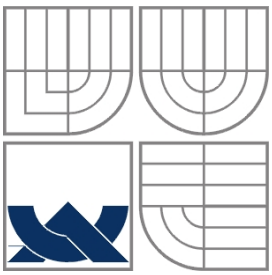


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

OPTIMALIZACE TEPELNÉHO ZPRACOVÁNÍ A VOLBY MATERIÁLU PRŮMYSLOVÝCH NOŽŮ NA ZPRACOVÁNÍ DŘEVA

OPTIMALIZATION OF HEAT TREATMENT AND CHOICE OF MATERIAL FOR WOODWORKING INDUSTRIALS KNIVES

DIPLOMOVÁ PRÁCE
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MARTIN NEVŘALA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. ZDENĚK KOLÁŘ

BRNO 2008

ABSTRAKT

Předložená práce se zabývá řešením problematiky optimalizace tepelného zpracování a volby materiálu průmyslových nožů na zpracování dřeva ve spolupráci s firmou Pilana Tools Knives. Nože této firmy jsou používány v různých částech světa, mimo jiné i v severních státech, kde pracují v extrémních podmínkách při teplotách hluboko pod bodem mrazu. Proto bylo při hodnocení kvality nožů provedeno množství testů za různých pracovních podmínek a na základě těchto zkoušek bylo provedeno zhodnocení výsledků z hlediska materiálového i ekonomického.

Klíčová slova

Tepelné zpracování, volba materiálu, nástrojová ocel, tvrdost, vrubová houževnatost.

ABSTRACT

The aim of this thessis is heat treatment and choice of material for Woodworking optimalization. Industrial Knives in conjunction with company Pilana Tools Knives. Knives of this company are used in different parts of the world, among others in northern states too, where are working in extreme conditions about temperature low below of freezing point. That's why was tested many samples in another working conditions.

Key words

Heat Treatment, choice of Materiál, tool steel, hardness, notch toughness (impact value)

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Nevřala, Martin. *Optimalizace tepelného zpracování a volby materiálu průmyslových nožů na zpracování dřeva: Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2007. s.61, 1 příloha Vedoucí práce Ing. Zdeněk Kolář.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma *Optimalizace tepelného zpracování a volby materiálu průmyslových nožů na zpracování dřeva* vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 20.5.2008 ……

Martin Nevřala

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Zdeňkovi Kolářovi a Ing. Karlovi Němcovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt....4
Prohlášení....5
Poděkování....6
Obsah....7
1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY PILANA TOOLS KNIVES....10
1.1 Historie....10
1.2 Současnost....11
1.3 Pohledy do výrobní haly....12
2 TEORETICKÁ ČÁST....13
2.1 Nástrojové oceli....13
2.1.1 Ocel 19 552....14
2.1.2 Ocel 19 559....15
2.1.3 Ocel 19 569....16
2.2 Kaleni a popouštění....17
2.3 Kalitelnost, zakalitelnost a prokalitelnost....17
2.4 Popouštění....18
2.5 Zkoušky tvrdosti....18
2.5.1 Zkouška tvrdosti podle Rockwella –....19
2.6 Oceli pro nízké teploty....21
2.7 Houževnatost a její zkoušení....21
2.7.1 Zkouška rázem v ohybu....22
2.7.2 Vliv teploty na houževnatost....23
2.7.3 Zkoušky houževnatosti při zvýšených a snížených teplotách....23
2.8 Obrusitelnost....23
2.9 Stálost rozměrů....24
2.10 Mechanické a technologické vlastnosti nástrojových ocelí....25
2.10.1 Pevnost....25
2.10.2 Mez kluzu....26
2.11 Plastické vlastnosti....26
2.12 Tepelná únava....27
2.13 Teorie dělení dřeva a nových hmot ze dřeva....27
2.13.1 Základní pojmy....27
2.13.2 Druhy a vlastnosti obráběných hmot ve vztahu k obrábění....27
2.14 Charakteristika nejpoužívanějších nožů firmy Pilana Tools Knives....29
2.14.1 Roztřískovací nože....29
2.14.2 Sekací nože....31
2.14.3 Nože na dýhu....32
3 CÍLE PRÁCE....33
4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST....34
4.1 Experimentální materiál a zkušební vzorky....34
4.2 Tepelné zpracování....34
4.3 Výsledky měření mechanické vlastností vzorků z oceli 19569....36
4.4 Výsledky měření mechanické vlastností vzorků z oceli 19 559....38
4.5 Výsledky měření mechanické vlastností vzorků z oceli 19 552....40
4.6 Zkouška tahem - ČSN EN 10002-1....41
4.6.1 Materiál 19 569....41

4.6.2 Materiál 19 559 41
4.6.3 Materiál 19 552 41
4.7 Mikroskopické hodnocení ocelí jednotlivých zkušebních vzorků 42
4.7.1 Materiál 19 569 42
4.7.2 Materiál 19 559 45
4.7.3 Materiál 19 552 48
4.8 Zkouška 3 - bodovým ohybem 49
4.9 Praktická zkouška provedena na konkrétním stroji firmy Bionovus 51
5 DISKUSE VÝSLEDKŮ 54
ZÁVĚR 57
POUŽITÁ LITERATURA 59
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ 60
SEZNAM PŘÍLOH 61

ÚVOD

Nástrojové oceli zaujímají stále důležité místo mezi materiály používanými na výrobu nástrojů. Relativně široký sortiment ocelí s dobře prostudovanými vlastnostmi umožňuje výběr vhodné oceli pro daný účel použití. Ke zlepšení užitných vlastností a výkonnosti nástrojů přispívají nové technologie výroby nástrojů, tepelného zpracování a povrchových úprav.

Výběru nástrojových ocelí je třeba věnovat zvýšenou pozornost, protože výroba nástrojů je obvykle náročná a jejich cena vysoká, takže tvoří nezanedbatelnou položku ve výrobních nákladech. Velmi důležitou roli při výrobě nástrojů má též tepelné zpracování, pomocí něhož lze výrazně ovlivnit a optimalizovat vlastnosti materiálu nástroje. Neméně podstatné jsou pro volbu materiálu nástroje i provozní podmínky, mimo jiné rozdílná teplota okolí v různých částech světa.

Předložená práce se zabývá řešením problematiky optimalizace tepelného zpracování a volby materiálu průmyslových nožů na zpracování dřeva ve spolupráci s firmou Pilana Tools Knives, která své výrobky dodává do celého světa.

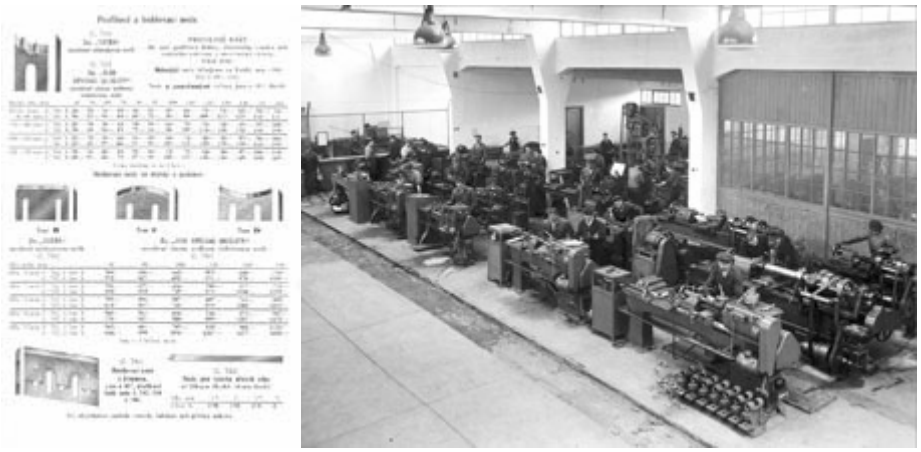
1 PŘEDSTAVENÍ FIRMY PILANA TOOLS KNIVES

1.1 Historie

Výroba nástrojů ve firmě byla zahájena v roce 1934. Firmu založil p. Studeník a začal vyrábět ruční pily, kotoučové pily a postupně rozšiřoval výrobní program o frézy na dřevo a další nástroje na obrábění dřeva.(3)

Obr.1.1 Historický pohled (3)

Následně byly do výroby zařazovány další a další nástroje, jako např. pilové kotouče na dřevo ze slinutých karbidů (SK), rámové a kmenové pily, hoblovací a průmyslové nože, nástroje na dělení kovu a těla pil. V letech 1948-1992 byla firma ve státním vlastnictví. V roce 1992 byla firma převedena privatizací do soukromého vlastnictví.(3)



Obr.1.2 Historický pohled do výrobní haly (3)

1.2 Současnost

V současné době je PILANA TOOLS jedním z největších výrobců průmyslových nožů na dřevo a plasty v Evropě. Ve výrobě nožů pracuje více než 150 pracovníků. Vyrábí měsíčně asi 20 000 roztřískovacích nožů, 3000 blanketů a 25 000 m hoblovacích nožů.(3)

Společnost nabízí mnoho druhů a rozměrů těchto nožů. Nože jsou vyráběny z nejlepšího materiálu, který je vhodný speciálně pro tyto výrobky. Provedení vyhovuje evropským standardům ISO a DIN. Při výrobě používají většinou následující materiál: 19824, 19830, 19573, 19569 a 13180 (DIN 1.3355, 1.3343, 1.2379, 1.2631, 1.2362, 1.2003) .(3)

Díky vysoké úrovni kvality a konkurenčním cenám vyváží více než 94% nožů do 74 zemí po celém světě, zvláště do zemí Evropské unie a USA. Nože z PILANY TOOLS dovolují použití v nejobtížnějších pracovních podmínkách. Světově známá hodnotící společnost Dun&Bradstreet určila PILANU TOOLS nejvyšším možným hodnocením A1, které potvrzuje její dlouhodobou finanční stabilitu a dobrou platební morálku.(3)

Firma vyrábí nože pro stroje těchto značek

Pallmann, Maier, Klöcker, Bezner, CAE, Hombak, Pessa, Rauma, Repola, Zeno, Vecoplan, Rudnick & Enners, Bruks, Carthage, Wigger, Cremona, Raute, Rapidex, Rapid, Herbold, Condux, Cumberland, Alpine, Weis, Lindner, Erema, Heinola, atd. (3)

1.3 Pohledy do výrobní haly

Obr.1.3 Pohled do výrobní haly (3)

Obr.1.4 Pohled na obráběcí centrum a laser (3)

Obr.1.5 Pohled na pec (3)

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Nástrojové oceli

Na nástrojové oceli jsou kladeny vysoké, často protichůdné požadavky. Některé nástroje musí mít vysokou tvrdost a pevnost, u jiných se naopak mechanické vlastnosti snižují, aby se získala dostatečně vysoká houževnatost. U nástrojů pracujících za tepla musí zůstat zachovány mechanické vlastnosti i za zvýšených teplot. U všech nástrojů se žádá vysoká odolnost proti abrazivnímu a adhezivnímu opotřebení, u některých i za zvýšených teplot.(1)

Nástrojové oceli musí mít také vyšší čistotu tj. nižší obsah vměstků a rovnoměrně rozložené karbidy v matrici, aby se snížilo nebezpečí praskání nástrojů při kalení a vyštipování břitu za provozu. U ocelí na nástroje s větší tloušťkou stěny resp. komplikovanými tvary je nutno zaručit dostatečně velkou prokalitelnost. Někdy se také žádá odolnost proti korozi. Pokud mají mít nástroje vysokou tvrdost povrchu, ale houževnaté jádro, používají se nelegované nebo nízkolegované cementační oceli nebo se provádí speciální tepelné zpracování.(1)

Nástrojové oceli je možno rozdělit podle

- chemického složení,
- druhu ochlazovacího prostředí,
- způsobu použití.

Podle chemického složení rozlišujeme oceli

- nelegované
- nízkolegované (součet legovacích prvků do 5%),
- střednělegované (součet legovacích prvků 5 až 10%),
- vysokolegované (spočet legovacích prvků nad 10%).

Podle druhu ochlazovacího prostředí při kalení se nástrojové oceli rozdělují na

- kalitelné do vody,
- kalitelné do oleje,
- kalitelné na vzduchu.

Nejčastěji používané nástrojové oceli ve firmě Pilana Tools Knives na základě poptávky od zákazníků jsou tyto 19552, 19 559, 19 569.

2.1.1 Ocel 19 552

Tab.:2.1 Chemické složení oceli 19 552

	C	Mn	Si	Cr	V	Mo
Chemické složení v %	0,32-0,42	0,2 - 0,5	0,8 - 1,2	4,5 - 5,5	0,35 - 0,6	1,1 - 1,6

Doporučené teploty pro tepelné zpracování:

Žíhání na měkko	780 až 820 °C několik hodin prohřát (podle velikosti kusu), většinou stačí 4 hodiny a pomalu ochlazovat v peci
Žíhání k odstranění pnutí	600 až 650 °C 1-2 hodiny prohřát a pomalu ochlazovat v peci
Kalení	1000 až 1050 °C menší a jednodušší nástroje ochlazovat v oleji asi do 100 °C, větší a členitější nástroje je vhodnější ochlazovat na vzduchu
Popouštění	550 až 650 °C ochlazovat na vzduchu, stupeň popouštění se řídí potřebnou tvrdostí a houževnatostí nástroje

Charakteristika oceli:

Chrom-molybden-křemík-vanadová ocel ke kalení v oleji a na vzduchu s velmi dobrou prokalitelností, vysokou pevností za tepla a odolností proti popouštění, velmi dobrou houževnatostí a plastickými vlastnostmi při normálních i zvýšených teplotách, s velmi dobrou odolností proti vzniku trhlinek tepelné únavy a malou citlivostí na prudké změny teplot. Je vhodná pro tepelné zpracování i na pevnosti přes 180 kPa/mm^2, a na nástroje chlazené vodou. Je dobře tvárná za tepla a dobře obrobitelná ve stavu žíhaném naměkko.

Vhodnosti použití:

- Formy: pevné a pohyblivé díly, jádra a jiné části forem pro tlakové lití slitin hliníku a velké série odlitků slitin zinku a hořčíku

- Nástroje pro tváření za tepla: velmi namáhavé malé a středně velké zápustky a vložky zápustek. Matrice, trny čelisti a razníky zejména s vysokou pevností přes 180kp/mm2 chlazené vodou. Velmi namáhavé průtlačníky a jiné pomocné nástroje pro protlačování neželezných kovů za tepla, průtlačnice na hliník a jeho slitiny

- Nástroje pro stříhání za tepla: malé a středně velké nože nůžek, ostřihovací matrice a prostřihovací trny

2.1.2 Ocel 19 559

Tab.:2.2 Chemické složení oceli 19 559

	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo
Chemické složení v %	0,45 - 0,55	0,4 - 0,6	0,8 - 1,1	8,0 - 9,0	1,1 - 1,3	0,15 - 0,3	1,1 - 1,3

Doporučené teploty pro tepelné zpracování:

Žíhání na měkko	810-830 °C/4h pomalu ochlazovat v peci Max.tvrdost 230HB
Žíhání k odstranění pnutí	600-650 °C/2h pomalu ochlazovat v peci
Kalení	980-1050 ochlazovat v oleji a na vzduchu Max. 60-61 HRC
Kalení Pilana	1010°C ochlazováno na vzduchu
Popouštění	dle požadované tvrdosti 180-550°C

Charakteristika oceli:

Nástrojová chrom-molybden-křemík-vanadová ocel ke kalení v oleji a na vzduchu, s velkou prokalitelností na klidném vzduchu asi do 80mm, zvětšenou odolností proti opotřebení a tlakovému namáhání při zvýšené houževnatosti, velmi malými rozměrovými změnami po tepelném zpracování, dobrou obrobitelností ve stavu žíhaném na měkko a dobrou svařitelností za tepla.

Vhodnosti použití:

- Nástroje pro stříhání za studena
- Nástroje pro tváření za studena
- Řezné nástroje na dřevo
- Nástroje pro drcení a mletí

2.1.3 Ocel 19 569

Tab.:2.3 Chemické složení oceli 19 569

	C	Mn	Si	Cr	W	V	Mo
Chemické složení v %	0,58 - 0,68	0,25 - 0,55	0,7 - 1,1	4,5 - 5,5	max. 0,6	0,2 - 0,4	0,8 - 1,2

Podobné oceli	DIN 1.2362 X63CrMoV51

Teploty přeměn	Ac1	Ac3	Ms
	840°C	880°C	270°C
Hustota	7.76 kg/dm3		

Doporučené teploty pro tepelné zpracování

Žíhání na měkko	810-830/4h pomalu ochlazovat v peci Max.tvrdost 230HB
Žíhání k odstranění pnutí	600-650/2h pomalu ochlazovat v peci
Kalení	980-1020 ochlazovat v oleji a na vzduchu Max. 60-61 HRC
Kalení Pilana	1010°C ochlazováno na vzduchu
Popouštění	dle požadované tvrdosti 200-590°C

Charakteristika oceli:

Nástrojová chrom-molybden-křemík-vanadová ocel ke kalení v oleji a na vzduchu, s velkou prokalitelností na klidném vzduchu asi do 80mm, zvětšenou odolností proti opotřebení a tlakovému namáhání při zvýšené houževnatosti, velmi malými rozměrovými změnami po tepelném zpracování, dobrou obrobitelností ve stavu žíhaném na měkko a dobrou svařitelností za tepla.

Vhodnosti použití:

- Nástroje pro stříhání za studena
- Nástroje pro tváření za studena
- Řezné nástroje na dřevo
- Nástroje pro drcení a mletí

2.2 Kaleni a popouštění

Konečné vlastnosti nástroje se získávají kalením ve spojení s popouštěním. Tento postup se tak stává nejdůležitější operací při výrobě nástrojů zhodnocující použitý druh oceli a zajišťují úsilí při výrobě nástrojů.(1)

Kalením se označují ty způsoby tepelného zpracování, jejichž cílem je dosažení nerovnovážných stavů ocelí. Podle převažující strukturní složky se kalení rozděluje na martenzitické a bainitické, přičemž většinou je cílem kalení zajistit vznik struktury martenzitické.(2)

2.3 Kalitelnost, zakalitelnost a prokalitelnost

Při dostatečné rychlosti ochlazování z austenitizační teploty, kterou ne vždy lze prakticky realizovat u reálných součástí vyrobených zejména z nízkouhlíkových ocelí, lze u převážné většiny ocelí získat martenzitickou strukturu. Schopnost oceli dosáhnout tohoto strukturního stavu nazýváme kalitelnost a odpovídající oceli označujeme jako kalitelné.(2)

Mezi nekalitelné oceli se řadí především vysokolegované nepolymorfní oceli s feritickou nebo austenitickou strukturou.(2)

K pojmu kalitelnost je účelné zavést další dva pojmy, a to zakalitelnost a prokalitelnost.(2)

Zakalitelnost se zpravidla hodnotí tvrdostí oceli po zakalení a její maximální dosažitelná hodnota je určena tvrdostí martenzitu, která závisí především na obsahu uhlíku v austenitu.(2)

Je jednou ze základních vlastností nástrojových ocelí, porotce ovlivňuje odolnost proti opotřebení a také řezivost. Při nízké tvrdosti klesá také mez kluzu, takže plastická deformace probíhá při nižším napětí. Tvrdost ocelí po zakalení závisí hlavně na obsahu uhlíku.(1)

Kalitelnost a zakalitelnost jsou materiálové charakteristiky a mimo chemického složení oceli jsou závislé na stavu austenitu před kalením (velikost zrna, homogenita, přítomnost minoritních fází).(2)

Jako prokalitelnost se označuje schopnost oceli získat po zakalení tvrdost odpovídající její zakalitelnosti (nebo smluvní hodnotě z ní odvozené) v určité hloubce pod povrchem kaleného předmětu. Hodnota prokalitelnosti je určena vztahem mezi kritickou rychlostí kalení a skutečnou rychlostí ochlazování uvažovaného předmětu, která se zvětšuje s rostoucí intenzitou odvodu tepla použitým kalicím prostředím, se zvětšujícím se poměrem povrchu k objemu kalené součásti a se zvyšující se tepelnou vodivostí oceli.(2)

U nástrojových ocelí se obvykle žádá, aby byl prokalen celý průřez. Pokud má mít vyšší tvrdost pouze povrch a jádro si má zachovat houževnatost, je vhodné použít oceli nelegované nebo k cementování.(1)

2.4 Popouštění

Finální vlastnosti nástroje po kalení se získávají následným popouštěním. Nástroje jsou po kalení křehké a náchylné k praskání. Bezpodmínečně nutné je proto jejich okamžité popuštění. Výše popouštěcí teploty se volí podle požadované tvrdosti, resp. pevnosti nástroje a dalších potřebných mechanických vlastností (houževnatost, únavové pevnosti apod.) Nástroje pro práci za studena se obvykle popouštějí v rozmezí 150-300°C, nástroje pro práci za tepla 500 až 650°C. Speciálním případem je popouštění rychlořezných ocelí.(1)

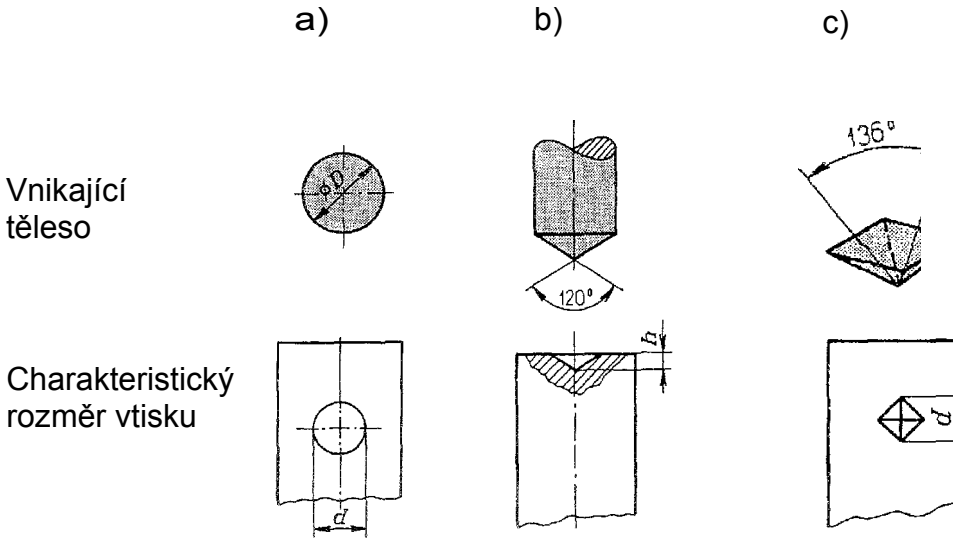
Ohřev má být pozvolný s dostatečnou prodlevou na popouštěcí teplotě, která umožní, aby popouštění proběhlo v celém objemu nástroje. Při popouštění do teploty 300°C není nutný předehřev a nástroje je možno založit do pece, resp. lázně vyhřáté na popouštěcí teplotu. Při popouštěcích teplotách vyšších je nutné nástroje předehřát, nejlépe ve vzduchové peci vyhřáté na asi 300-350°C. Po vyrovnání teploty při popouštění v téže peci dále ohřívat rychlostí 20-50°C/h podle velikosti nástroje až do popouštěcí teploty. Při popuštění v solných lázních se přenášejí předehřáté nástroje ze vzduchové pece do solné lázně vyhřáté na popouštěcí teplotu.(1)

2.5 Zkoušky tvrdosti

Zkouška tvrdosti je rychlou a levnou zkouškou, která slouží k odhadu mechanických vlastností materiálu. Tvrdost se určuje vtlačováním indentoru (vnikajícího tělíska) definovanou silou do povrchu zkoušeného materiálu.
V principu existují dva způsoby měření tvrdosti.(2)

Prvý způsob, používaný u kovů a keramiky, kdy je indentor zamáčknut do materiálu tak, aby došlo k plastické (trvalé) deformaci materiálu. Tyto metody označujeme jako metody vnikající (indentační). Druhý způsob měření tvrdosti je založen na principu elastické interakce povrchu materiálu a zkušebního tělíska a v současné době se používá většinou pro hodnocení pryží a plastů.(1)

Vzhledem k tomu, že firma Pilana Tools Knives přijímá všechny zakázky od zákazníků vyžadujících tvrdost uváděnou podle Rockwellovy stupnice, bude dále podrobně popsána pouze tato metoda.

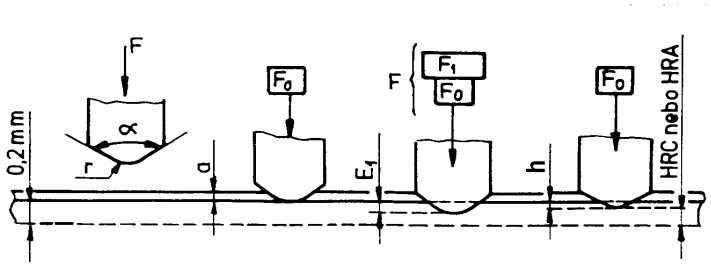


Obr.2.1. : Tvar vnikajícího tělesa a charakteristiky a rozměr vtisku. Zkouška tvrdosti podle:
a) Brinella b) Rockwella c) Vickerse

2.5.1 Zkouška tvrdosti podle Rockwella –

(stupnice A,B,C,D,E,F,G,H,K,N,T), (ČSN EN ISO 6508):

Podstata zkoušky – vtlačování vnikajícího tělesa ve tvaru diamantového kužele nebo ocelové kuličky do povrchu zkušebního tělesa postupně nadvakrát za určitých podmínek. Měří se trvalá hloubka vtisku ***h*** pod předběžným zatížením



Obr.2.2: Vtlačování vnikajícího tělesa

Podstata měření podle Rockwella:

Zkouška se provádí na povrchu, který je hladký a rovný, bez okujené vrstvy, cizích tělísek a bez mazadel.
Tloušťka zkoušeného tělesa nebo vrstvy musí být alespoň desetkrát větší než trvalá hloubka vtisku kuželového vnikajícího tělesa a alespoň pětkrát větší než trvalá hloubka vtisku ocelové kuličky.
Na protilehlé straně zkušebního tělesa nesmí být po zkoušce patrné viditelné stopy deformace.
Při zkouškách na válcových a kulových površích musí být použity opravné součinitele uvedené v normě.

Vnikající tělísko je:
- bud' ocelová kulička o průměru ***D*** **=** 1,5875 nebo 3,175 [mm] v souladu s EN 10109-2,
- nebo diamantový kužel s vrcholovým úhlem 120° a poloměrem zaoblení na vrcholu 0,200 [mm] dle EN 10109-2.
- v normě jsou stanoveny vzdálenosti středů jednotlivých vtisků od sebe i od okraje zkušebního tělesa.

Zatížení *F* [N]:
- Zkušební přístroj musí být schopen vyvolat zkušební zatížení dle **tab. 2.4** a v souladu s EN 10109-2,
- Vnikající těleso se přivede do styku se zkoušeným povrchem a zatíží se předběžným zatížením F_0,
- Měřicí zařízení se nastaví do počáteční polohy a zatížení se zvýší o F_1 z F_0 do F v čase větším než 2 [s] a menším než 8 [s].
- Přídavné zatížení F_1 se odlehčí tak, aby zůstalo předběžné zatížení F_0, přičemž trvání celkového zatížení F musí být 4 ± 2 [s].

Po celou dobu zkoušky musí být zkušební stroj chráněn před rázy a chvěním.

Určení tvrdosti materiálu:

Hodnota tvrdosti se stanovuje z trvalé hloubky vtisku *h* ; odečítá se obvykle přímo na měřícím zařízení.

Výsledná informace o hodnotě tvrdosti je zapisována následujícím způsobem:
- tvrdost podle Rockwella pro stupnice A – H a K se označuje: *hodnota tvrdosti*, za ní následuje HR a *značka stupnice*, např.: 59 HRC $\Rightarrow$ tvrdost podle Rockwella 59 měřená na stupnici C.

- tvrdost podle povrchového Rockwella pro stupnice N a T se označuje: *hodnota tvrdosti*, za ní následuje HR, *číslo* reprezentující celkové zkušební zatížení a *značka stupnice*, např. 70 HR 30 N $\Rightarrow$ tvrdost podle povrchového Rockwella 70

měřená na stupnici 30 N s celkovým zkušebním zatížením 294,2 [N].

Tab. 2.4 : Přehled zkoušek tvrdosti podle Rockwella

Stupnice tvrdosti	Symbol tvrdosti	Vnikací tělísko	Předběžné zatížení F_0 [N]	Přídavné zatížení F_1 [N]	Celkové zatížení F[N]	Oblast použití
A	HRA	Diam. kužel	98,07	490,3	588,4	20 – 88 HRA
B	HRB	Ocel. kulička 1,5875[mm]	98,07	882,6	980,7	20 – 100 HRB
C	HRC	Diam. kužel	98,07	1 373	1 471	20 –70 HRC
D	HRD	Diam. kužel	98,07	882,6	980,7	40 – 77 HRD
E	HRE	Ocel. kulička 3,175[mm]	98,07	882,6	980,7	70 – 100 HRE
F	HRF	Ocel. kulička 1,5875[mm]	98,07	490,3	588,4	60 – 100 HRF
G	HRG	Ocel. kulička 1,5875[mm]	98,07	1 373	1 471	30 – 94 HRG
H	HRH	Ocel. kulička 3,175[mm]	98,07	490,3	588,4	80 – 100 HRH
K	HRK	Ocel. kulička 3,175[mm]	98,07	1 373	1 471	40 – 100 HRK
15 N	HR 15 N	Diam. kužel	29,42	117,7	147,1	70 – 94 HR 15N
30 N	HR 30 N	Diam. kužel	29,42	264,8	294,2	42 – 86 HR 30N
45 N	HR 45 N	Diam. kužel	29,42	441,3	441,3	20 – 77 HR 45N
15 T	HR 15 T	Ocel. kulička 1,5875[mm]	29,42	117,7	147,1	67 – 93 HR 15T
30 T	HR 30 T	Ocel. kulička 1,5875[mm]	29,42	264,8	294,2	29 – 82 HR 30T
45 T	HR 45 T	Ocel. kulička 1,5875[mm]	29,42	411,9	441,3	1 – 72 HR 45T

2.6 Oceli pro nízké teploty

Součástí strojů a zařízení užívaných v polárních krajinách jsou vystaveny působení nízkých teplot až do -60°C. Snižováním teploty se mění mechanické vlastnosti kovů a slitin. Houževnatost kovů s plošně centrovanou krychlovou mřížkou se příliš nezmenšuje, ale kovy a slitiny s jinými druhy krystalových mřížek se za nízkých teplot stávají křehkými. Proto vhodným tepleným zpracováním je možné snížit teplotu, pod kterou jsou tyto oceli nepřípustně křehké.(4)

2.7 Houževnatost a její zkoušení

Slouží k zjištění, kolik práce nebo energie se spotřebuje na porušení zkušební tyče. Zkouší se nejčastěji jedním rázem, kdy na porušení zkušební tyče se použije najednou dostatečného množství energie. Méně často se zkouší několika rázy, kdy se energie po sobě jdoucích rázů sčítá. Rázem lze zkoušet pevnost v tahu, tlaku, ohybu nebo krutu.

2.7.1 Zkouška rázem v ohybu

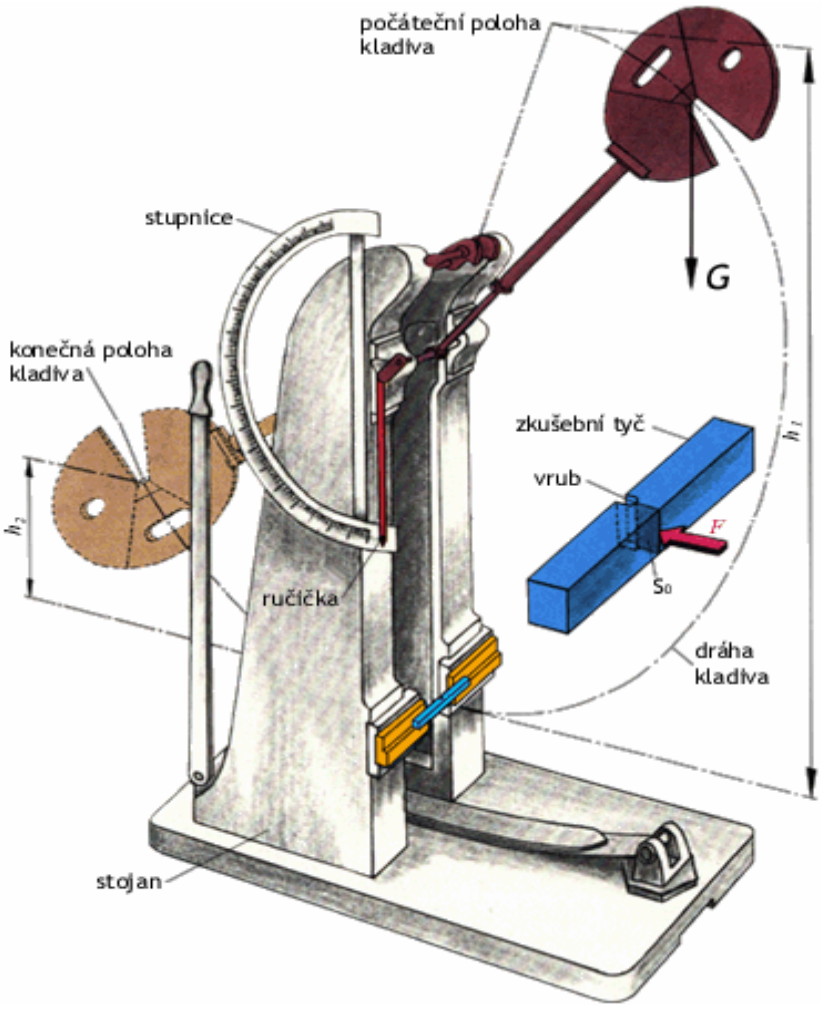
.

Zkouška rázem v ohybu je ze všech zkoušek nejpoužívanější a je velmi dobrým ukazatelem houževnatosti nebo křehkosti materiálů. Nejběžnější je zkouška houževnatosti na Charpyho kyvadlovém kladivu (obr. 2.3). (4)

Těžké kladivo, otočné kolem osy, se zdvihne a upevní v počáteční poloze. V nejnižší poloze kladiva se umístí ve stojanu kyvadlového kladiva zkušební tyč ze zkoušeného materiálu. Po uvolnění z počáteční polohy se kladivo pohybuje po kruhové dráze, narazí na zkušební tyč, přerazí ji a vykývne do konečné polohy. Tato poloha je nižší než poloha počáteční, protože na přeražení zkušební tyče se spotřebovala určitá práce. Této práci říkáme spotřebovaná nárazová práce [J].

Podíl spotřebované nárazové práce a původního nejmenšího průřezu v místě vrubu nazýváme houževnatost.(4)

.



Obr. 2.3 Zkouška rázem v ohybu - Charpyho kyvadlové kladivo (7)

2.7.2 Vliv teploty na houževnatost

Teplota zkoušeného materiálu, označována obvykle jako teplota zkoušení, má podstatný vliv na hodnotu houževnatosti. Kvalita kovových materiálů se často posuzuje podle toho, jakou mají hodnotu houževnatosti při 20°C. Čím je materiál za této teploty houževnatější, tím je považován za kvalitnější. Uvedené hledisko bude dostačující v těch případech, kdy součásti vyrobené z daného materiálu budou v provozu vystaveny teplotám blízkým pokojové teplotě. Velké množství součástí z kovových materiálů je však namáháno rázy za teplot buď vyšších, nebo značně nižších, než je normální teplota**.** (4)

2.7.3 Zkoušky houževnatosti při zvýšených a snížených teplotách

Na vrubovou houževnatost má značný vliv teplota zkoušeného materiálu. Proto se vrubová houževnatost materiálu často zjišťuje při zvýšených a snížených teplotách. Vlastní provedení těchto zkoušek je v podstatě stejné jako provedení zkoušky za normální teploty.

Při zkoušení vrubové houževnatosti za vyšších teplot, než je teplota místnosti, se vzorky do 100°C ohřívají ve vodě, při 100°C ve vroucí vodě, nad 100°C v olejových lázních nebo pících.

Zkoušky vrubové houževnatosti za nižších teplot jsou obtížnější. Zkušební tyče se ochlazují mimo zkušební stroj ve speciálních nádobách, obvykle s kapalinami, které nejsou agresivní ke zkoušenému materiálu. Pro tyto teploty v rozmezí 0 až -80°C se užívá suchého ledu s líhem, benzínem neb toluenem. Pro nižší teploty se používá směsi kapalného dusíku s pentanem. Nejnižší teplota, na niž lze materiál bez obtíží ochladit a při níž se zkouší vrubová houževnatost, je teplota kapalného dusíku, tj. -196°C. Doba setrvání vzorků na teplotě musí být nejméně 15 minut.(4)

2.8 Obrusitelnost

Důležitou technologickou vlastností nástrojových ocelí je obrusitelnost, protože u každého nástroje se dokončuje úprava funkčních povrchů broušením. Při této operaci se odstraňuje oduhličená resp. oxidovaná vrstva a deformace vzniklé při tepelném zpracování. Při broušení je nutno zabránit většímu zvýšení teploty v povrchové vrstvě, aby se nesnížila její tvrdost a tím odolnost proti opotřebení.(1)

Pokud vzniká při broušení velké pnutí, doporučuje se žíhat nástroj na snížení pnutí. U ocelí bez sekundární tvrdosti se provádí za teploty 150 až 160°C, u ostatních se volí obvykle 350 až 400°C. Výdrž na teplotě bývá 30 minut až 1 hodina. Také tlak na povrch nástroje při broušení nesmí být příliš velký. Pokud se deformuje slabá vrstvička na břitu ve směru broušení, objevují se přeložky a po vyčerpání plastických vlastností také prasklinky. Při obrábění

se přeložka ulomí a z břitu se vyštípne mikroobjem. Tím se zvýší opotřebení nástroje a na břitu se vytvoří nerovnosti.(1)

Obrusitelnost nástrojových ocelí závisí na tvrdosti matrice, obsahu zbytkového austenitu a na množství, velikosti a tvrdosti karbidů, resp. při nevhodném broušení, se zvyšuje teplota povrchu při broušení tak vysoko, že se v malé povrchové vrstvičce vytvoří ostrůvky austenitu, který transformuje při následujícím ochlazování na martenzit nebo zůstane v matrici jako zbytkový austenit.(1)

Objemové změny při martenzitické transformaci vyvolávají pnutí, event. vznik prasklinek. Nový, nepopuštěný martenzit snižuje také houževnatost. Obrusitelnost zhoršují silně karbidy vanadu, které mají vysokou mikrotvrdost.

Nepříznivě působí zejména velké karbidy.Potíže také způsobuje síťoví cementitu, ve kterém vznikají snadno při broušení prasklinky rychle se šířící po skeletu.(1)

2.9 Stálost rozměrů

U většiny nástrojů se požaduje, aby měly po tepelném zpracování minimální rozměrové změny, protože broušení je drahá operace, která zvyšuje cenu nástroje.

Rozměrové i tvarové změny jsou způsobovány tepelným a strukturním pnutí.Při ohřevu na kalící teplotu a po následujícím ochlazování probíhá strukturní přeměna, kterou lze znázornit schématicky alfa fáze + karbidy $\rightarrow$ austenit $\rightarrow$ + karbidy

$\rightarrow$ martenzit + karbidy + zbytkový austenit. Největší měrný objem má martenzit, nejmenší austenit. Hlavní vliv na zvětšení měrného objemu martenzitu má uhlík. Menší deformace proto mají oceli s nižším obsahem uhlíku a větším podílem zbytkového austenitu.

Všeobecně však platí, že se rozměry nástrojů po kalení zvětšují. Při popouštění se mohou rozměry zmenšovat, zůstat stejné, u sekundárně vytvrditelných ocelí se zvětšují.(1)

Silný vliv na deformace u ledeburitických ocelí má karbidická řádkovitost, která vyvolává nerovnoměrnost deformací ve dvou na sobě kolmých směrech, čímž zvyšuje tvarovou deformaci nástrojů.(1)

Rozměrové změny i tvarové deformace lze do určité míry omezit pozvolnějším ohřevem na kalící teplotu, kalením nástrojů do mírnějších prostředí (vzduch, teplá lázeň) nebo ochlazováním v přípravku pod lisem.(1)

Při rychlém ohřevu na austenitizační teplotu vznikají pnutí, která se mohou sčítat s pnutím, které vzniklo při výrobě nástroje. Po hrubování nástrojů se proto doporučuje žíhat na snížení pnutí nebo použít dostatečně pomalý ohřev na austenitizační teplotu. Ke zvýšení rozměrové stálosti přispívá dlouhá výdrž na teplotě 100°C. U přesných nástrojů(např.: měřidlo) musí být zaručena

rozměrová stálost i po dlouhých dobách používání, protože při změně rozměru ztrácejí měřidla přesnost.(1)

Malé deformace po kalení mají oceli, u kterých zůstává po zakalení v matrici určité množství zbytkového austenitu.(1)

2.10 Mechanické a technologické vlastnosti nástrojových ocelí

Podle použití, podmínek namáhání a velikosti nástrojů je nutno zaručit u nástrojových ocelí

- Pevnost, mez kluzu, houževnatost
- Zapalitelnost
- Prokalitelnost
- Odolnost proti popouštění (teplotní stálost)
- Rozměrovou stálost

2.10.1 Pevnost

U tvrdých nástrojů pracujících za normální teploty se obvykle zjišťuje pevnost v ohybu, protože lépe vystihuje způsob namáhání nástroje při provozu. Pevnost v tahu je také málo citlivá na změnu vlastností, které probíhají při popouštění za nízkých teplot. Tahové zkoušky se proto provádějí převážně u ocelí s pevností do 1800 MPa. Ani zkouška pevnosti v krutu se příliš nerozšířila, protože výsledky mají poměrně značný rozptyl.
Houževnatost méně tvrdých ocelí se určuje rázovou zkouškou v ohybu bez vrubu nebo s vrubem. V posledních letech se začíná také používat zkouška lomové houževnatosti. Povrch vzorků pro zkoušku ohybem musí být pečlivě připraven, protože zkouška je při vysoké pevnosti ocelí citlivá na vruby.
Při zkoušce ohybem se měří také průhyb, který charakterizuje celkovou deformaci tj. pružnou a plastickou, při čemž hlavní podíl představuje deformace pružná. Z velikosti průhybu je možno usuzovat na plastické vlastnosti ocelí.(1)

Pevnost nástrojových ocelí závisí na :

- Pevnosti základní matrice, kterou tvoří obvykle nízkopopuštěný martenzit a malé množství zbytkového austenitu.

- Množství, velikosti, tvaru a uspořádání karbidů. Pevnost nástrojových ocelí snižují silně zbytky eutektického karbidického skeletu, řetízky sekundárních karbidů a karbidická řádkovitost. Při stejném množství ji snižují hrubé karbidy více než jemné.

- Směru namáhání. Nadeutektoidní a ledeburitické oceli, u kterých se tvoří při tváření karbidická řádkovitost, mají nižší pevnost hlavně ve směru kolmém na směr tváření.

- Jakosti povrchu. Nástrojové oceli mají po zakalení a nízkém popouštění vysokou pevnost, takže jsou mimořádně citlivé na vruby. Aby se získaly maximální mechanické vlastnosti je nutno povrch pečlivě připravit.

- Vnitřním pnutí v materiálu

- Velikosti zrna. Značný vliv na pevnost má také velikost zrna. S rostoucí velikostí zrna klesají hodnoty pevnosti i meze kluzu, při čemž se k sobě nežádoucně přibližují.(1)

2.10.2 Mez kluzu

Mez kluzu v tahu i tlaku určuje stálost rozměrů nástroje, protože po jejím překročení probíhá ve větší míře plastická deformace. Odpor proti plastické deformaci závisí na tvrdosti martenzitu (tj. obsahu rozpuštěného uhlíku), obsahu zbytkového austenitu a na velikosti a množství fází, které brání pohybu dislokací. Podle zkoušek snižuje mez kluzu a tlaku i v tahu hlavně zbytkový austenit, zejména pokud je jeho obsah v matric vyšší než 10 až 15%.(1)

2.11 Plastické vlastnosti

Plastické vlastnosti nástrojových ocelí po zakalení a popouštění určují odolnost nástrojů proti mechanickým rázům tj. proti tvorbě trhlin a jejich šíření. U měkčích ocelí s pevností do asi 1800 Mpa je možno ověřovat plastické vlastnosti měřením tažnosti či kontrakce při tahové zkoušce. U těchto ocelí lze také měřit houževnatost rázovou zkouškou v ohybu na vzorcích s vrubem nebo bez vrubu. U materiálu tvrdších než asi 60 HRC je možno posuzovat plastické vlastnosti pouze ze zkoušky statickým ohybem z hodnoty pevnosti a průhybu.(1)

Houževnatost ocelí závisí na podobě matrice a množství, velikosti a morfologii karbidů. Vyšší plastické vlastnosti mají oceli jemnozrnné. Karbidy mají být jemné, rozložené rovnoměrně v matrici. Nejvíce snižují houževnatost karbidy vyloučené na hranicích zrn jako řetízky nebo síťoví. U nástrojových ocelí je nutno počítat s tím, že jejich přechodová teplota leží nad normální teplotou. Např. u nelegovaných ocelí s obsahem uhlíku 0,6% je vyšší než 20°C, u nízkolegovaných ocelí pro tváření zatepla je vyšší než 200°C, takže je nutno nástroj před tvářením předehřát. Pokud pracují nástroje za vyšších teplot, je možno určit jejich plastické vlastnosti z velikosti zúžení, které se měří při krátkodobé zkoušce pevnosti v tahu za zvýšených teplot.(1)

2.12 Tepelná únava

U nástrojů pro tváření za tepla se objevuje po určité době na pracovním povrchu síťoví trhlinek, které zhoršuje jakost výrobků. Při větším rozsahu může dojít i k prasknutí nástroje. Tento jev se nazývá tepelná únava. Vyvolán je střídavým ohřevem a ochlazováním povrchových vrstev nástroje, které jsou ve styku s předehřátým polotovarem. Při tváření se povrchová vrstva roztahuje. Protože však studené podpovrchové vrstvy dilataci brání, vzniká na povrchu tlakové pnutí, které je tím větší, čím větší je rozdíl teplot a koeficient teplené roztažnosti. Při ochlazování nástroje se mění pnutí tahové. Pokud je vzniklé napětí větší než mez kluzu, probíhá v povrchové vrstvě plastická deformace a pnutí se snižuje. Současně se ovšem mění rozměry nástroje.(1)

Odolnost proti tepelné únavě se zjišťuje laboratorními zkouškami, při kterých se vzorek střídavě ohřívá a ochlazuje. Při praktickém použití výsledků laboratorních zkoušek se však nutno přihlédnout i k dalším vlivům, protože tepelná únava je ovlivněna řadou faktorů.(1)

2.13 Teorie dělení dřeva a nových hmot ze dřeva

2.13.1 Základní pojmy

Technologií se v širším smyslu rozumí nauka o zpracování, výrobě některého materiálu nebo souhrn procesů a technických prostředků, při výrobě použitých.

2.13.2 Druhy a vlastnosti obráběných hmot ve vztahu k obrábění

1. Dřevo

Při obrábění dřeva se významně uplatňují jeho fyzikální vlastnosti (objemová hmota, hygroskopicita, schopnost pojmout volnou vodu, tepelná vodivost, elektrická vodivost) a mechanické vlastnosti (tvrdost, plastičnost, pevnost). Fyzikální i mechanické vlastnosti dřeva jsou podmíněny jeho anatomickou a chemickou stavbou a ovlivňují je faktory stanoviště, na němž dřevo rostlo.(5)

Kromě fyzikálních a mechanických vlastností rozlišujeme ještě technologické vlastnosti dřeva (dělitelnost, štípatelnost, tvárnost, obrobitelnost).(5)

Objemová hmota má značný význam, protože jejím zvětšením se zvětšuje přibližně stejnou měrou za jinak stejných podmínek také řezný odpor.(5)

Vlhkost dřeva rovněž ovlivňuje řezný odpor. Obsah vody ve dřevě může také ovlivnit průběh elektrických jevů při oddělování třísky a tím i trvanlivost břitu.(5)

Při nízkém koeficientu tepelné vodivosti dřeva je teplo vznikající při obrábění na břitu pouze nepatrně odváděno hmotou obrobku; převážně je odváděno nástrojem.(5)

Pevnost dřeva je odpor, který dřevo klade proti oddělení jednotlivých svých částí.(5)

Tvrdost dřeva je odpor, který klade dřevo proti vnikání jiného předmětu (tedy i nástroje). Tvrdost dřeva je tím vyšší, čím hustší jsou libriformní vlákna, čím jsou jejich stěny tlustší a čím nižší je obsah vody ve dřevě.

Podle tvrdosti můžeme rozdělit dřeva na

a) velmi měkká : smrk, borovice, jedle, topol, vrba, lípa,
b) měkká : modřín, douglaska, bříza, olše, treak,
c) středně tvrdá : jilm, platan,
d) tvrdá : dub, javor, buk, jasan, habr, akát, třešeň, jabloň, hrušeň, ořešák, švestka
e) velmi tvrdá : zimostráz, dřín, svída, hloh, hikory, citrónové dřevo, palisandr,
f) zvlášť tvrdá : exotická dřeva (eben, kvebracho, guajak, granadill aj.)

Tvrdost dřeva se zmenšuje vlivem vyššího obsahu vlhkosti přibližně až do oblasti nasycení vláken a zvýšením teploty dřeva (pařením, vařením). Suky jsou podstatně tvrdší, takže se významně podílejí na opotřebení břitu.

Dělitelnost je podmínkou obrábění.

Štípatelnost je vlastnost, která umožňuje dřevo rozdělit na kusy podél vláken při vnikání klínovitého nástroje.(5)

Obrobitelnost je souhrn vlastností, které charakterizují vztah obráběné hmoty k nástroji při obrábění. Obrobitelnost může být souhrnně vyjádřena dosažitelným výkonem při obrábění, řeznými odpory, jakostí obrobené plochy, rozměrovou a tvarovou přesností. Výkon při obrábění je ovlivněn řadou činitel, tedy nikoli jen vlastnostmi obráběného materiálu. Lze ho vyjádřit množstvím obrobků zpracovaných za určitý časový úsek nebo velikostí povrchu obrobeného za jednotku času, popř. objemem hmoty proměněné v třísky za jednotku času.(5)

Rozdíly ve výkonu, jakosti a přesnosti při obrábění mohou být výrazem rozdílné obrobitelnosti jen tehdy, jsou-li ostatní parametry neproměnné (řezná rychlost, geometrie nástroje atd.). Někdy však mají tato kritéria pro posuzování obrobitelnosti opačný průběh. Tak např. vysoká tvrdost dřeva způsobuje obtížné vnikání břitu do obrobku (velký řezný odpor), avšak obrobený povrch může být podstatně hladší než u měkkého dřeva obrobeného za jinak stejných podmínek.(5)

2. Vrstvené dřevo

Vyrábí se nezhuštěné nebi zhuštěné. Podle množství syntetické pryskyřice se vrstvená dřeva dělí na neimpregnovaná (pryskyřice slouží ke slepení dýh) a na impregnovaná (dýhy jsou pryskyřicí nejen slepeny, ale dřevo je bakelizováno).(5)

Na obrobitelnost vrstveného dřeva mají největší vliv objemová hmota materiálu a obsah vytvrzené pryskyřice.(5)

3. Plastické hmoty

Netvrditelné plastické hmoty lze dobře obrábět. Netvrditelných plastických hmot mají po obrábění význam polvinylchlorid (PVC) tvrdý a polymetylmetakrylát (plexisklo, organické sklo, umaplex). Vzhledem k malé tepelné vodivosti je teplo vznikající při obrábění odváděno především nástrojem (nebezpečí přehřátí nástroje).(5)

2.14 Charakteristika nejpoužívanějších nožů firmy Pilana Tools Knives

2.14.1 Roztřískovací nože

Obr.2.4 Roztřískovací nůž (3)

Materiál nástrojů: speciální oceli chipper vyvinuté pro výrobu sekacích a roztřískovacích nožů, nástroje oceli DS.

Použití: finální operace při dvojstupňové či jednostupňové výrobě třísek pro dřevotřískové desky.

Stroj: prstencový a bubnový roztřískovač značky Pallmann, Maier, Klöckner, Pessa, a v prvním stupni dezintegrace dřeva na strojích Hombak.

Charakteristika:

- roztřískovací nože tvrdosti 55 až 57 HRC, na požadavek i jiná tvrdost
- tepelné zpracování prováděno ve speciální peci řízené počítačem úhel ostří: 35°-44° dle typu stroje

Obr.2.5 Ukázka principu použití roztřískovacích nožů (3)

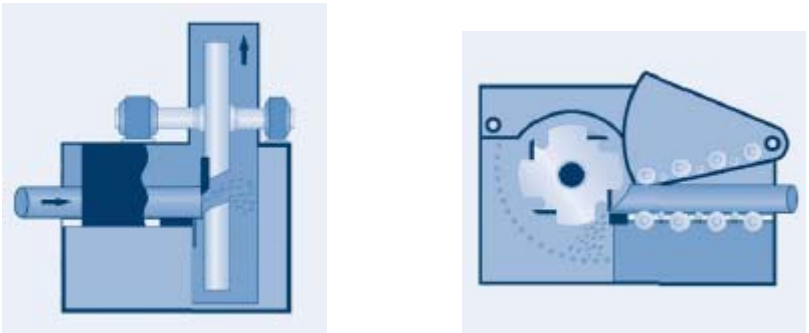
2.14.2 Sekací nože

Obr.2.6 Sekací nůž (3)

Materiál nástrojů: speciální oceli chipper vyvinuté pro výrobu sekacích a roztřískovacích nožů.
Použití: drcení odpadového dřeva, sekání dřeva na štěpku určenou pro roztřískovací
Stroj: sekací stroje

Charakteristika:

- sekací nože tvrdosti 52 až 58 HRC
- tepelné zpracování prováděno ve speciální peci řízené počítačem
- úhel ostří: 26° až 40° dle typu stroje a dle druhu stavu dřeva
- výroba jakéhokoliv nože podle výkresové dokumentace nebo podle vzorku



Obr.2.7 Ukázka principu použití sekacích nožů (3)

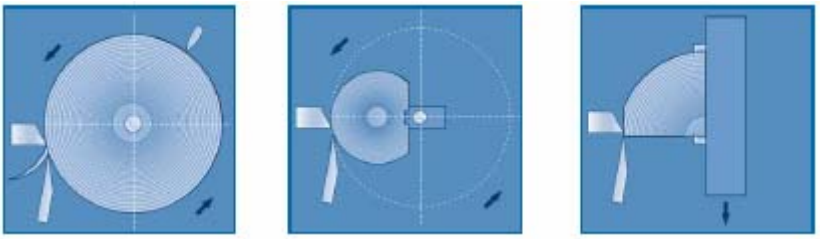
2.14.3 Nože na dýhu

Obr.2.8 Nůž na dýhu (3)

Materiál nástrojů: speciální oceli choler vyvinuté pro výrobu sekacích, dýhovacích a roztřískovacích nožů, CHIPPER – 1.2362, 1.2631 –A8 provedení Solid.

Použití: krájení, loupání a stříhání dýhy
Stroj: loupací a krájecí stroje, nůžky na dýhu

Charakteristika:
- dýhovací nože tvrdosti 57 až 60 HRC
- tepelné zpracování prováděno ve speciální peci řízené počítačem
- úhel ostří: cca 20°



Obr.2.9 Ukázka principu použití nožů na dýhu (3)

3 CÍLE PRÁCE

Velkou starostí a špatnou vizitkou všech firem jsou reklamace zboží od zákazníků. Stejně tak je to u i firmy Pilana Tools Knives.. Přestože jsou prováděny četné zkoušky kvality výrobků, které by měly zaručit požadovanou jakost výrobků, občas se ze strany odběratelů objeví reklamace. Nejčastěji se jedná o problémy s mechanickým poškozením nožů, zpravidla jde o zlomený nůž.
Jako hlavní zkouška pro ověření kvality nožů je firmou Pilana Tools Knives používáno měření tvrdosti. Tyto zkoušky nikdy nenaznačovaly nedostačující kvalitu nožů (špatnou odolnost vůči namáhání), přesto občas dochází k jejich neočekávanému poškození. Jedním z důvodů, proč nože selhávají, může být i nedostačující metodika ověřování dalších mechanických vlastností materiálu nožů. Důležitou materiálovou charakteristikou, která by měla být též sledována, je mimo jiné vrubová houževnatost za snížených teplot, protože velká část zákazníku používá nože vyrobené firmou Pilana Tools Knives i v extrémních podmínkách při teplotách hluboko pod bodem mrazu.

Souhrnným cílem této práce je optimalizace tepelného zpracování a volby materiálu průmyslových nožů na základě širšího spektra experimentálních zkoušek, než které jsou firmou Pilana Tools Knives dosud používány.

Konkrétní dílčí cíle předložené práce jsou tyto:

- Vyrobit vzorky ze zadaných materiálů a provést jejich tepelné zpracování v různých režimech
- Provést zkoušky tvrdosti podle Rockwella zadaných vzorků při pokojové teplotě i při teplotách pod bodem mrazu a porovnání výsledků těchto měření
- Provést zkoušky vrubové houževnatosti na Charpyho kladivu na zadaných vzorcích za různých teplot a porovnání výsledků těchto měření
- Analyzovat mikrostrukturu zkoumaného materiálu
- Ověřit kvalitu vybraných vzorků nožů v reálných provozních podmínkách
- Zhodnotit, který ze zkoušených materiálů a jaký způsob tepelného zpracování je optimální z hlediska užitných vlastností
- Zhodnotit danou problematiku z ekonomického hlediska

4 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

V následující části práce jsou popsány postupy výroby vzorků nožů ze zadaných materiálů, způsoby jejich tepelného zpracování a ověřování jejich mechanických vlastností.

4.1 Experimentální materiál a zkušební vzorky

Jako experimentální materiál byly zvoleny tři druhy nástrojových ocelí, které byly obecně popsány již v teoretické části této práce. Jedná se o oceli 19552, 19559 a 19569. Z uvedených materiálů byly vyrobeny a v různých režimech tepelně zpracovány zkušební vzorky pro měření tvrdosti, vrubové houževnatosti a pro strukturní analýzu materiálu. Jako experimentálního materiálu bylo dále využito i reálných poškozených nožů (viz. obr.4.1)

4.2 Tepelné zpracování

Nejdůležitějším typem tepelným zpracováním používaným při výrobě nožů z nástrojových ocelí je kalení a popouštění. Zpravidla se jedná o kalení a vysokoteplotní popouštění na sorbitickou strukturu, tedy tzv. zušlechťování. Ve firmě Pilana Tools Knives se pro tyto účely používá kanthalová komorová pec BVD 80/K-K řízená programovatelným regulátorem.

Technické parametry pece používané ve firmě Pilana Tools Knives.

Typ	BVD 80/K-K
Zhotovitel	BVD PECE, spol. s r.o.
Přípojný výkon	16,0 kVA
Jmenovitá teplota	1250°C
Prostředí v peci	ochranná atmosféra N_2
Maximální hmotnost vsázky	50 kg
Vnější rozměry (š. x h. x v.)	900 x 1300 x 1500 mm
Vnitřní rozměry (š. x h. x v.)	350 x 750 x 300 mm

Teploty kalení u jednotlivých vzorků se pohybovaly v rozmezí 970 – 1035 °C, popouštěcí teplota byla 280 – 580 °C, konkrétní údaje o přesném režimu tepelného zpracování jednotlivých vzorků jsou uvedeny v následujících kapitolách.

Obr.4.1 Ukázka zlomeného nože

Obr.4.2 Ukázka poškozeného ostří nože

4.3 Výsledky měření mechanické vlastností vzorků z oceli 19569

Tab.4.1 Přehled tepelného zpracování a mechanických vlastností oceli 19569

Číslo série vzorků	Teplota kalení [°C]	Teplota popouštění [°C]		Výsledná tvrdost [HRC]	Teplota při měření tvrdosti [°C]
1	1010		580	52	20
2	1010		560	54	20
3	1010		550	56	20
4	970		300	57	20
5	970		570	55	20
6	1010		300	56	20
7	1010		2x300	57	20
8	1010		580	52	- 20
9	1010		560	54	- 20
10	1010		550	56	- 20
11	1010	po 1 hod	550	56	20
12	1010	po 5 hod	550	56	20
13	1010	po 10 hod	550	56	20

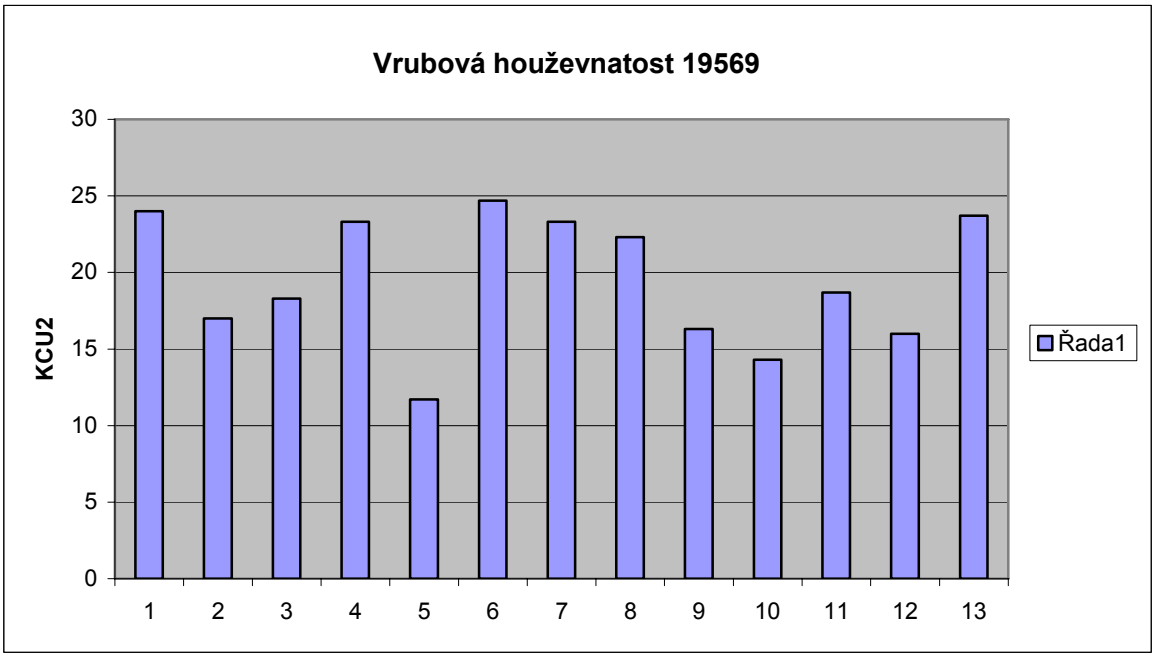
Při kalení byla použita komorová pec, doba ohřevu byla 40 minut.
Popouštění bylo provedeno v šachtové vzduchové peci po dobu 90 minut.

Tab.4.2 Zkouška rázem v ohybu při teplotě +20°C – ČSN EN 10045-1

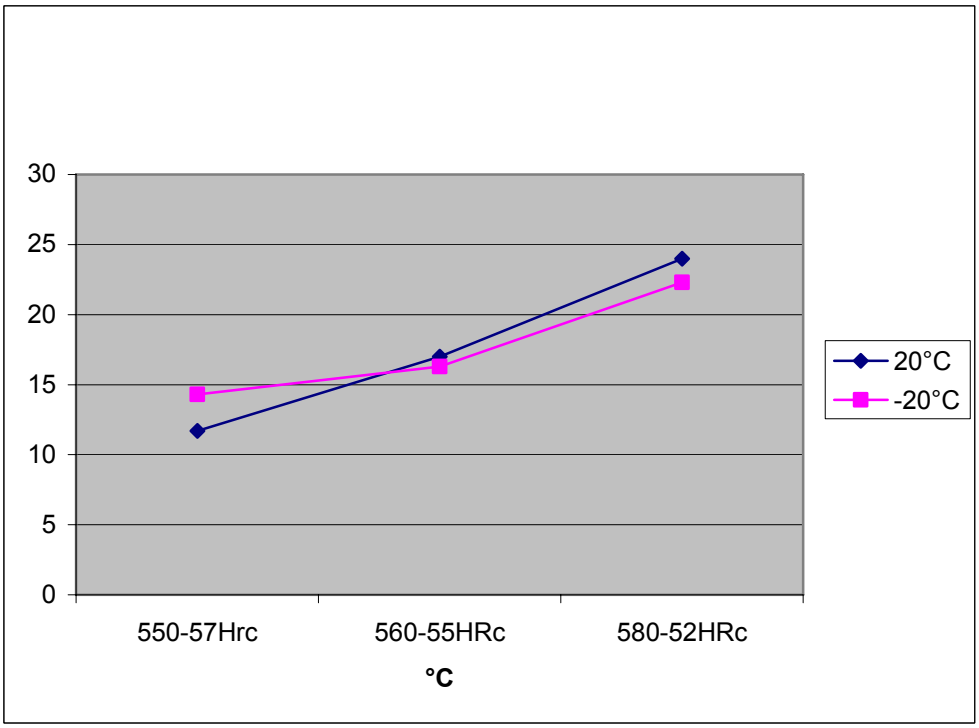
Číslo série vzorků	1	2	3	4	5	6	7	11	12	13
$KCU_{str.}$	24	17	18,3	23,3	11,7	24,7	23,3	18,7	16	23,7

Tab.4.3 Zkouška rázem v ohybu při teplotě -20°C – ČSN EN 10045-1

Číslo série vzorků	8	9	10
$KCU_{str.}$	22,3	16,3	14,3



Obr.4.3 Výsledky měření vrubové houževnatosti



Obr.4.4 Srovnání KCU2 oceli 19569 při 20°C (vzorky 1-3) a -20°C (vzorky 8-10)

4.4 Výsledky měření mechanické vlastností vzorků z oceli 19 559

Tab.4.4 Přehled tepelného zpracování a mechanických vlastností oceli 19 569

Číslo série vzorků	Teplota kalení [°C]	Teplota popouštění [°C]		Výsledná tvrdost [HRC]	Teplota při měření tvrdosti [°C]
1	1035	2x	580	51	20
2	1035	2x	560	55	20
3	1035	2x	550	57,5	20
4	975	1x	550	55	20
5	975	1x	280	51,5	20
6	1010	2x	280	55	20
7	1010	2x	280	55	20
8	1035	2x	580	51	-20
9	1035	2x	560	55	-20
10	1035	2x	550	57,5	-20

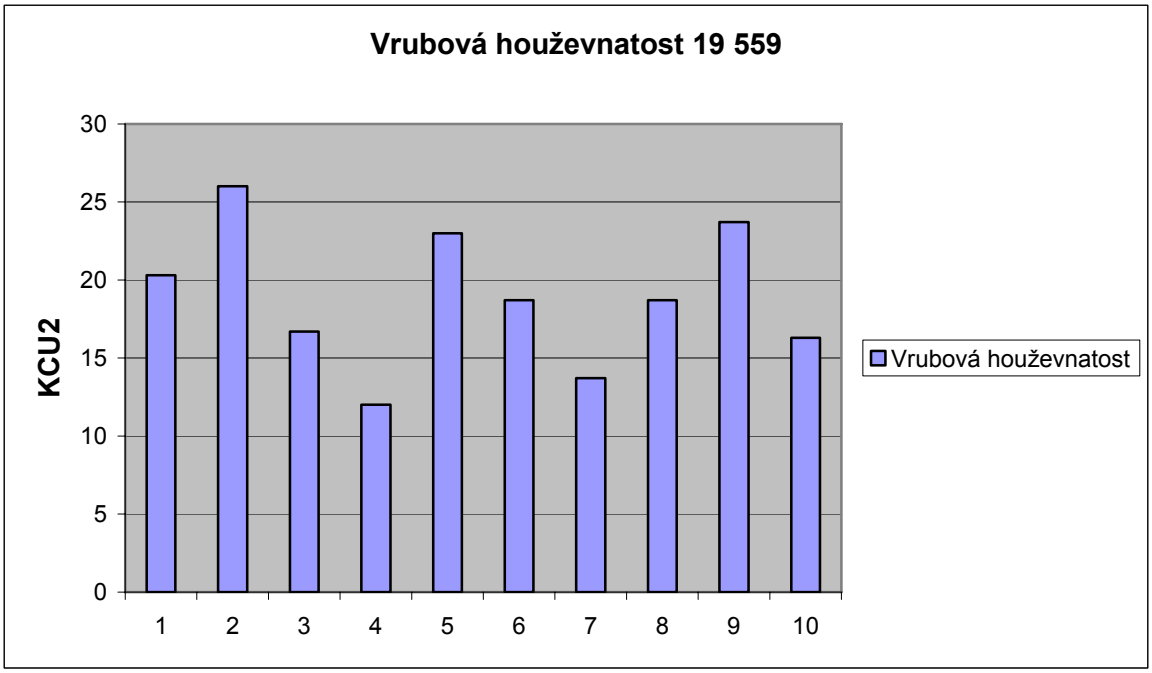
Při kalení použita komorová pec.
Doba ohřevu byla 40 minut.
Popouštěno v šachtové vzduchové peci. 1 cyklus = 90 minut.

Tab.4.5 Zkouška rázem v ohybu při teplotě +20°C – ČSN EN 10045-1

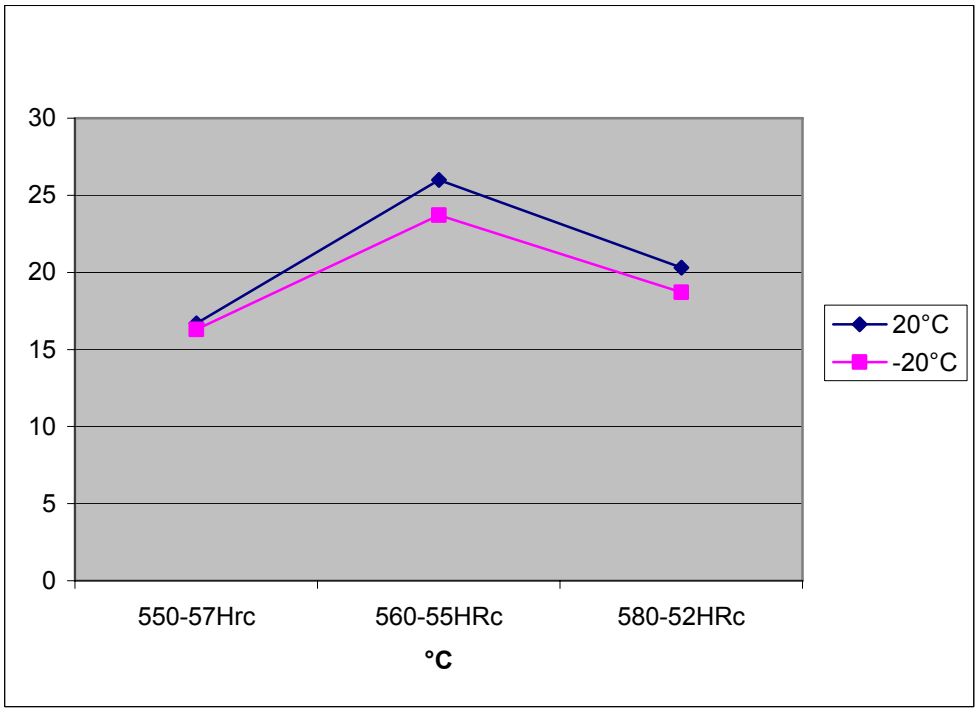
Číslo série vzorků	1	2	3	4	5	6	7
KCU $_{stř.}$	20,3	26	16,7	12	23	18,7	13,7

Tab.4.6 Zkouška rázem v ohybu při teplotě -20°C – ČSN EN 10045-1

Číslo série vzorků	8	9	10
KCU $_{stř.}$	18,7	23,7	16,3



Obr.4.5 Výsledky měření vrubové houževnatosti



Obr.4.6 Srovnání KCU2 oceli 19569 při 20°C (vzorky 1-3) a -20°C (vzorky 8-10)

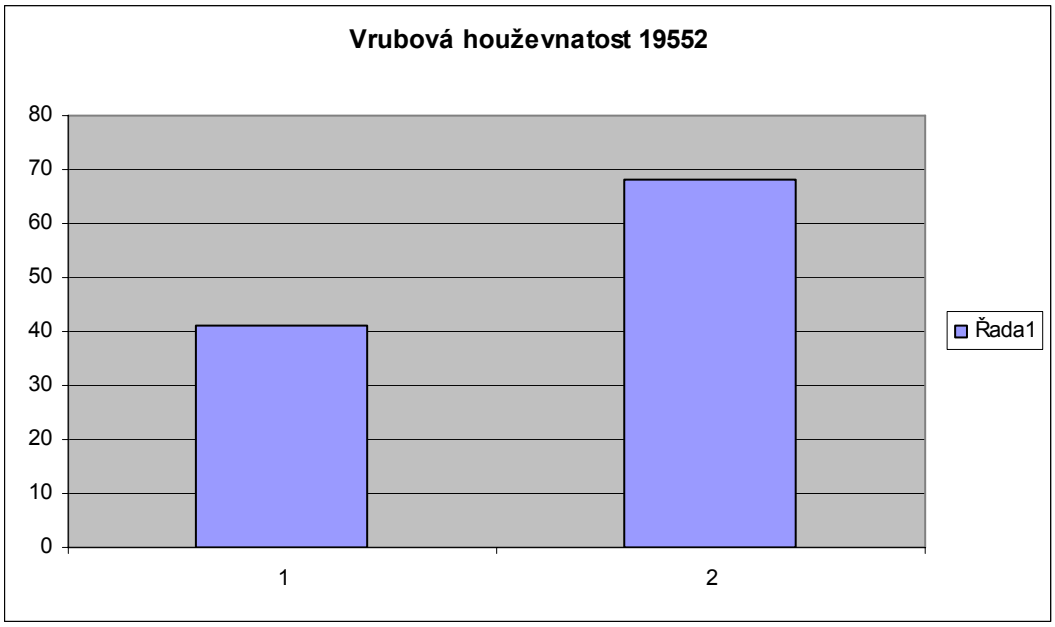
4.5 Výsledky měření mechanické vlastností vzorků z oceli 19 552

Tab.4.7 Přehled tepelného zpracování a mechanických vlastností oceli 19 552

Číslo zkoušky	Teplota kalení [°C]	Teplota popouštění [°C]		Výsledná tvrdost [HRC]	Teplota při měřen [°C]
1	1005	2x	510	55,5	20
2	1005	1x	290	55	20

Tab.4.8 Zkouška rázem v ohybu – ČSN EN 10045-1

Číslo zkoušky	1	2
Nárazová práce	41	68



Obr.4.7 Výsledky měření vrubové houževnatosti

4.6 Zkouška tahem - ČSN EN 10002-1

Zkušební stroj: EDZ 40

4.6.1 Materiál 19 569

Tab.4.9 Zkoušky tahem materiálu 19 569

Vzorek	d [mm]	l [mm]	F_m [kN]	A [%]	Z[%]
1	10	50	163,95	4,9	9,73
2			171,38	3,55	5,43
3			170,29	3,15	4,93
4			171,68	2,7	4,95
5			178,6	1,8	4
6			170,44	2	4,9
7			177,29	3,5	4,95
11			176,93	1,3	2
12			183,96	3,8	5,9
13			177,46	4,3	6,85

4.6.2 Materiál 19 559

Tab.4.10 Zkoušky tahem materiálu 19 559

Vzorek	d [mm]	l [mm]	F_m [kN]	A [%]	Z[%]
1	10	50	153.65	4,5	8,75
2			170.4	3	4,93
3			181.16	2,5	3,48
4			159.73	3,3	4,95
5			142.82	4,6	10,7
6			164.89	4,6	6,85
7			163.5	4,3	8,8

4.6.3 Materiál 19 552

Tab.4.11 Zkoušky tahem materiálu 19 552

Vzorek	d [mm]	l_0 [mm]	F_m [kN]	A [%]	Z[%]
1	10	50	144,64	10,8	41,45
2			156,25	10	36,8

4.7 Mikroskopické hodnocení ocelí jednotlivých zkušebních vzorků

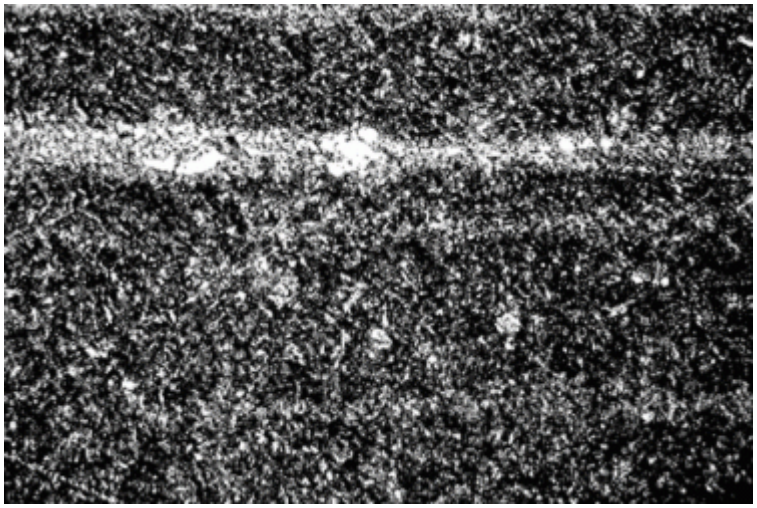
4.7.1 Materiál 19 569

Zkušební vzorky 10 x 10 mm

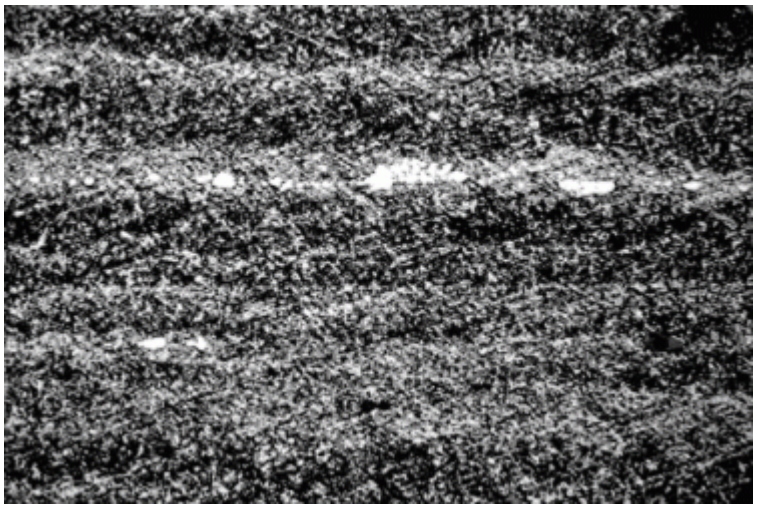
Metalografické hodnocení

Metalografické výbrusy byly zhotoveny na kolmém řezu .
Struktura všech vzorků je tvořena středněhrubým sorbitem – mikrosnímky / viz. příloha /.

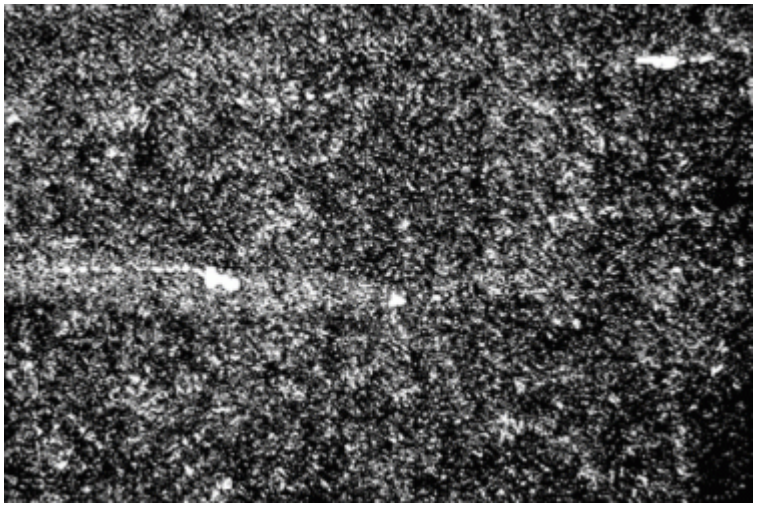
Vzorek č.4 vykazuje / dle leptání / nižší stupeň popuštění.
Vzorky č.6,7 vykazuje / dle leptání / nedostatečný stupeň popuštění, strukturu tvoří směs martenzitu a sorbitu.
Materiál všech vzorků vykazuje částečnou heterogenitu – řádkovitost hrubých primárních karbidů.



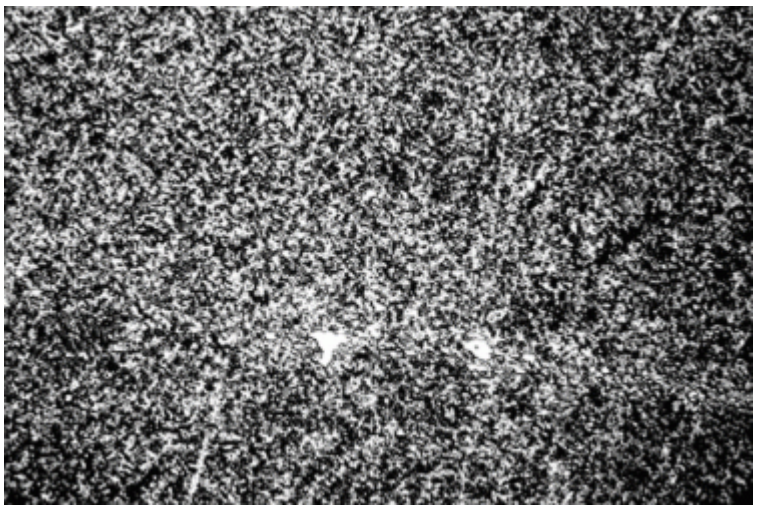
Vz.1 500 x



Vz.2 500 x

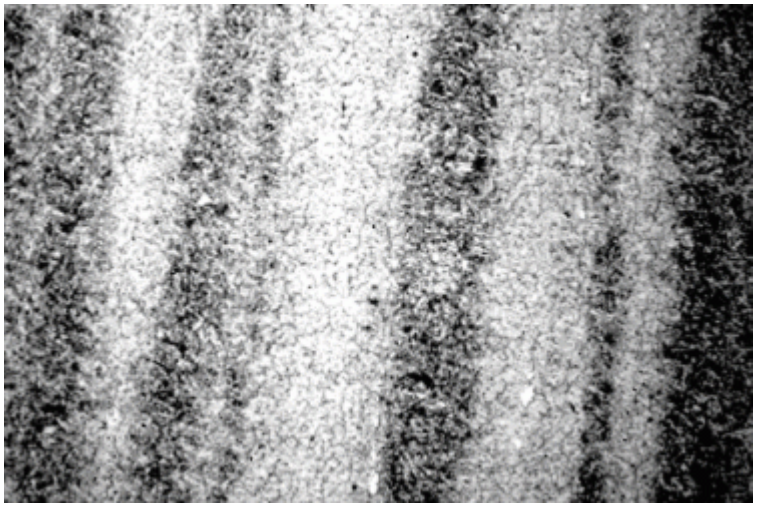


Vz.č.3 500 x

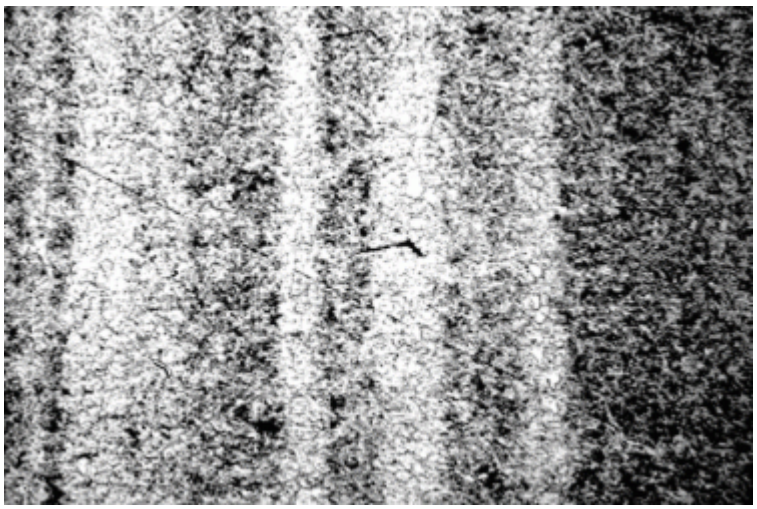


Vz.č.4 500 x

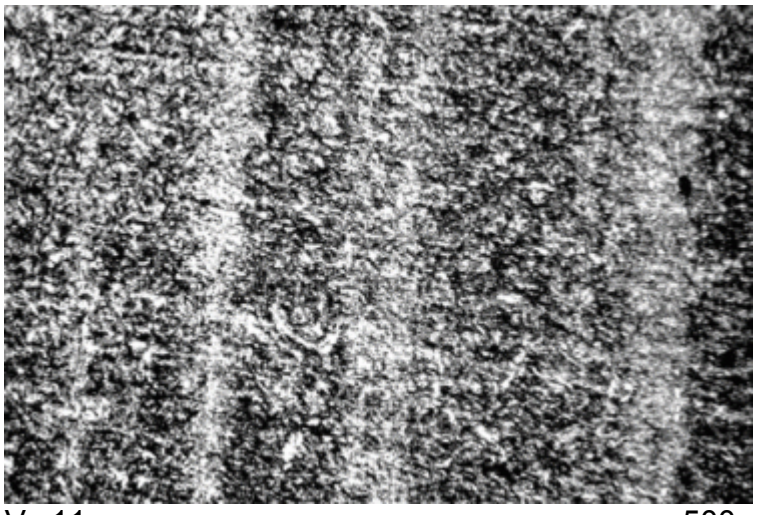
Vz.č.5 500 x



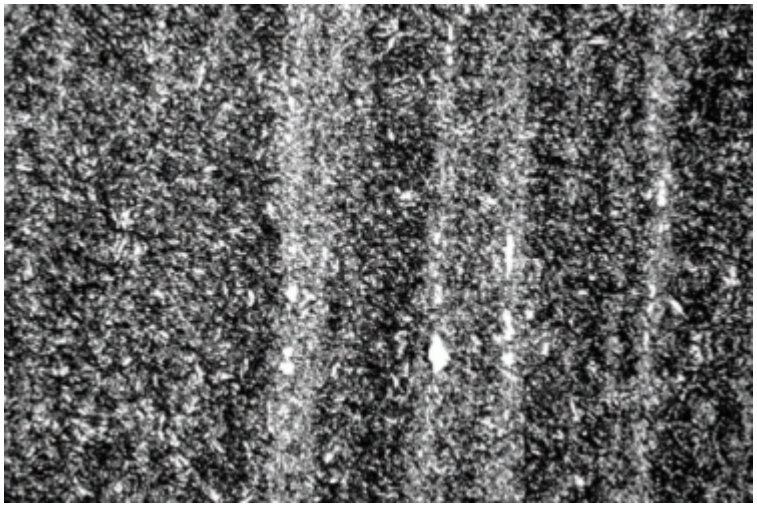
Vz.6 500 x



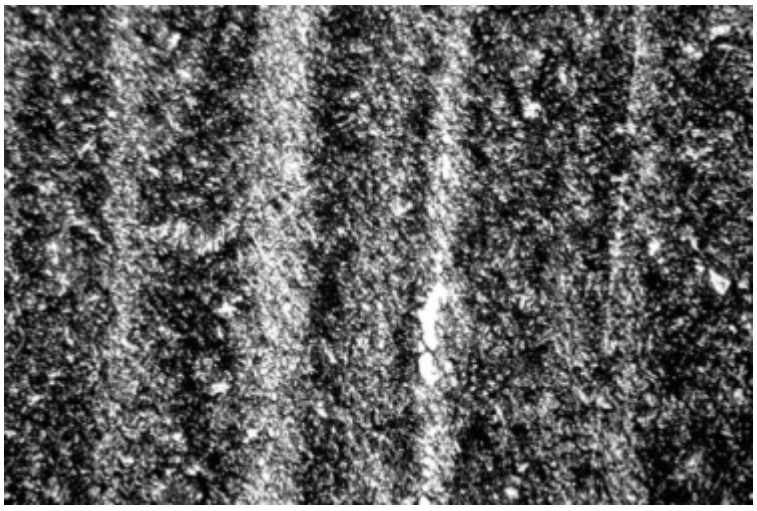
Vz.7 500 x



Vz.11 500 x



Vz.12 500 x



Vz.13 500 x

4.7.2 Materiál 19 559

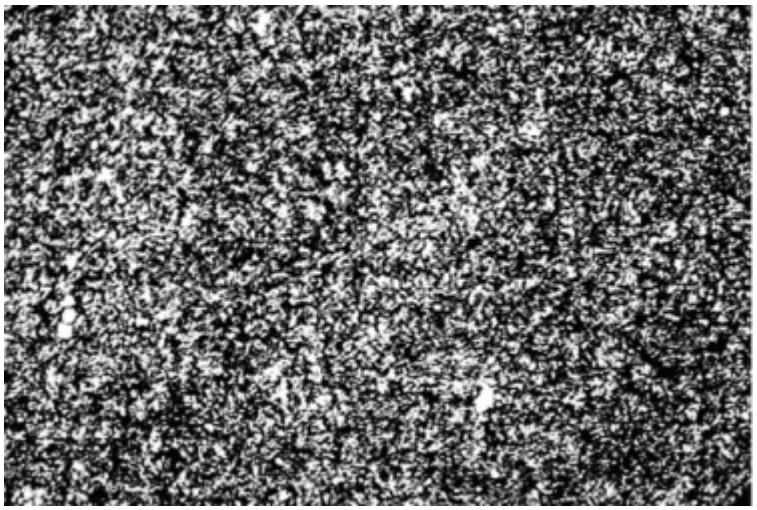
Zkušební vzorek 10 x 10 x 25

Metalografické hodnocení

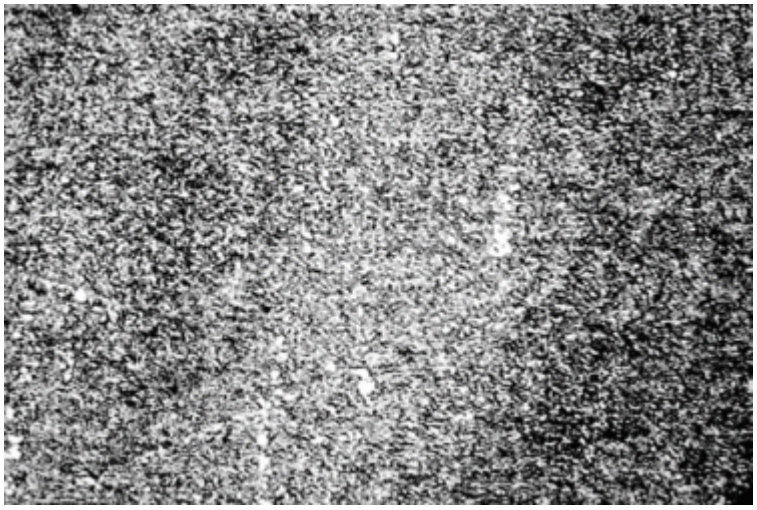
Struktura všech vzorků je tvořena sorbitem a hrubšími karbidy.

Vzorky č.4, 5, 6 a 7 vykazují nižší stupeň popuštění.

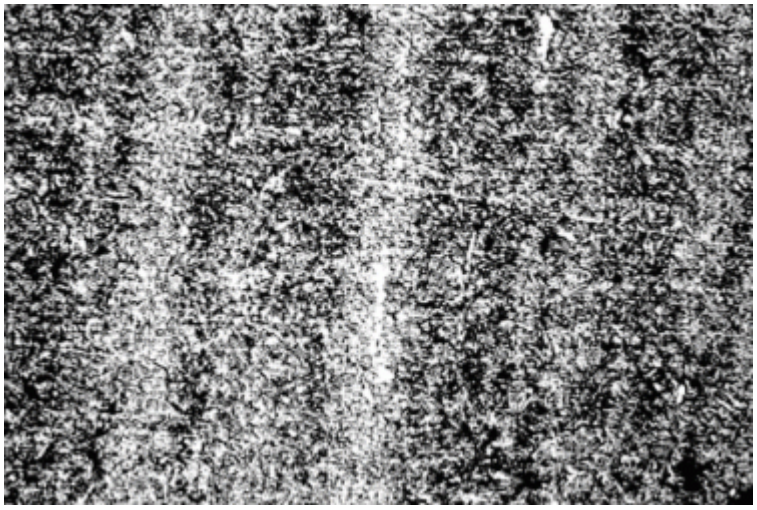
Materiál všech vzorků vykazuje částečnou heterogenitu - řádkovitost nadměrně hrubých primárních karbidů.



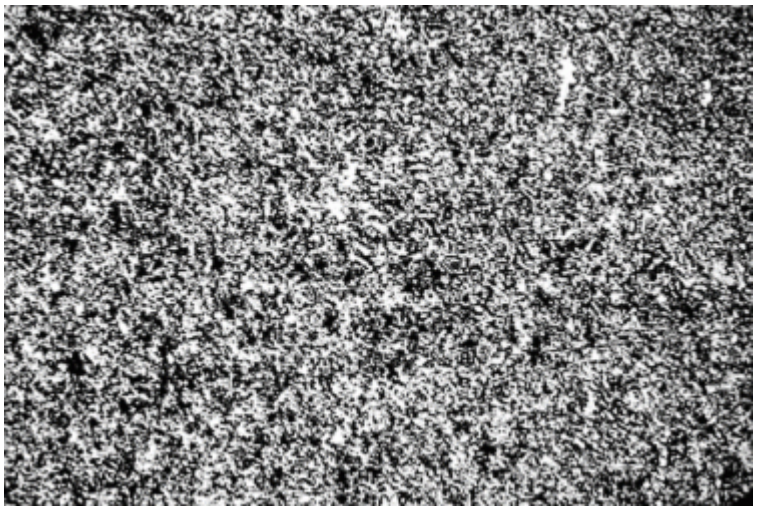
Vz.č. 1 500 x



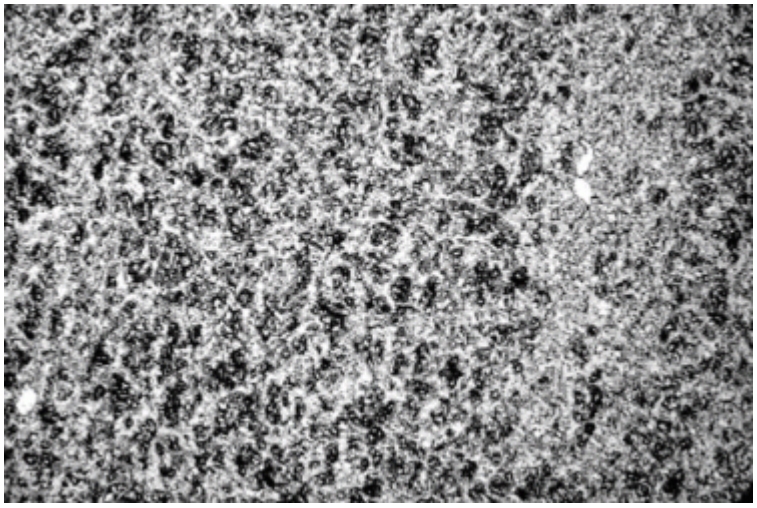
Vz.č. 2 500 x



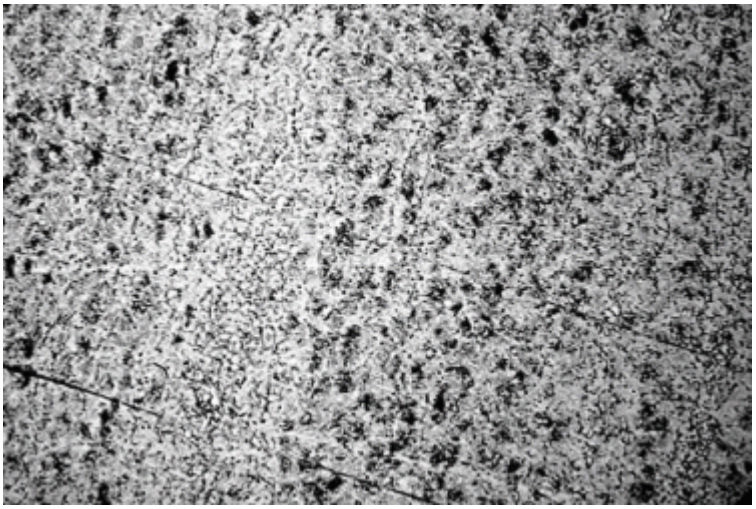
Vz.č. 3 500 x



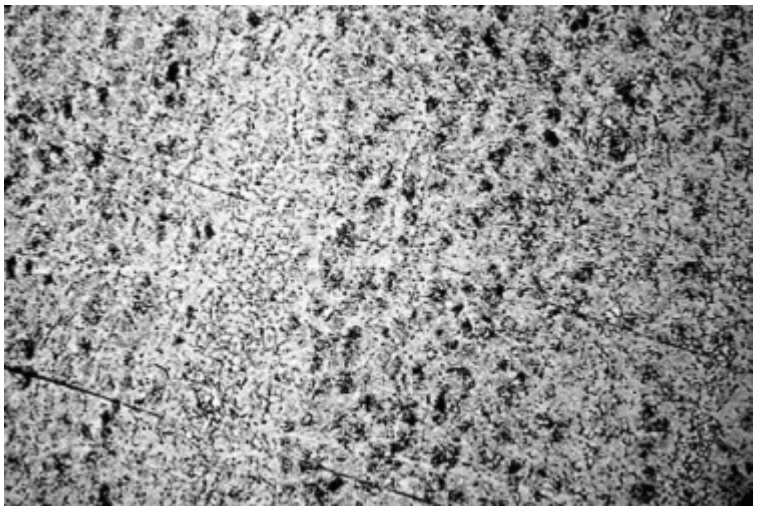
Vz.č. 4 500 x



Vz.č. 5 500 x



Vz.č. 6 500 x



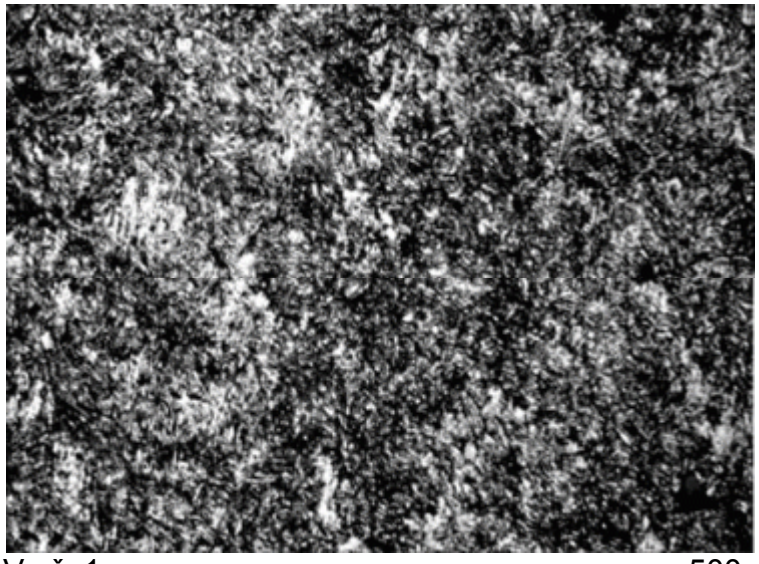
Vz.č. 7 500 x

4.7.3 Materiál 19 552

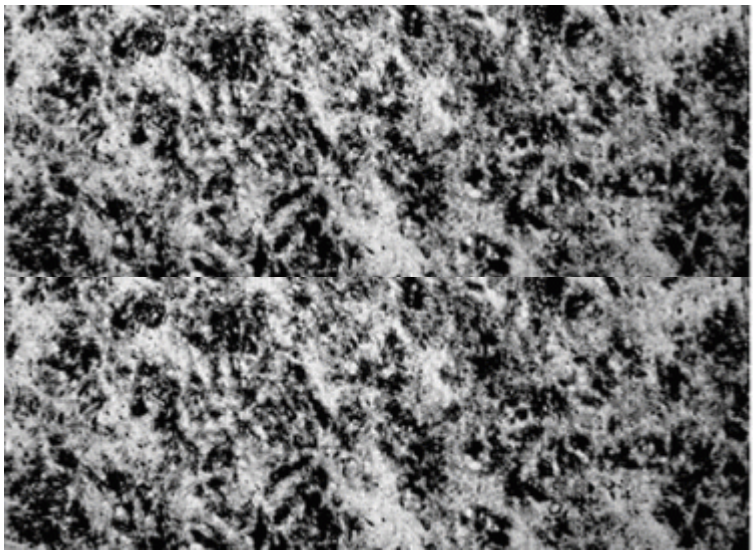
Zkušební vzorek 10 x 10 x 25

Metalografické hodnocení

Struktura obou vzorků je tvořena sorbitem, vzorek č.1 vykazuje nižší stupeň popuštění.
Materiál obou vzorků vykazuje heterogenitu .



Vz.č. 1 500x



Vz.č.2 500x

4.8 Zkouška 3 - bodovým ohybem

Materiál : ocel 19 569
Zkušební stroj: Univerzální zkušební stroj EDZ 40

Výsledky měření - hodnocení :
Do laboratoře byly dodány 2 sady (po 5 kusech) vzorků pro provedení zkoušky ohybem.

Tvar a rozměry zkušební tyče: 60 x 15 x 500 mm, U-vrub , š. 20 mm , hl. 30 mm

Zkušební podmínky: podpěrné válečky - ø 50 mm
vzdálenost 400 mm
ohýbací trn -ø 25 mm
zatěžování -tlakovou silou proti vrubu do rozlomení

Tabulky naměřených hodnot:

Sada 1 - laser

Tab. 4.12 Tabulka zkoušky 3 – bodovým ohybem

Vzorek	Síla při rozlomení [kN]
1/1	63
1/2	61.5
1/3	63
1/4	60.5
1/5	59.5

Sada 2 - frézováno

Tab.4.13 Tabulka zkoušky 3 – bodovým ohybem

Vzorek	Síla při rozlomení [kN]
2/1	48
2/2	61
2/3	51
2/4	64.5
2/5	63

Obr. 4.8 Celkový pohled na zkušební stroj pro zkoušku ohybem

Obr. 4.9 Uspořádání zkoušky tříbodovým ohybem

4.9 Praktická zkouška provedena na konkrétním stroji firmy Bionovus

Obr.4.10 Nože Pilana upevněné ve stroji MUSMAX při praktické zkoušce

Na základě vzrůstajících stížností firmy Bionvus na kvalitu a životnost nožů Pilana Tools Knives používaných ve strojích MUSMAX, byly domluveny praktické zkoušky nožů v provozních podmínkách přímo v odběratelské firmě Bionovus v Litvě.
Pro provozní zkoušky byly vyrobeny 3 sady nožů z běžně dodávaných materiálů po 12 kusech a 1 sada nožů (4 kusy) ze speciálního materiálu. Vzorky z jednotlivých sad byly barevně označeny z důvodu zřetelného rozlišení ve stroji.

Testované vzorky:
Materiál - 1.2360 (8% Chipper); varianta řezání na pilách; označ.-BÍLÁ;

Materiál - 1.2362 (5% Chipper); varianta laser bez přídavků; označ.-ČERVENÁ;

Materiál - 1.2362 (5% Chipper); varianta laser+přídavek na fcr; označ.-ZELENÁ;

Materiál - 1.2343; varianta řezání na pilách; označ.-bez barvy;

Stroj: MUSMAX WOOD 9
Tento typ stroje je konstruován pro 12 nožů. Rozmístěny jsou ve 4 řadách po 3 nožích.
V každé řadě byl umístěn jeden typ testovaného vzorku.

1.DEN TESTOVÁNÍ

První den stroj naštěpkoval 66m^3 dřeva, což jsou 2 plné kamiony (30 + 36). Jednalo se relativně o „čisté dřevo“ bez znečištění od písku a drobných kamínků.

Nože byly kontrolovány vždy po naplnění kamionu štěpkou (přičemž doba trvání naplnění kamionu se pohybuje v průměru kolem 80 minut) nebo při neočekávané události.

1. kontrola (po 30) m^3 – nože byly v pořádku, poškození odpovídalo odpracovanému množství. Všechny 4 typy nožů byly opotřebeny relativně stejně, bez vizuálně pozorovatelného rozdílu. Vzhledem k tomu bylo možno pokračovat v testech bez výměny nožů.

2. kontrola – při plnění druhého kamionu po cca 17m^3 štěpky se do stroje dostalo železo. Ihned byla provedena kontrola nožů. Bylo zjištěno poškození dvou nožů. Poškozené nože byly vyměněny, ostatní byly ponechány ve stroji.

Pozn.: Momentálně je to jeden z problémů firmy Binonovus, kdy jim místní lidé úmyslně strkají do hromady dřeva přichystané na štěpkování kusy železa. Tím následně dochází k poškození nožů při štěpkování.

3. kontrola – po naplnění druhého kamiónu, tedy po naštěpování celkem 66m^3 dřeva nebylo zjištěno žádné výrazné opotřebení ani poškození. Nože byly

tedy v pořádku. Opotřebení nožů odpovídá odpracovanému množství a jsou stále relativně ostré. Na nožích se bude štěpkovat i následující den.

2.DEN TESTOVÁNÍ

Čistota dřeva není tak dobrá jako předchozí den. Prvních 17 m^3 je dřevo znečištěné pískem a bahnem. Zbylých 20 m^3 už je čisté dřevo.

Pozn.: Ráno před vlastním testem byla provedena kontrola pracoviště, kde se přeostřují nože. Přeostřování bylo standartní, probíhalo na stroji podobném brusce BPV 30 používané firmou Pilana. Při kontrole ostří je používán kalibr přímo od výrobce stroje MUSMAX – 27°.
Byla však zjištěna i velmi důležitá věc, která jistě ovlivňuje proces štěpkování a tím pádem i celou problematiku údajně špatných nožů z Pilany, a to že nože jsou někdy přebrušovány ruční bruskou! V takovém případě však nemůže být dodržena jak rovina ostří, tak samotný úhel ostří. Při následném štěpkování se pak nůž velmi rychle otupí a zničí. Tyto informace byly následně potvrzeny i obsluhou stroje MUSMAX.

Kontrola nožů byla provedena po naštěpování 37 m^3. Bylo zřejmé, že „špinavé dřevo“ se podepsalo na kvalitě nožů. Ostří je částečně otupělé a vyloupané.

Porovnání testovaných vzorků:

Nože byly seřazeny do 4 řad dle jednotlivých sad. Bylo hodnoceno otupení, vyloupání a celkový vzhled ostří.
Vzorky nožů označené zelenou barvou a vzorky nožů neoznačené dopadly relativně nejlépe. Naopak poškození zbylých dvou typů vzorků (červené a bílé barvy) je větší.
Všechny odzkoušené nože z první testovací dávky budou dále podrobeny odborné kontrole a následnému vyhodnocení ve firmě Pilana.

Pro další testy byly použity nože barvy zelené, bílé a červené. Stroj naštěpkoval v jednom dni 30 m^3 štěpky a 60 m^3 ve dni následujícím, což je dohromady 90 m^3. Nože byly po této zátěži v pořádku.

Dílčí závěry:

- Zkoušené nože obstály v testu za provozních podmínek.
- Na životnosti nožů má výrazný vliv vstupní kvalita dřeva.
- Výrazný vliv na životnost má též způsob ostření břitu.

5 DISKUSE VÝSLEDKŮ

Získané výsledky přinesly zajímavé poznatky využitelné při optimalizaci tepelného zpracování a volby materiálu.
Výsledky měření tvrdosti odpovídají předpokladům. Tvrdost materiálu po kalení a popouštění je vysoká, u všech zkoumaných vzorků se pohybuje v rozmezí 51-58 HRC. Teplota kalení ve zkoumaném teplotním intervalu nemá na tvrdost materiálu zásadní vliv. Oproti tomu popouštěcí teplota tvrdost ovlivňuje, s rostoucí teplotou popouštění tvrdost klesá. Rozdíly v hodnotách tvrdosti získaných při teplotách měření +20 a -20°C nebyly podle předpokladů zaznamenány. Stejně tak rozdíly mezi tvrdostmi jednotlivých materiálů nebyly zásadní. Jediný vzorek, který se vymykal předpokládaným výsledkům, byl vzorek oceli 19559 s číslem 5, u něho byla naměřena nižší tvrdost, než byla očekávána.

Další prováděnou statickou zkouškou byla zkouška tahem. Byla provedena u všech tří zkoumaných materiálů. U oceli 19569 dopadla podle očekávání. Byla prováděna hlavně kvůli zjištění deformačních charakteristik, tažnosti a kontrakce. Tyto vlastnosti kopírují tendence zjištěné při zkoušce rázem v ohybu. Optimální se opět jeví kombinace teploty kalení 1010°C a popouštění při teplotě 580°C, při které byla naměřena tažnost téměř 10%. U oceli 19559 se i při zkoušce tahem vyskytly překvapivé výsledky. Nejvyšší hodnota tažnosti, 10,7%, byla naměřena při nižší teplotě kalení (970 °C) a popouštění (280 °C), což neodpovídá teoretickým předpokladům. Ocel 19552 vykázala výrazně vyšší hodnoty tažnosti oproti předchozím materiálům, naměřená tažnost se pohybovala okolo 40%

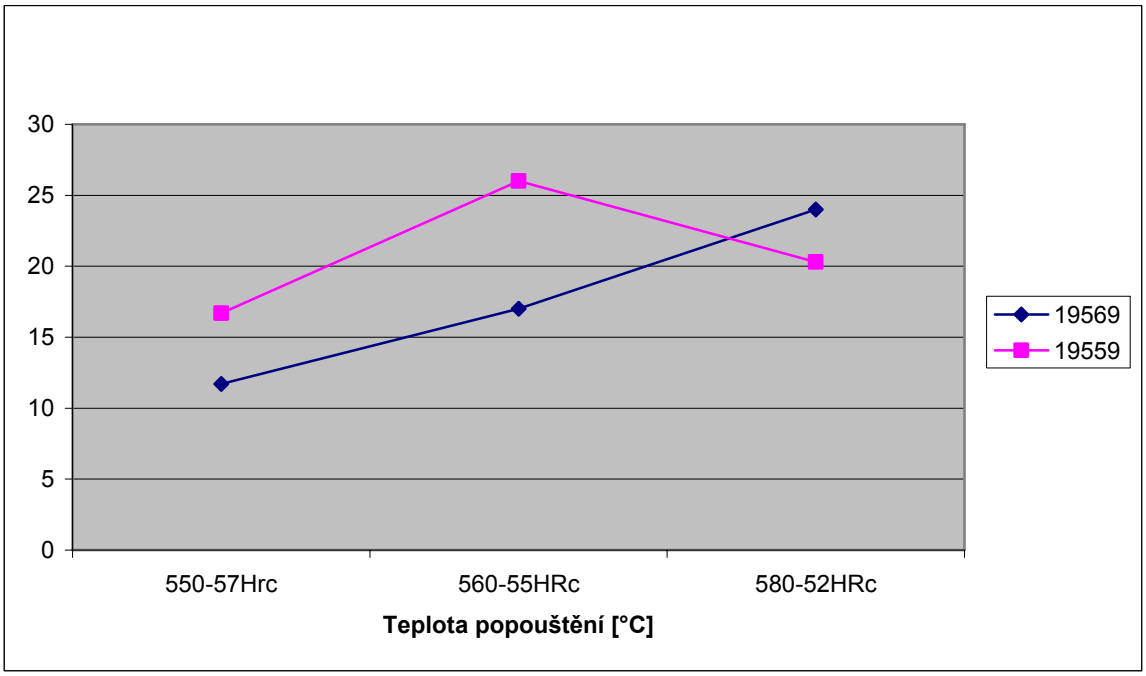
Ke stanovení a ověření pevnostních a charakteristik se u nástrojových materiálů používá spíše zkouška ohybem. V této práci bylo zkoušky ohybem využito k jinému účelu, a to k posouzení výrobního postupu. Byly připraveny dvě série vzorků z oceli 19569 s vrubem, které se lišily způsobem opracování vrubu. Lépe z této zkoušky vyšla metoda opracování laserem. Na vzorcích s frézovaným vrubem byly naměřeny hodnoty lomové síly přibližně o 20%.

Měření vrubové houževnatosti u oceli 19569 neprokázalo negativní vliv teploty -20°C při zkoušce, získané hodnoty byly v rámci statistické chyby shodné. Bylo však zjištěno, že na houževnatost má významný vliv teplota kalení a popouštění. Jako nejhorší varianta se poměrně překvapivě jeví kombinace teploty 970 °C a nízké teploty popouštění (300°C). Při teplotě kalení 970 °C a vysoké popouštěcí teplotě (570 °C) byla hodnota vrubové houževnatosti výrazně vyšší. Optimální z hlediska houževnatosti se na základě naměřených výsledků jeví vyšší teplota kalení (1010 °C) a nejvyšší teplota popouštění, 580°C.

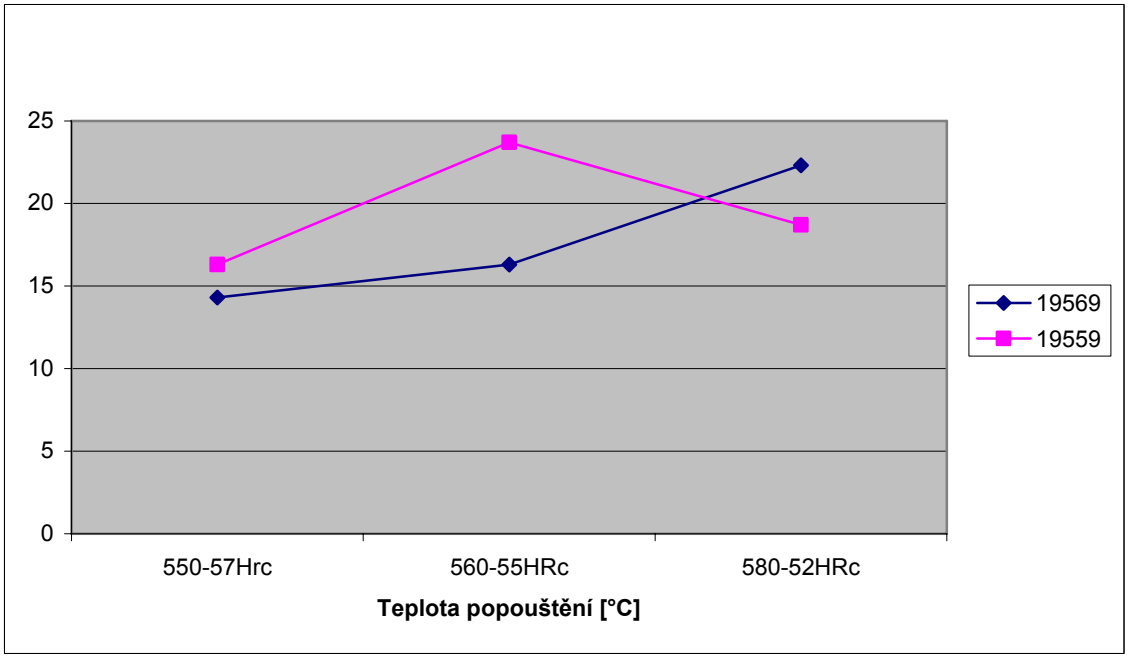
Naměřené hodnoty vrubové houževnatosti u oceli 19559 mají obdobnou tendenci jako u materiálu 19569. Opět bylo zjištěno, že teplota zkoušky +20°C a -20°C nemá u tohoto materiálu prokazatelný vliv na houževnatost, odchylky v měření jsou v rámci statistické chyby. Překvapivé je, že maximální hodnoty vrubové houževnatosti nebyly dosaženy při nejvyšší teplotě popouštění

(580°C), ale při teplotě 560 °C. Pokles houževnatosti při teplotě popouštění 580 °C může mít více důvodů a bylo by vhodné tento jev dále zkoumat.

Porovnání hodnot vrubové houževnatosti materiálů 19569 a 19559 je uvedeno na obr. 5.1 a 5.2



Obr.5.1 Porovnání hodnot vrubové houževnatosti materiálů 19569 a 19559 při teplotě měření +20°C



Obr.5.2 Porovnání hodnot vrubové houževnatosti materiálů 19569 a 19559 při teplotě měření -20°C

Nejlepší z hlediska vrubové houževnatosti je materiál 19552, který vykázal výrazně vyšší hodnoty KCU2. Byl zde však zaznamenán pokles hodnot při teplotě zkoušky -20 °C.
Dalším krokem, který by bylo vhodné udělat by bylo stanovení tranzitních křivek pro jednotlivé materiály. Na základě těchto údajů by bylo možné stanovit přesný rozsah provozních teplot nožů, hlavně v oblasti záporných teplot.

Rozbor struktury materiálu byl prováděn hlavně z důvodu kontroly homogenity struktury. U oceli 19569 je struktura všech vzorků tvořena sorbitem a karbidy. Pouze u vzorků č. 4, 6 a 7 se vyskytuje směs martenzitu a sorbitu s vyloučenými karbidy, což je dáno nižším stupeň popuštění. Materiál všech vzorků vykazuje částečnou heterogenitu, tedy řádkovitost hrubých primárních karbidů. Obdobné výsledky strukturní analýzy byly získány i u oceli 19559. I v tomto případě je struktura všech vzorků tvořena sorbitem a karbidy, pouze u vzorků č. 5, 6 a 7 se vyskytuje směs martenzitu a sorbitu s vyloučenými karbidy, což je opět dáno nižším stupeň popuštění. I zde materiál všech vzorků vykazuje částečnou heterogenitu, řádkovitost hrubých primárních karbidů. U oceli 19552 je struktura vzorku č.1 tvořena sorbitem a karbidy, vzorek č.2 vykazuje nižší stupeň popuštění a v jeho struktuře se nachází kromě sorbitu a karbidů navíc zbylý nepřeměněný martenzit. Ani v tomto případě není materiál obou vzorků zcela homogenní.

Praktická zkouška provedená v litevské firmě Bionovus přinesla též řadu zajímavých poznatků. Bylo prokázáno, že kvalita nožů Pilana je dobrá. Problémy s životností v uvedené firmě souvisely s výskytem cizích těles ve zpracovávaném dřevě. Dále byla zjištěna i jiná velmi důležitá věc, která ovlivňuje životnost nožů z Pilany, a to že nože jsou někdy přebrušovány ruční bruskou. V takovém případě však nemůže být dodržena jak rovina ostří, tak samotný úhel ostří. Při následném provozním zatížení se pak nůž velmi rychle tupí a ničí.

ZÁVĚR

Porovnáním výsledků měření tvrdosti při teplotách +20°C a -20°C bylo prokázáno, že tvrdost není závislá na teplotě v tomto rozsahu teplot.

Zkouška tahem nepřinesla převratné výsledky, naměřené hodnoty deformačních charakteristik odpovídaly očekáváním. Jedinou výjimkou byl vzorem oceli 19559 kalený při teplotě 975 °C s teplotou popouštění 280 °C, u kterého byla naměřena relativně vysoká hodnota tažnosti.

Porovnáním výsledků měření vrubové houževnatosti u materiálů 19569 a 19559 při teplotách +20°C a -20°C bylo prokázáno, že vrubová houževnatost nepatrně klesá, avšak rozdíly naměřených hodnot byly v oblasti statistické chyby. Vliv snížení teploty z +20°C na -20°C tedy není prokazatelný. Pro přesnější stanovení rozsahu teplot použitelnosti nožů Pilana by bylo třeba provést měření vrubové houževnatosti ve větším rozsahu teplot a na více vzorcích a sestrojit tranzitní křivky pro jednotlivé materiály.

Z výsledků měření vrubové houževnatosti ocelí 19569 a 19559 dále vyplývá, že z hlediska houževnatosti materiálu nožů není vhodné používat tepelné s nižší teplotou kalení (970 °C resp. 975 °C).

Nejlepší z hlediska vrubové houževnatosti je materiál 19552, který vykázal výrazně vyšší hodnoty KCU2.

Ze zkoušky ohybem prováděné u materiálu 19569 k ověření technologie opracování lépe vychází metoda opracování laserem. Na vzorcích s frézovaným vrubem byly naměřeny hodnoty lomové síly přibližně o 20% nižší.

Strukturním rozborem bylo zjištěno, že struktura všech vzorků tvořena sorbitem a karbidy. Pouze u vzorků s nižším stupněm popuštění se vyskytuje směs martenzitu a sorbitu s vyloučenými karbidy.

Materiál všech vzorků vykazuje částečnou heterogenitu, tedy řádkovitost hrubých primárních karbidů.

Praktická zkouška má tři základní výstupy:

- Zkoušené nože obstály v testu za provozních podmínek.
- Na životnosti nožů má výrazný vliv vstupní kvalita dřeva.
- Na životnosti nožů má výrazný vliv způsob ostření břitu.

Celkově lze z materiálového hlediska říci, že jako nejvhodnější materiál pro výrobu nožů se jeví ocel 19 552, u které byla prokázána vyšší vrubová houževnatost i dobré výsledky při praktických řezných zkouškách.

Z ekonomického hlediska lze vyvodit následující závěry:

- Kalení při nižší teplotě je levnější, ale není vhodné z hlediska mechanických vlastností materiálu.
- Popouštění při nižší teplotě je rovněž levnější, nicméně z hlediska optimálních vlastností opět není příliš vhodné. Výjimkou by mohla být ocel 19559, kdy nejlepší kombinace vlastností bylo dosaženo při popouštění na teplotě 560°C a nikoliv na vyšší teplotě 580 °C. Dále u téže oceli i při nižší teplotě kalení a popouštění bylo dosaženo zajímavé kombinace mechanických vlastností.
- Opracování nástrojů laserem je sice nákladnější, ale vrátí se ve vyšší životnosti a lepší kvalitě nožů.
- Z uvedených materiálů je z finančního hlediska nejméně vhodná ocel 19552, která je dražší, nicméně její cena je vyvážena prokazatelně lepšími mechanickými vlastnostmi a tím i vyšší kvalitou nožů.

Závěrem práce lze říci, že tepelné zpracování prováděné stávajícím způsobem se zdá být optimální jak z hlediska materiálového, tak i ekonomického, existují však možnosti, jak ho ještě vylepšit.

POUŽITÁ LITERATURA

1. FREMUNT, Přemysl a KREJČÍK, Jiří a PODRÁBSKÝ Tomáš. *Nástrojové oceli. 1*.vyd. Brno: Dům techniky, 1994. 229 s.

2. PTÁČEK Luděk a kol. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3

3. Pilana Tools Knives [online]. 2006-2008 [cit. 2008-03-20]. Dostupný z WWW: <www.pilana.cz>.

4. PÍŠEK, František. *Nauka o materiálu*. 1. vyd. Praha : Nakladatelství Československé akademie věd, 1957. 754 s.

5. Morávek, Otakar. *Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů* / Praha SNTL, 1972. 505 s.

6. Davis, Joseph R. Tool Materials. ASM Specialty Handbook :*Prepared under the direction of the ASM International Handbook Committee* / 1 ed. Ohio : ASM International, 1995. 501 s. ISBN 0-87170-545-1

7. Fürbacher, Ivan. *Lexikon ocelí :materiálové listy se zahraničními materiály* / Praha : Verlag Dashöfer, 2006. ca 600 s. + ISBN 80-86897-12-5

8. Dorazil, Eduard. *Strojírenské materiály a povrchové úpravy* 1. vyd. Brno Vysoké učení technické v Brně 1985 330 s.

9. PROKEŠ, Stanislav, *Obrábění dřeva a nových hmot ze dřeva,* Praha 1965, Státní nakladatelství technické literatury.

10. Kocman, Karel. *Technologie obrábění* / vyd. 2. Brno : CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0

11. Jech , Jaroslav. *Teplné zpracování oceli :metalografická příručka* / 4. vyd. přeprac. a dopln. Praha : SNTL, 1983. 391 s.

12. CBI Europe B.V. [online]. [cit. 2007-11-22]. Dostupný z WWW: <http://www.cbi-eu.com/content/grinders.htm >.

13. Nauka o materiálu [online]. 2005 [cit. 2008-04-12]. Dostupný z WWW: <http://mujweb.atlas.cz/www/pk80/pub/st/data/st1/zk3_2.htm>.

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/symbol	Jednotka	Popis
F	N	Síla
HRC	-	Tvrdost
D	mm	Průměr
t	s	čas
m	kg	hmotnost
p	Mpa	tlak
T	°C	teplota
KCU	J/cm^2	vrubová houževnatost
A_5	%	tažnost
Z	%	kontrakce
Rm	Mpa	mez pevnosti
$R_p0,2$	Mpa	mez kluzu

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Ukázka výkresu nože Pilana