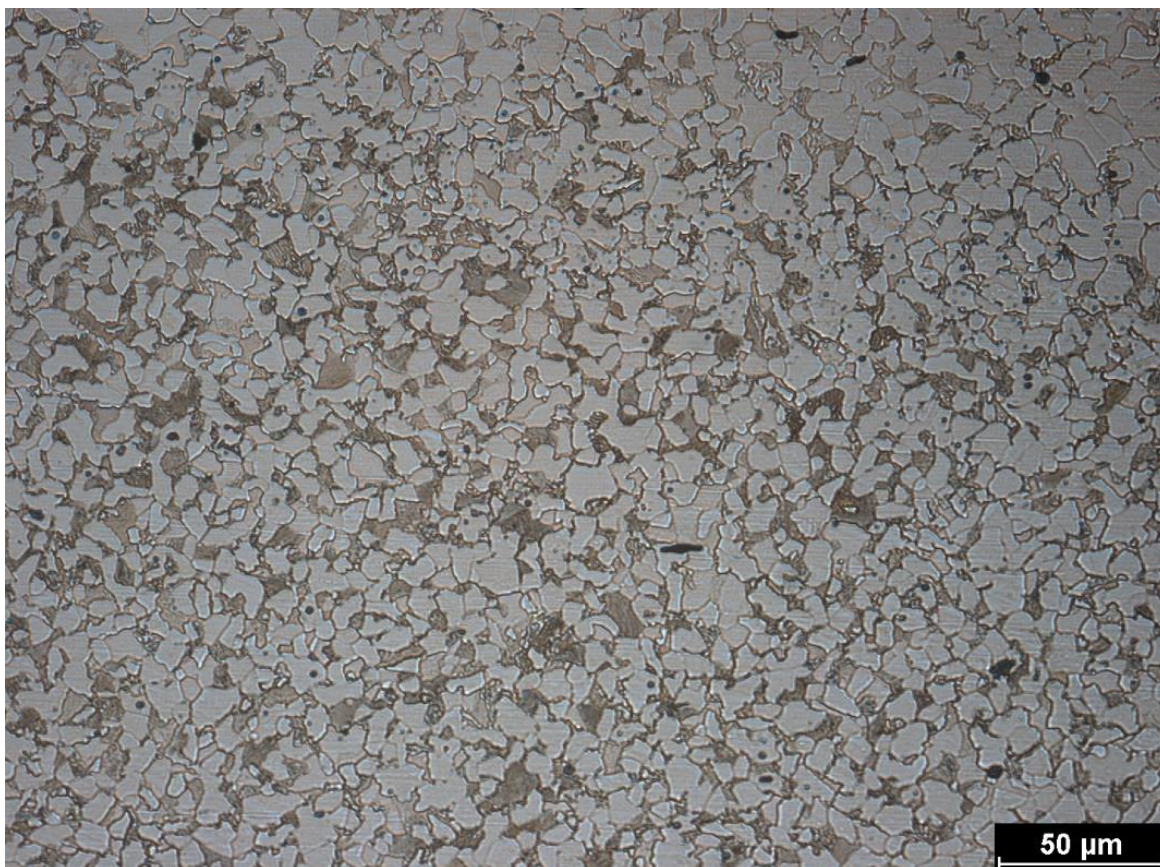
Polotovary kawagane a shingane jsou spojeny v kompozitní materiál sunobe. Ten je spojený v konstrukci hon-san-mai-awase-gitae s měkkým jádrem a tvrdým pláštěm a břitem. Struktura je viditelná rozdílná na měkkém klínu v materiálu a ve zbytku materiálu. Na klínku je viditelná feriticko-perlitická jemnozrnná struktura (Obr. 39). Okolo klínku na plášti a břitu je struktura perliticko-feritická, taktéž jemnozrnná (Obr. 40 a Obr. 41).



Obrázek 39 Jemnozrná struktura feriticko-perlitická, oblast pozorování měkké jádro



Obrázek 40 Perliticko-feritická jemnozrná struktura, oblast pozorování tvrdý břit



Obrázek 41 Detail na perliticko-feritickou jemnozrnnou strukturu, pozorováno na tvrdém břítu

## 8.2. Tvrdost výchozích materiálů

V experimentu byly vzorky měřeny pouze metodou statických zkoušek, vzhledem k charakteru materiálu, a to měření Vickersovou metodou. Experimentální měření probíhalo na tvrdoměru LECO V-100-C za podmínek dle EN ISO 6507-1.

Naměřené hodnoty jsou uvedeny v následujících tabulkách.

Měkká ocel shingane

Zátěžná síla 100 N (10 kg) pro Vickerse (Tab. 4)

Tab. 4 Měření tvrdosti při zátěžné síle 100 N

Měření	Úhlopříčka 1	Úhlopříčka 2	Tvrdost HV	Tvrdost HRC
1	336	326	169	4
2	329	315	179	7
3	334	315	176	6
4	338	313	175	6
5	334	308	180	7

Tvrdá ocel kawagane

Zátěžná síla 100 N (10 kg) (Tab. 5)

Tab. 5 Měření tvrdosti při zátěžné síle 100 N

Měření	Úhlopříčka 1	Úhlopříčka 2	Tvrдост HV	Tvrдост HRC
1	280	288	230	19
2	286	288	225	18
3	286	283	229	19
4	300	275	224	18
5	275	277	243	21
6	295	279	225	18
7	296	289	217	16
8	286	282	230	19
9	279	281	237	20
10	275	273	247	22

Kompozitní materiál sunobe

Zátěžná síla 100 N (10 kg) (Tab. 6)

Tab. 6 Měření tvrdosti při zátěžné síle 100 N

Měření	Úhlopříčka 1	Úhlopříčka 2	Tvrдост HV	Tvrдост HRC
1	342	352	154	-1
2	320	318	182	8
3	274	278	243	21
4	275	275	245	21
5	280	279	237	20

### 8.3. Průběžné výsledky – struktura a tvrdost

V dalším kroku bylo nutné zhodnotit strukturu a tvrdost v procesu výroby. Měření probíhalo na stejných přístrojích.

Čepel z kompozitního materiálu sunobe

Z kompozitního materiálu sunobe, jež se skládá v konstrukci hon-san-mai-awase-gitae s měkkým jádrem z materiálu shingane a tvrdým pláštěm a břitem z materiálu kawagane byla vykována čepel a následně zakalená (Obr. 42). Vzorkem byl odseknutý pás čepele. Tento pás již vykazuje vyšší hodnoty tvrdosti a taktéž změnu struktury.



Obrázek 42 Detail na vykovanou a zakalenou čepel

Tvrdost byla měřena po hraně, nejdříve se zatížením 100 N (10 kg). (Tab. 7)

Tab. 7 Měření tvrdosti po hraně se zatížením 100 N

Měření	Úhlopříčka 1	Úhlopříčka 2	Tvrdost HV	Tvrdost HRC
1	149	151	1648	62
2	166	172	1299	70
3	158	164	1431	68



Kvůli velkým rozdílům bylo následně zatíženo 200 N (20 kg). (Tab. 8)

Tab. 8 Měření tvrdosti po hraně čepele se zatížením 200 N

Měření	Úhlopříčka 1	Úhlopříčka 2	Tvrdość HV	Tvrdość HRC
1	232	236	677	59
2	248	246	608	56
3	238	233	669	59
4	239	238	652	58
5	240	237	652	58

Zakalená část čepele vykazuje změny struktury, a to výrobcem deklarovaný jemnozrnný martenzit (Obr. 43).



Obrázek 43 Jemnozrnný martenzit na vykované a zakalené čepeli meče



Obrázek 44 Jemnozrný martenzit

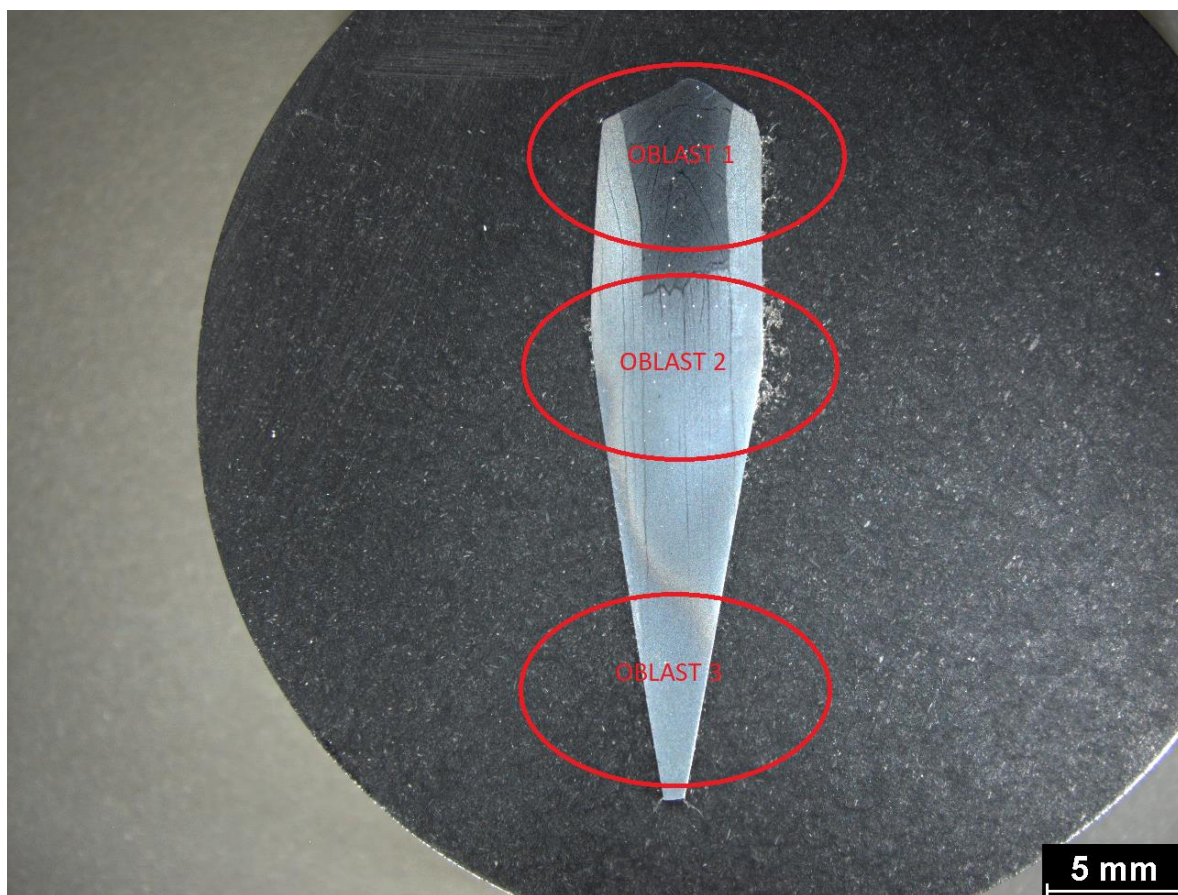


Obrázek 45 Jemnozrný martenzit s viditelnými lamelami perlitu

Čepel meče z kompozitního materiálu sunobe

Při bližším prozkoumání je viditelné měkké jádro – feriticko-perlitická struktura, u přechodu z měkké na tvrdou ocel perliticko-feritická struktura, přechod taktéž ukazuje na bílá feritická zrna a šedivý martenzit. Jelikož jádro je měkké, nastala změna struktury v krystalické mřížce, kdy lamelární perlit se změní na kuličky – globulární perlit.

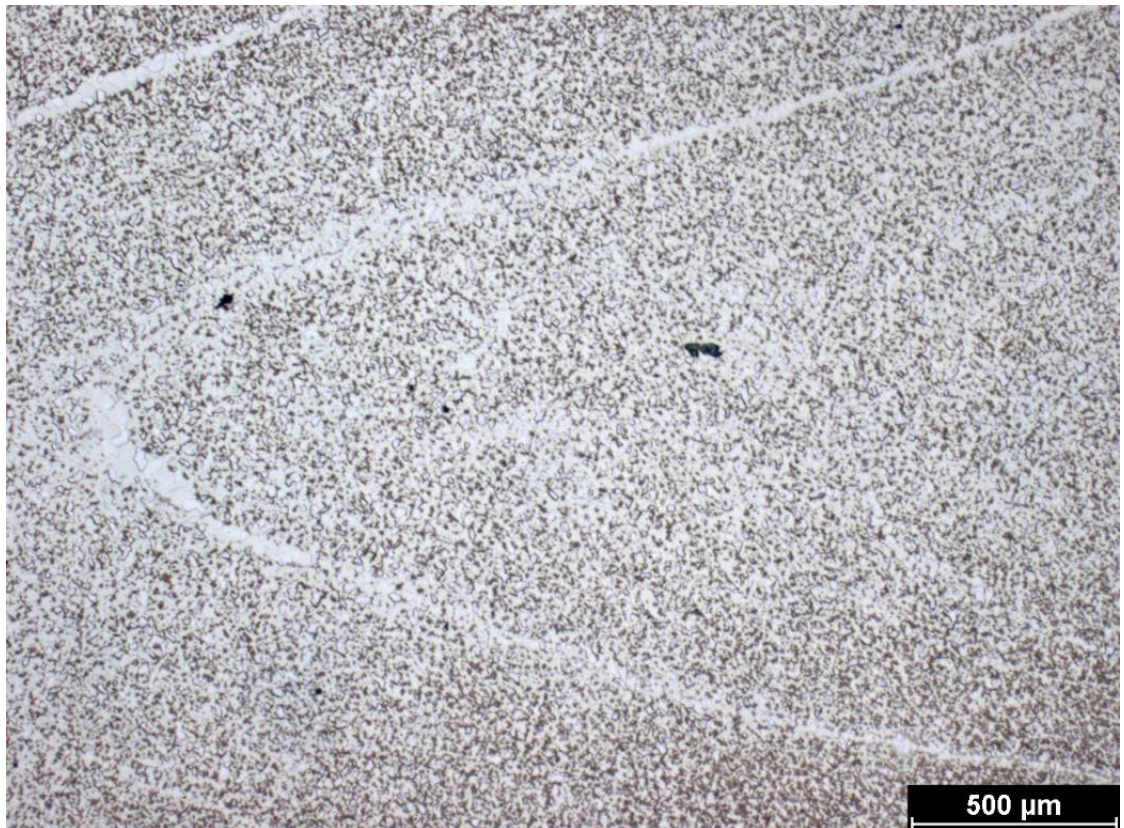
Pozorování proběhlo od měkké části (oblast 1), přes přechod (oblast 2) až po břit (oblast 3) (Obr. 46).



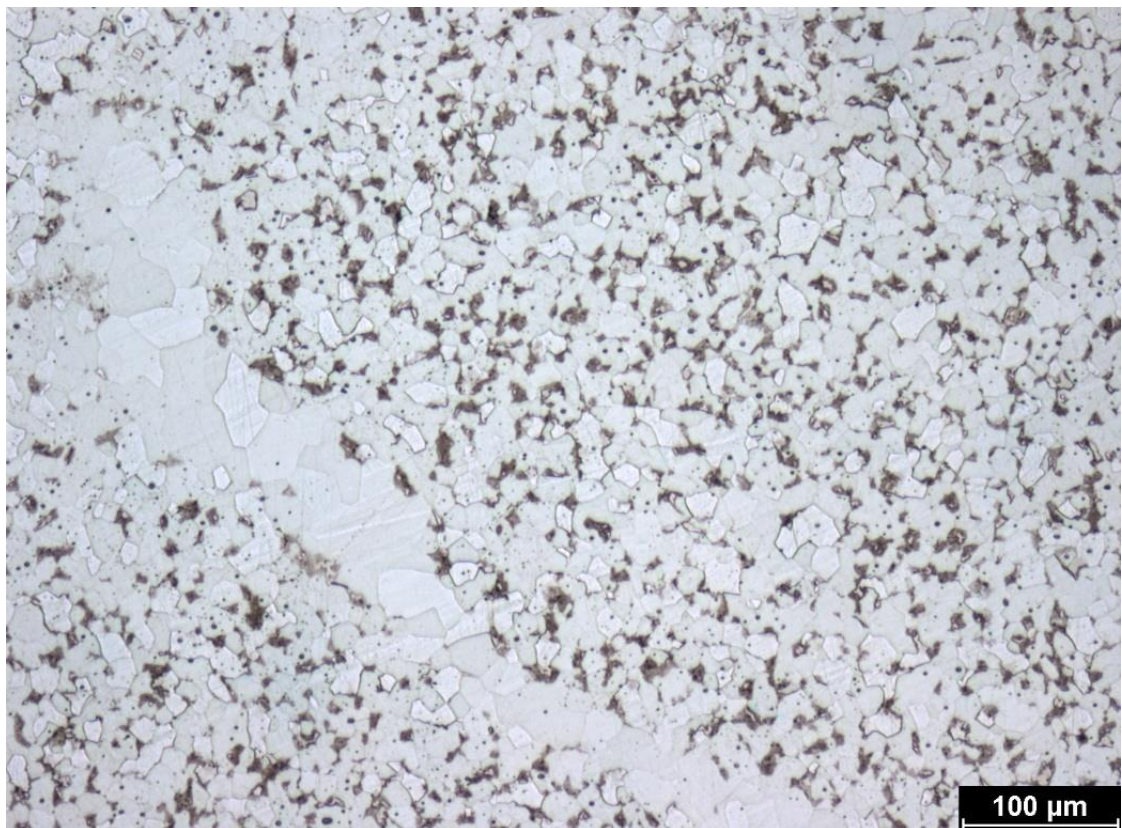
Obrázek 46 Vyobrazení pozorovaných oblastí na preparované vykované čepeli po zakalení

Oblast 1 – Měkká část

Zde jsou jasně viditelné vrstvy skládaného a ohýbaného výchozího materiálu z měkké oceli (Obr. 47). Jedná se o jádro, které je měkké, lamely perlitu se změnily na globulární perlit (Obr. 48).



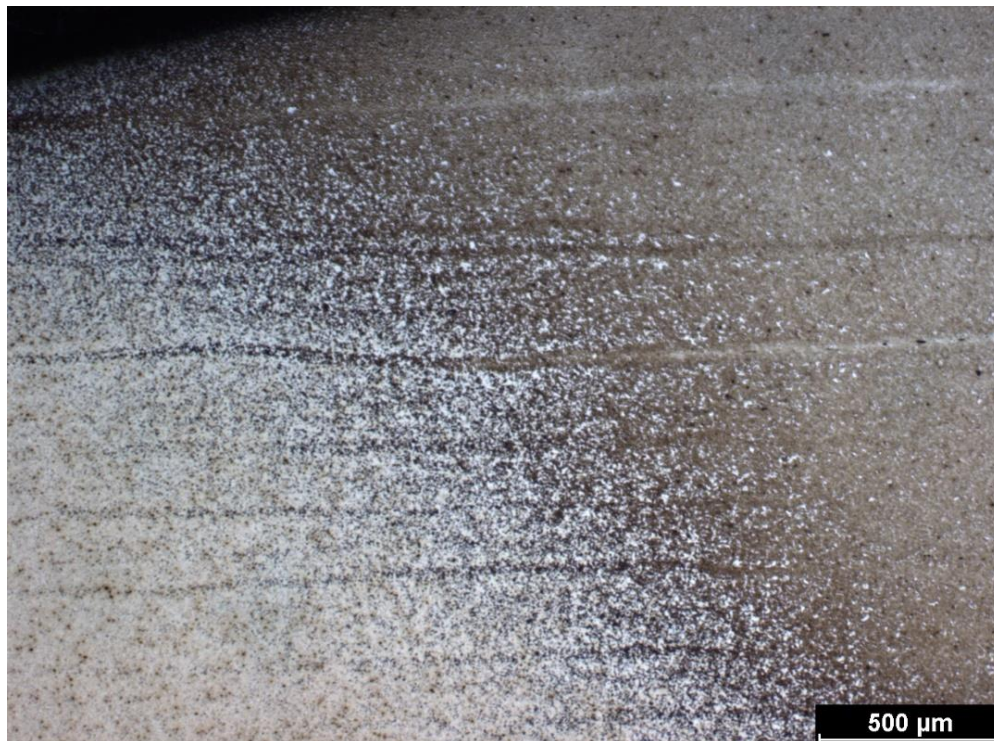
Obrázek 47 Viditelné vrstvy vloženého měkkého jádra



Obrázek 48 Globulární perlit

Oblast 2 – přechodová část mezi měkkou a tvrdou ocelí

Přechodová oblast jasně vyobrazuje přechod mezi měkkou částí charakterizovanou bílými feritickými zrnky, a tvrdou částí, kterou charakterizuje šedý martenzit (Obr. 49). Hranice všech oblastí jsou vyobrazeny na Obr. 50.



Obrázek 49 Vyobrazení přechodové oblasti z měkké na tvrdou část



Obrázek 50 Detail na hranice měkké oblasti, oblasti pláště a tvrdého ostří

Ve středu čepel byla vyzorována perliticko-feritická struktura s globulárním perlitem (Obr. 51).



Obrázek 51 Vyobrazení struktury perliticko-feritické s globulárním perlitem

Oblast 3 – oblast ostří čepel meče

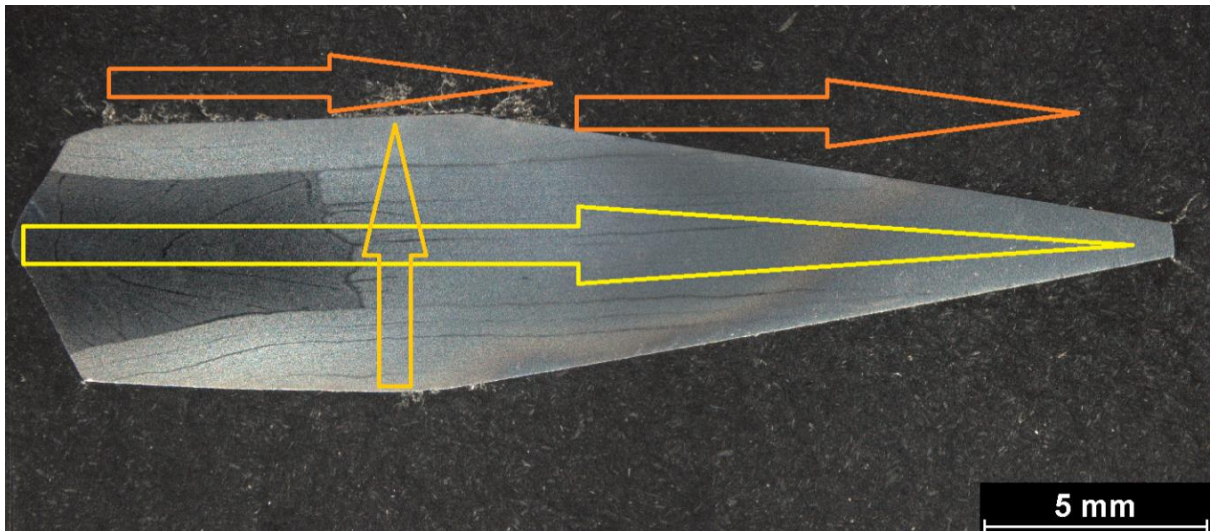
Je nejtvrdší oblastí celého meče a vykazuje martenzitickou strukturu oceli (Obr. 52)



Obrázek 52 Martenzit na ostří břitu meče

Měření tvrdosti proběhlo nejdříve po plášti a následně uvnitř čepule pro porovnání tvrdostí, zda je materiál důsledně a perfektně prokovan (Obr. 53).

Z měření vyplývá, že tvrdost není po celém průřezu konstantní, nýbrž se mění – od měkkého jádra, přes přechod, až po tvrdý břit. Pro srovnání tvrdosti byla vedena linie měření i z boků pláště, jak je naznačeno na obrázku.



Obrázek 53 Znárodnění postupu měření – po plášti čepule, od měkkého jádra k ostří, od pláště k plášti

Nejdříve byla na tvrdoměru LECO V-100-C měřena tvrdost po obvodu čepule (Tab. 9), postup byl od měkkého jádra k ostří. Vickersovo zatížení bylo 200 N (20 kg).

Tab. 9 Měření tvrdosti po obvodu čepule při zatížení 200 N

Měření	Úhlopříčka 1	Úhlopříčka 2	Tvrdost HV	Tvrdost HRC
1	341	321	339	35
2	342	323	335	34
3	325	305	375	38
4	343	321	336	34
5	357	338	307	31
6	315	313	376	39
7	258	266	540	52
8	219	212	799	64
9	199	207	900	67
10	208	201	887	67

Na tvrdoměru s kamerou LECO M-400-G1 byla měřena mikrotvrdost v celém průřezu nejdříve od měkkého jádra k ostří (Tab. 10), detail měření a vpichu je zachycen na Obr. 54 a Obr. 55, následně od pláště k plášti (Tab. 11). Použité zatížení 10 N (1 kg). Měření probíhalo při konstantní vzdálenosti 1 mm.

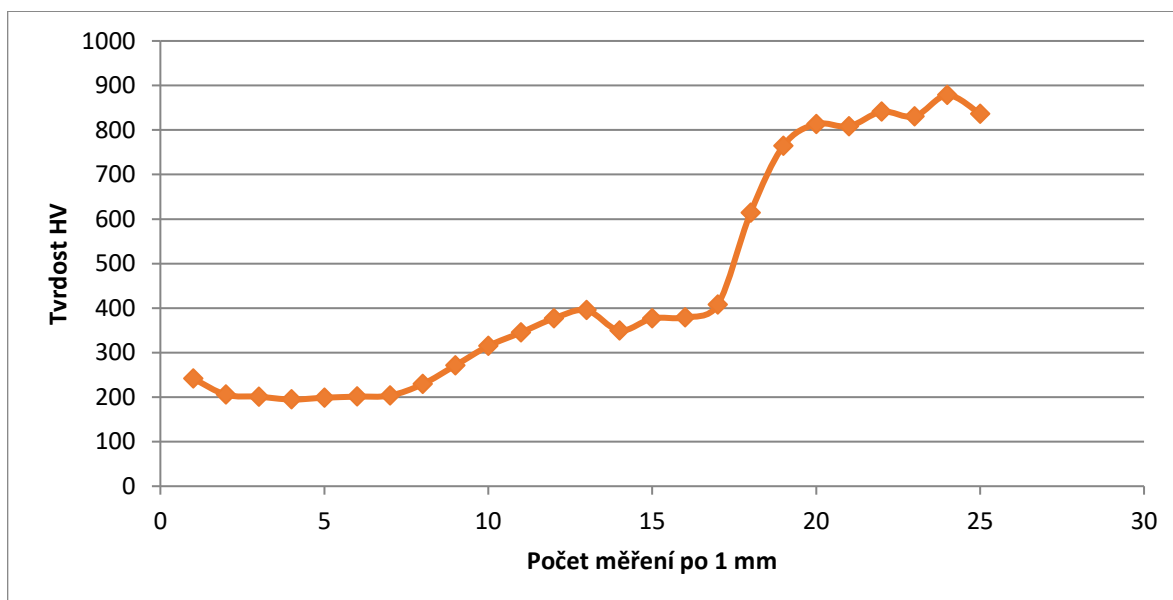
Tab. 10 Měření mikrotvrdosti od měkkého jádra k ostří při zatížení 10 N

Měření	Úhlopříčka 1	Úhlopříčka 2	Tvrdost HV	Tvrdost HRC
1	82	92,2	242	21
2	94,5	95,5	205	14
3	96,5	95,5	201	13
4	97,6	97,6	195	11
5	97,2	96	199	12
6	96	96	201	13
7	95,5	95,4	204	13
8	89,2	90,7	229	19
9	82,8	82,5	271	26
10	77	76,5	315	32
11	73,4	73,2	345	35
12	70,2	70,1	377	39
13	72,4	72,5	353	36
14	72,7	73	349	36
15	70,1	70,2	377	39
16	70,9	69	379	39
17	67,7	67,2	408	42
18	55	54,9	614	56
19	50	48,5	765	63
20	47,7	47,8	813	65
21	47,8	48	808	64
22	46,8	47,1	841	65
23	47,4	47,1	831	65
24	46	45,9	878	66
25	47,4	46,8	836	65



Průběh rostoucí tvrdosti od měkkého jádra až k tvrdému břítu lze vyčíst z následujícího grafu (Graf 1), který znázorňuje rostoucí tvrdost HV při konstantním měření po 1 mm:

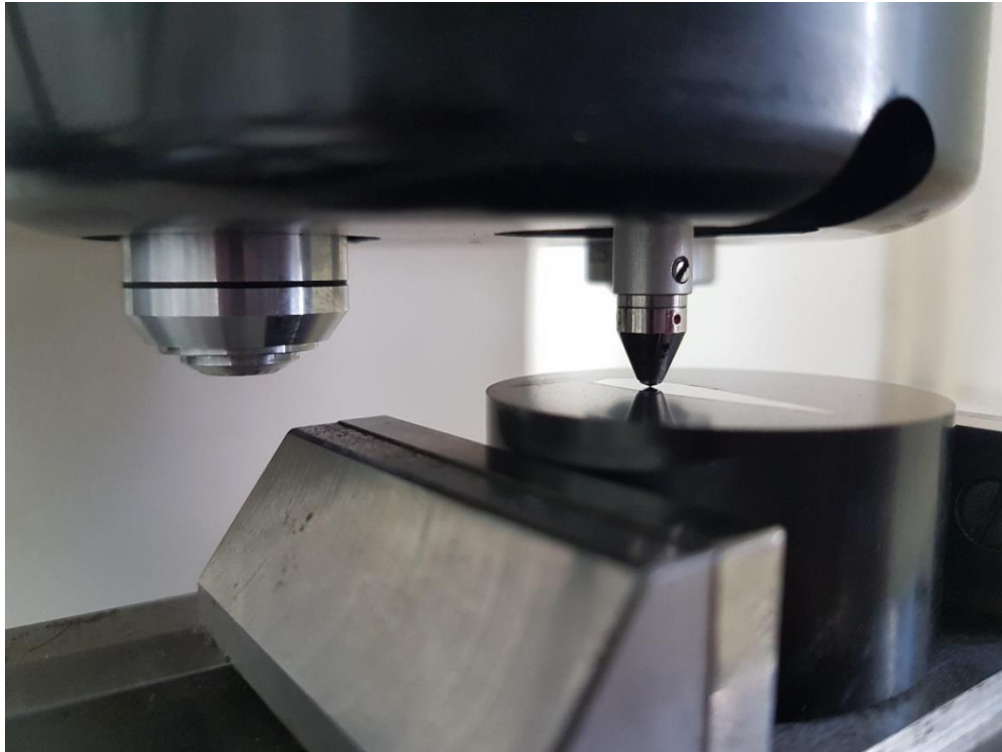
Graf 1 Znárodnění rostoucích hodnot při měřené tvrdosti od měkkého jádra k tvrdému břítu



Následovalo měření od pláště k plášti při stejném zatížení 10 N (1 kg).

Tab. 11 Měření mikrotvrdosti od pláště k plášti při zatížení 10 N

Měření	Úhlopříčka 1	Úhlopříčka 2	Tvrdost HV	Tvrdost HRC
1	75,5	76	323	33
2	81,8	82,6	274	26
3	86,7	86,9	246	22
4	88,1	88,7	237	20
5	83,4	82,7	269	25
6	75	74,6	331	34



Obrázek 54 Detail měření vzorku na tvrdoměru LECO M-400-G1



Obrázek 55 Zobrazení na monitoru, detail vpichu do vzorku po zatížení 10 N (1 kg) na tvrdoměru LECO M-400-G1

## 8.4. Konečné zhodnocení výrobku

Experimentální měření bylo nutné ukončit před konečným leštěním a broušením čepele, jelikož z podstaty konečného výrobku – japonského samurajského meče vyplývá, že není ani vhodné na tak vzácném a drahém kusu materiálu provádět další zkoušky tvrdosti nebo následné zkoumání mikrostruktury poleptáním výrobku. Následným broušením a ostřením se již tvrdost nezmění. Nejdůležitějším procesem je samotné tváření a následné kalení, které zlepšuje mechanické vlastnosti materiálu. Je však i tak vzácné podílet se na měření a zkoumání a zjistit tak, že tradičními postupy, a především kalením, je možné dosáhnout perfektních výsledků. Bylo ověřeno, že tradičním postupem vyrobený japonský samurajský meč vykazuje tvrdost, jež je deklarovaná nejen výrobcem, ale především i samotnými mistry mečíři a jak je dohledatelné i v různých pramenech.

Výrobek vykazuje velmi pestré oblasti pro zkoumání na mikroskopu, kde jsou viditelné jednotlivé vrstvy i přechody mezi jednotlivými rozdílnými materiály, a jež jsou viditelné i pod spektrometrem (Obr. 56).

Nejen změny struktury, ale především změny v tvrdosti jednotlivých procesů byly pro měření taktéž velmi zajímavé. Je tak vhodným materiálem pro další zkoumání a měření.



Obrázek 56 Detail čepele pod spektrometrem, měřítko 5 mm

## 9. Závěr a diskuze

V experimentálním měření jsem měla možnost prozkoumat výchozí materiály a jejich následné změny vlivem kovářského svařování, kování a následně kalení a popouštění. Bylo zjištěno a především ověřeno, že ačkoliv výchozí materiál nevykazuje sám o sobě tvrdost a pevnost konečného výrobku, právě tradičním postupem, kovářským svařováním, kalením a popouštěním je možné deklarované tvrdosti a pevnosti dosáhnout. Nutným předpokladem je pak dodržovat vrstvení materiálu kovářským svařováním, následné kování do konstrukce měkká-tvrdá ocel, a především kalení v jílovité kaši a následně popouštění, jež dávají samurajskému meči jeho nezaměnitelné a nenapodobitelné technologické a mechanické vlastnosti. Finální broušení a leštění je již jen dokončovací procesem, jelikož těmito procesy již není ovlivněna žádná mechanická vlastnost výrobku, ani zkoumaná tvrdost, nýbrž pouze vlastnosti z estetického hlediska.

Japonský samurajský meč je výsledkem tradičního postupu starého stovky let a jedná se o výrobek velmi tvrdý, houževnatý a pevný. Zkoumáním pouze čepele a její výroby by nebyla práce kompletní. Je tedy vhodné uvažovat o dalším postupu měření, avšak vlastního meče, jelikož sběratel či majitel svůj meč neposkytne pro měření tvrdosti, leptání ani podobné procedury. Dalším možným materiálem pro zkoumání, měření a ověřování tradičního postupu by byla dřevěná pochva a především materiály, z nichž se vyrábí záštity, jelikož jen ty samy o sobě jsou krásným a uměleckým dílem mistrů mečířů. Doporučením na další práci by tedy mohlo být ověření tvrdosti finálního výrobku a zkoumání postupu výroby dalších částí samurajského meče, jež tvoří finální dílo, jehož cena se pohybuje odhadem kolem 100000 Kč, pravé japonské samurajské meče, vyrobené v Japonsku mistry mečíři, nebo sběratelské kusy pak v řádech stovek tisíců korun.

# Seznam použité literatury a citace

- [1] HURNÍK, Zdeněk, *Samurajský meč*, Naše vojsko, 1994
- [2] FROLEC, Ivo, *Kovářství*, Grada Publishing, 2003
- [3] RÉVAY, Pavel, VONDRUŠKA, Šimon, *Umělecké kovářství*, Grada Publishing, 2011
- [4] MIDOWNIK, Mark, *Neobyčejné materiály*, Agro & Dokořán, 2016
- [5] KAPP, Leon, KAPP, Hiroko, YOSHIHARA, Yoshindo, *The Craft of the Japanese Sword*, Kadansha International, 1987
- [6] SEMERÁD, Gustav Arch., BOHMAN, Karel PhDr., *Umělecké kovářství a zámečnictví*, Státní nakladatelství technické literatury, 1977
- [7] PAJL, Josef, *O nožích*, Grada Publishing, 2010
- [8] ČECHLOVSKÝ, Stanislav Bc., Bakalářská práce, *Povídání o damaškové a vrstvené oceli*, 2013
- [9] MACEK, Karel Prof. Ing. DrSc., JANOVEC, Jiří Doc. Ing. CSc., JURČI, Peter Doc. Ing. Ph.D., ZUNA, Petr Prof. Ing. CSc. D.Eng. h.C., *Kovové materiály*, České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, 2006
- [10] ŠPOT, Jan, Bakalářská práce, *Verifikace metodiky měření na experimentálním zařízení*, 2017
- [11] ČECHLOVSKÝ, Stanislav Bc., Diplomová práce, *Atributy vrstvených ocelových materiálů*, 2012
- [12] ČECHLOVSKÝ, Stanislav Bc., Bakalářská práce, *Vývoj a výroba vrstvených ocelových materiálů*, 2010
- [13] SUCHÝ, Jan, Bakalářská práce, *Výroba nožů*, 2015
- [14] POLREICH, Oldřich, Ročníková práce, *Japonské mečířství*, 2009