



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

# POSOUZENÍ DEGRADACE OPAKOVANĚ OPRAVOVANÝCH STŘIŽNÝCH A TVÁŘECÍCH NÁSTROJŮ

EXAMINATION OF DEGRADATION FREQUENTLY REPAIRED SHEARING AND FORMING TOOLS

### DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Josef Izák

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Marian Sigmund, Ph.D.

BRNO 2021

# Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	<b>Bc. Josef Izák</b>
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	<b>Ing. Marian Sigmund, Ph.D.</b>
Akademický rok:	2020/21

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

## **Posouzení degradace opakovaně opravovaných střížných a tvářecích nástrojů**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Neustálé renovace navařováním lisovacích nástrojů pro stříhání, ohýbání a tažení plechu vede k degradaci původního základního materiálu většinou z nástrojových ocelí. Jedná se o lokální navařování nástrojů a forem pro výrobu plechových výlisků a montážních sestav pro automobilový průmysl (chladicích desek, sedákových komponentů, výlisků a malých sestav pro airbagy a dílů zámek). Tyto možnosti renovací mají pro různé materiály omezenou opakovatelnost. Cílem této diplomové práce bude metalografické posouzení změn struktury střížných a tvářecích nástrojů z různých nástrojových ocelí, opakovaně opravovaných navařováním metodou GTAW, včetně stanovení rámcově možné opakovatelnosti renovací.

### **Cíle diplomové práce:**

Zhodnotit současný stav možností renovací nástrojů navařováním ve firmě.

Vypracovat literární rešerši o používaných materiálech a technologiích renovací, včetně studia svařitelnosti těchto materiálů (nástrojových ocelí).

Popsat a vyhodnotit podmínky navařování jednotlivých nástrojů.

Provést a kvalitativně, případně i metalograficky vyhodnotit strukturu použitých návarů.

Zhodnotit možné finanční úspory prodloužením životnosti nástrojů a omezením provádění již neefektivních oprav.

### **Seznam doporučené literatury:**

FOLDYNA, Václav. Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.

AMBROŽ, Oldřich. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

LÖBL, Karel. Navařování. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1961. Knižnice strojírenské výroby.

VÍTEK, Jindřich. Opravy a výroba nástrojů navařování: příručka pro svářeče v nářadovnách a pomůcka k odb. školení v novátorské pracovní metodě. Praha: Práce, 1953.

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

V Brně, dne

L. S.

---

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

---

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

## **ABSTRAKT**

IZÁK Josef: Posouzení degradace opakovaně opravovaných střížných a tvářecích nástrojů

Diplomová práce je zaměřena na renovace tvářecích nástrojů z nástrojové oceli, jejich svařitelnost a posouzení kvality současných oprav nástrojů. Poškozeným nástrojem byla část střížníku z postupového střížného nástroje vyrobená z oceli Caldie. Pro opravu, byla využita technologie mikro – TIG. Na obnovení geometrie poškozené hrany byly využity a zkoumány celkem tři druhy přídavných materiálů. Jedním z hlavních cílů bylo zhodnotit možnost prodloužení životnosti nástrojů a omezení provádění již neefektivních oprav. Pro posouzení byla realizována řada destruktivních zkoušek – makrostruktura, mikrostruktura, měření tvrdosti a EDS analýza.

Klíčová slova: Caldie, svařitelnost, mikro – TIG, nástrojová ocel, renovace, životnost

## **ABSTRACT**

IZÁK Josef: Examination of degradation frequently repaired shearing and forming tools

The diploma thesis is focused on the renovation of forming tools made of tool steel, their weldability and assessment of the quality of tool repairs. The damaged tool was a part of the cutter from the progressive cutting tool made of Caldie steel. We used micro TIG technology to repair the damage. A total of three types of additional materials were used and investigated to restore the geometry of the damaged edge. One of the main purposes was to evaluate the possibility of extending the life of tools and reducing the implementation of already inefficient repairs. A number of destructive tests were performed for the assessment - macrostructure, microstructure, hardness measurement and EDS analysis.

Keywords: Caldie, weldability, micro - TIG, tool steel, renovation, vitality

## **BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

IZÁK, Josef. *Posouzení degradace opakovaně opravovaných střižných a tvářecích nástrojů* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-21]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/132170>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Marian Sigmund.

## **ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ**

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího diplomové práce.

Ve Valašském Meziříčí dne 21.5.2021

.....  
Podpis

## **PODĚKOVÁNÍ**

Tímto děkuji panu Ing. Mariánu Sigmundovi, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce. Všem dále uvedeným bych chtěl poděkovat za spolupráci Mgr. Janu Čuperovi, Ing. Karlu Němcovi, Ph.D., Ing. Petru Bořilovi, Ing. Lence Klakurkové Ph.D., panu Petru Malíkovi a panu Jiřímu Zichovi. Dále bych chtěl poděkovat rodině, přátelům a přítelkyni za podporu během celého studia.

# OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
<b>ÚVOD</b>	<b>9</b>
<b>1 ROZBOR ZADÁNÍ</b>	<b>10</b>
<b>2 NÁSTROJOVÉ OCELI</b>	<b>11</b>
2.1 Výroba nástrojových ocelí	12
2.2 Struktura nástrojových ocelí	16
2.2.1 Karbidické fáze	16
2.3 Základní materiál CALDIE	17
2.3.1 Tepelné zpracování	17
<b>3 TECHNOLOGIE MIKRONAVAŘOVÁNÍ TIG</b>	<b>21</b>
3.1 Metoda a princip mikro – TIG	21
3.2 Navařovací (svařovací) parametry	22
3.2.1 Navařovací proud a svařovací režim	23
3.2.2 Navařovací napětí a rychlost	24
3.2.3 Vnesené teplo	24
3.2 Zapalování oblouku	25
3.3 Ochranný plyn	26
3.4 Navařovací (svařovací) hořák WIG	27
3.5 Wolframové elektrody	28
3.5.1 Úhly a broušení elektrod	30
<b>4. SVARĚTELNOST NÁSTROJOVÝCH OCELÍ</b>	<b>32</b>
4.1 Předehřev a interpass	33
4.2 Příprava místa a provedení návaru	33
4.3 Přídavné materiály	34
<b>5. METODY ZKOUŠENÍ NÁVARU</b>	<b>36</b>
5.1 Způsob přípravy metalografického vzorku	36
5.2 Způsob hodnocení makro a mikrostruktury	37
5.3 Mikroanalýza a struktura elektronový mikroskop	38
5.4 Způsob hodnocení tvrdosti	39
<b>6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST</b>	<b>41</b>
6.1 Zhotovení návarů technologií mikro – TIG	41
6.2 Zhotovení metalografických vzorků	45
6.3 Vyhodnocení makro a mikrostruktury	47
6.4 Vyhodnocení tvrdosti dle Vickerse	55
6.7 Vyhodnocení chemického složení pomocí EDS analýzy	57
<b>ZÁVĚRY</b>	<b>60</b>
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

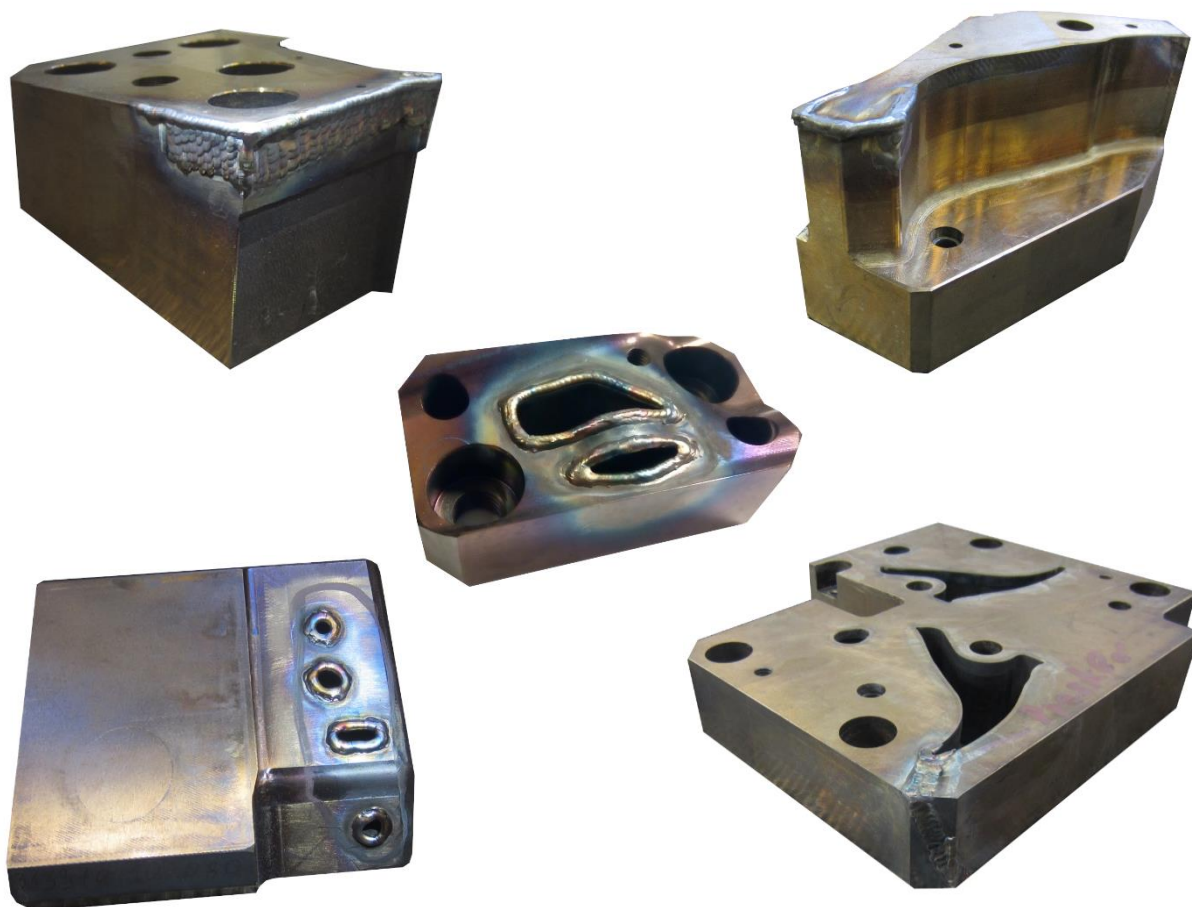


## ÚVOD [2], [3], [4], [5]

V 90. letech minulého století byly výrobci automobilů postaveni před těžký úkol snížit hmotnost vozidla, což vedlo k úspoře paliva, snížení emisí, a především zvýšení bezpečnosti. Do té doby byl nejdůležitějším parametrem oceli tváritelnost a pevnosti oceli se dosahovalo zvýšením tloušťky materiálu. Výrobci automobilů se tedy sešli s výrobci ocelí a dohodli se na projektu ULSAB (Ultra light steel auto body), který řešil vývoj nových druhů ocelí.

V první řadě vývojové oceli byly vysokopevnostní oceli (HS steels), které měly lepší mechanické vlastnosti, díky chemickému složení a byly jednofázové. Kolem roku 2000 byly dalším vývojovým stupněm tzv. AHS oceli, kterých bylo dosaženo tepelným zpracováním, tvářením, nebo kombinace obojího. Tyto oceli mají vícefázovou strukturu a ve většině případů měly lepší mechanické vlastnosti, než HS oceli (tváritelnost, pevnost, houževnatost, tvrdost apod.). V dnešní době jsou metalurgické procesy na tak vysoké úrovni, že díky řízenému válcování lze vyrábět AHSS oceli, které mají pevnost v tahu vyšší, než 1200 MPa.

Vzhledem k takto vysokým pevnostem ocelí je třeba vyrábět také nástroje, které budou schopny tvářet (stříhat, ohýbat apod.) tyto vysokopevnostní oceli. Se vzrůstajícím požadavkem na přesnosti jednotlivých dílců jsou kladeny na tvářecí nástroje vysoké požadavky, jako rozměrová stálost, trvanlivost vysoká tvrdost, při dobré houževnatosti atd. Každá nástrojová ocel nemá nekonečnou živostnost, a proto je třeba opotřebené části nástrojů (např. střížné hrany) renovovat. Z tohoto důvodu se využívá řada přídatných materiálů pro navařování těchto opotřebených hran. Příklady renovací střížných nástrojů lze vidět na obr. 1.



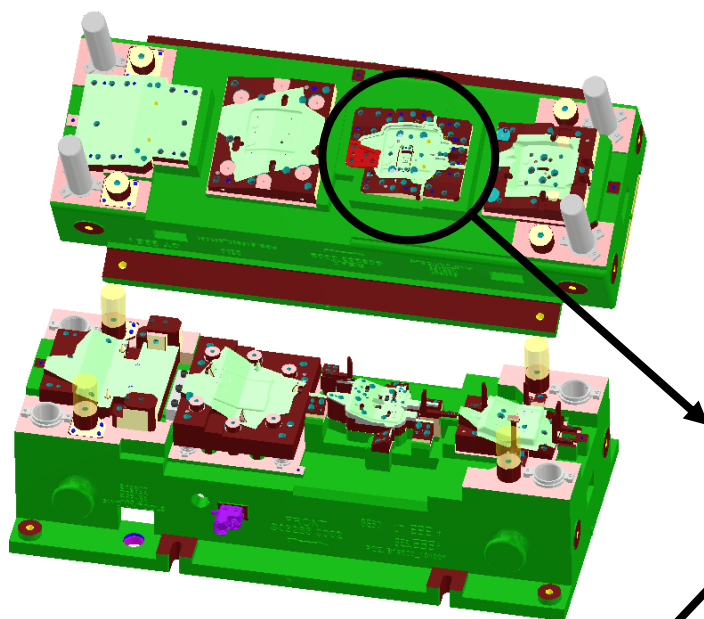
Obr. 1 Příklady renovace střížných nástrojů [5]

## 1 ROZBOR ZADÁNÍ [6], [7]

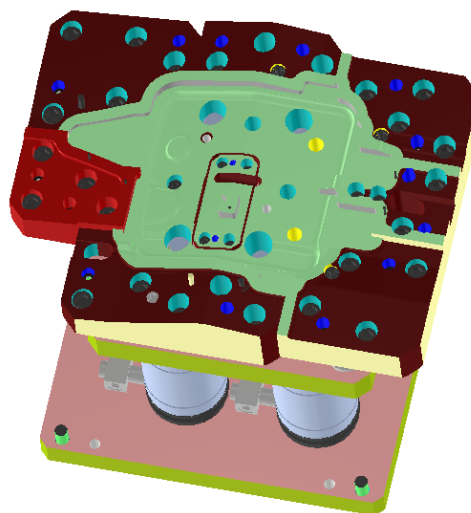
Řešenou součástí je část střížníku, která je vidět na obr. 4. Začlenění části střížníku ve střížníku lze pozorovat na obr. 3. Celý střížník je součástí bloku postupového střížného nástroje, který lze vidět na obr. 2. Proces probíhá při tváření za studena, tedy při teplotách nižších, než 200 °C. Hlavní rozměry části střížníku jsou 110 x 90 x 75 mm.

Základním materiálem, na který budou navařovány přídavné materiály je ocel s obchodním názvem Caldie od firmy Uddeholm a voestalpine company. Jedná se o 5% Cr ocel s nízkým obsahem uhlíku. Má vysokou odolnost proti vylamování a praskání. Pro střížné nástroje jsou důležitými faktory tvrdost při dobré tuhosti nástroje, houževnatost a pevnost v tlaku. Tvrdost oceli po zušlechtnění se pohybuje v rozmezí 60 – 62 HRC. Při tvrdosti oceli 61 HRC je pevnost v tlaku  $R_{c0,2} = 2430$  MPa.

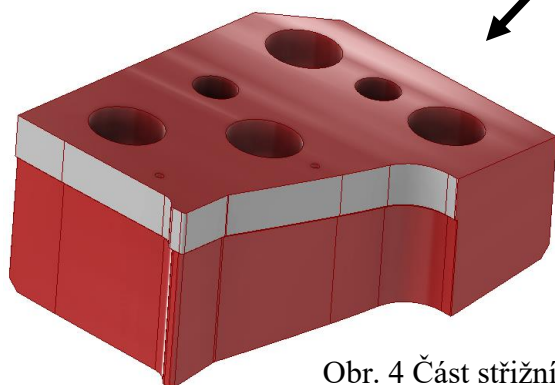
Technologie, kterou jsou poškozené části nástrojů renovovány je mikronavařování metodou TIG v impulzním režimu. Renovace střížných hran probíhá buďto s mezivrstvou, nebo bez mezivrstvy. Mezivrstva je z feriticko – austenitického materiálu CRONITEX RC 220. Finální funkční přídavný materiál je v případě této práce dvojího druhu CRONITEX RC 60 (CrMoV) a RC 63 (CrWV). Jsou to materiály samokalitelné. Dosahovaná tvrdost návarů je mezi 59 – 61 HRC. Po opravě a obrábění nástroje může být střížník opět zařazen do výroby. Všechny přídavné materiály jsou dodávány společností Welco spol. s.r.o.



Obr. 2 Postupový střížný nástroj [7]



Obr. 3 Střížník [7]



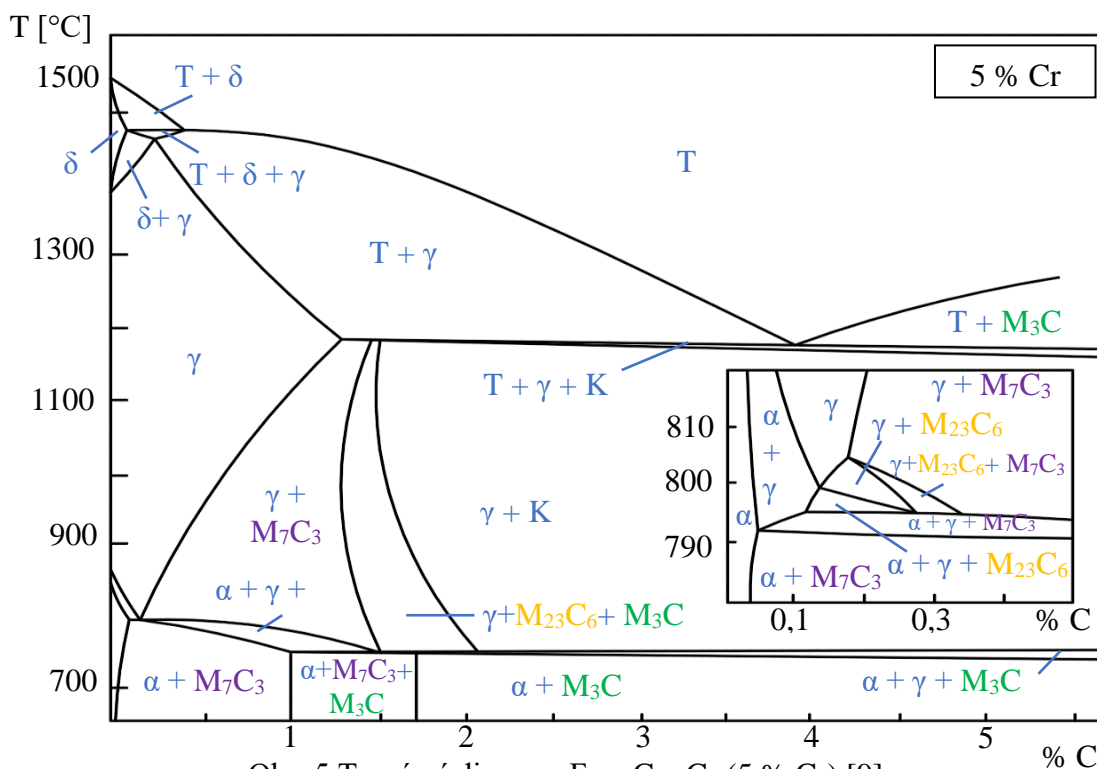
Obr. 4 Část střížníku [7]

## 2 NÁSTROJOVÉ OCELI [8], [9], [10]

Jsou to velmi ušlechtilé materiály, na které jsou kladeny vysoké nároky z hlediska mechanických vlastností a jsou mnohdy protichůdné. Každý si pod pojmem nástrojová ocel v první řadě vybaví vysokou tvrdost a pevnost, ale mnohdy jsou kladeny i požadavky na houževnatost jádra, při vysoké tvrdosti povrchu. Mnoho nástrojů musí pracovat za zvýšených tepelných podmínek, jako jsou formy na plasty, nebo jako je tomu v extrémním případě u rychlořezných ocelí. Důležitou vlastností, která je ovšem očekávána u většiny NO je vysoká odolnost proti abrazivnímu a adhezivnímu opotřebení. Velký důraz je při výrobě kladen na, co nejmenší obsah vměstků a škodlivin a skoro až dokonalé rozložení karbidů v matici. Nevýhodou, při výrobě většiny nástrojových ocelí pracujících za studena je karbidická řádkovitost vznikající tvářením. Způsobuje to nehomogenitu ve struktuře a spoustu nepříjemností především při TZ. Na většinu aplikací při použitých nástrojích pracujících za studena se využívá vysokolegovaných tzv. ledeburitických ocelí. V případě této práce se jedná sice o ocel střednělegovanou, ovšem mechanismy výroby oceli jsou podobné. Hlavním rozdílem u ledeburitických ocelí je vznik tzv. eutektika, což je struktura očekávána spíše u litin. Tím, že v nástrojových ocelích pracujících za studena je obvykle vyšší množství uhlíku a větší množství feritotvorných prvků je oblast tuhého roztoku feritu rozšiřována a oblast austenitu se zmenšuje. Tím dochází k posunutí bodu rozpustnosti uhlíku v austenitu a vzniká v těchto ocelích fáze eutektika, která je nepříznivá právě pro tvorbu karbidické řádkovitosti. Podle vlivu chemického složení se nástrojové oceli rozdělují na:

- Nelegované,
- nízkolegované (součet legujících prvků je do 5 %),
- střednělegované (součet legujících prvků je 5 – 10 %)
- vysokolegované (součet legujících prvků je nad 10 %) – většinou ledeburitické oceli.

Vzhledem k tomu, že vyšetřovaný základní materiál spadá do oblasti středně legovaných NO lze na obr. 5 vidět ternární diagram Fe – C – Cr, kde lze pozorovat, jaké jednotlivé strukturní fáze se budou přibližně vylučovat díky obsahu Cr. Je zřejmé, že ocel obsahuje i další leg. prvky.



Obr. 5 Ternární diagram Fe – C – Cr (5 % Cr) [9]

- Klasifikace NO – která je předmětem práce nemá ekvivalentní označení, podle normy ČSN, W. Nr., EN, ISO apod. Obchodní název oceli je Caldie od firmy Uddeholm. Hlavní skupiny nástrojových ocelí jsou klasifikovány dle AISI (American Iron and Steel Institute) v tab. 1. Systém dělí nástrojové oceli do 9 skupin, které jsou založeny na významných vlastnostech:
  - Legující prvky – „tungsten“ (T), „molybdenum“ (M),
  - TZ – „oil“ (O), „air“ (A), „water“ (W),
  - aplikace – „cold work“ (D), „hot work“ (H).

Tab. 1 Klasifikace NO dle AISI [10]

Skupina	Označení AISI
NO pracující za tepla	Cr, W, Mo
NO pracující za studena	Vysoký obsah C a Cr
	Kalené v oleji
	Kaleno na vzduchu
Rychlořezné NO	W
	Mo
NO pro formy	P
NO kaleny ve vodě	W
NO odolné proti rázům	S

- Rozdělení NO pracujících za studena:
  - 12% Cr oceli
  - 8% Cr oceli
  - 5% Cr oceli

Předmětem této práce je střednělegovaná 5% Cr ocel Caldie, která se podle AISI označuje, jako typ A2 – ocel pracující za studena.

## 2.1 Výroba nástrojových ocelí [8], [9], [10], [11], [12], [13]

Na výrobu nástrojových ocelí jsou kladeny vysoké nároky z hlediska jakosti vyráběných produktů, což jsou například odolnost proti opotřebení, spolehlivost, trvanlivost za extrémních pracovních podmínek aj.

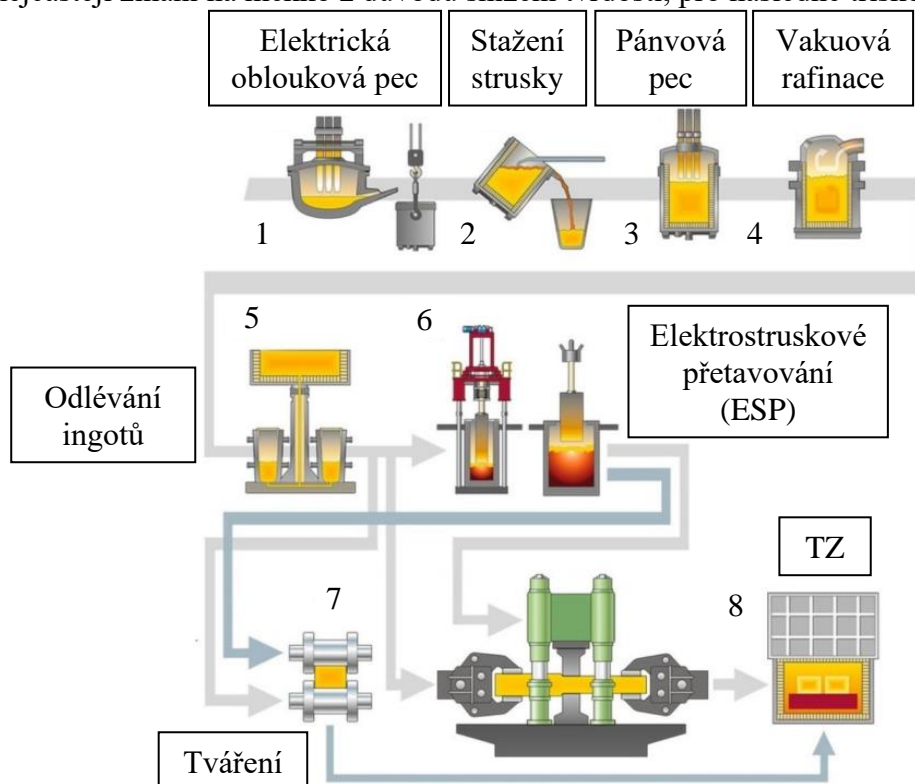
Nástrojové oceli se vyrábějí tzv. procesem tuhnutí taveniny. Primární metalurgie je jedním s klíčových faktorů rozhodujících o homogenitě struktury a vlastnosti materiálu. Většina vad vzniklých, při procesu primární krystalizaci nelze následnými procesy probíhající v tuhé fázi efektivně odstranit.

Konvenční výroba nástrojových ocelí lze rozdělit do jednotlivých etap, které lze vidět na obr. 6. Proces primární metalurgie probíhá v bodech 1 až 5. Prvním krokem je proces tavení ocelového šrotu, který probíhá v elektrických obloukových pecích. To nám zajistí vysokou čistotu oceli, nízký obsah doprovodných prvků a nejmenší rozptyl chemického složení mezi tavnami. Roztavená ocel je odváděna do pánvové pece, kde je pomalu ohřívána a kontinuálně míchána v argonu. Tím pádem dochází k dezoxidaci a odsíření. Vakuovou rafinací při kontinuálním míchání dochází za nízkého tlaku k odstranění oxidu uhelnatého z taveniny spolu s dalšími prvky, jako je například vodík, dusík a síra. Tavenina je vedena do horké lící jednotky, kde tuhne.

Aby ocel měla vysokou jakost (čistotu), jsou oceli následně elektrostruskově přetavovány (ESP), čímž se odstraní obsah škodlivin typu síra a fosfor na hodnotu nižší, než 0,001 %. Přetavováním je snaha získat izotropní vlastnosti materiálu, tedy zrovnoměnění chemického

složení a výsledné struktury. U nástrojových ocelí se přetavováním sníží výskyt shluků karbidů a docílí se jejich rovnoměrnějšího uspořádání.

Dále se ztuhlý ingot tváří za tepla (podle požadovaného tvaru výrobku) a tepelně zpracovává. TZ bývá nejčastěji žihání na měkko z důvodu snížení tvrdosti, pro následné třískové obrábění.



Obr. 6 Výroba NO konvenčním způsobem [11]

- Tuhnutí – jak již bylo zmíněno, je jedním z nejdůležitějších fází výroby nástrojových ocelí, protože při něm dochází k primární krystalizaci taveniny. Sekundární procesy, jako je tváření, či tepelné zpracování, nedokážou odstranit nedostatky ingotu vzniklé během primární krystalizace.

Podle typu primárně krystalizující fáze se rozdělují ledeburitické oceli na:

- Podeutektické (hypo-eutektické) – primární tuhý roztok
- Nadeutektické (hypereutektické) – primárně krystalizuje některý z karbidů

Mezi podeutektické materiály patří všechny běžné RO a konvenční Cr oceli pracují za studena. V případě nadeutektických ocelí jsou to slitiny s vysokým obsahem C a V. Lze pozorovat, že velmi závisí na podílu C a legujících prvků, jak bude ocel krystalizovat. Jestli bude ocel primárně krystalizovat přes peritektickou oblast, přes oblast austenitu, nebo bez přítomnosti tuhé fáze, jako některý z karbidů.

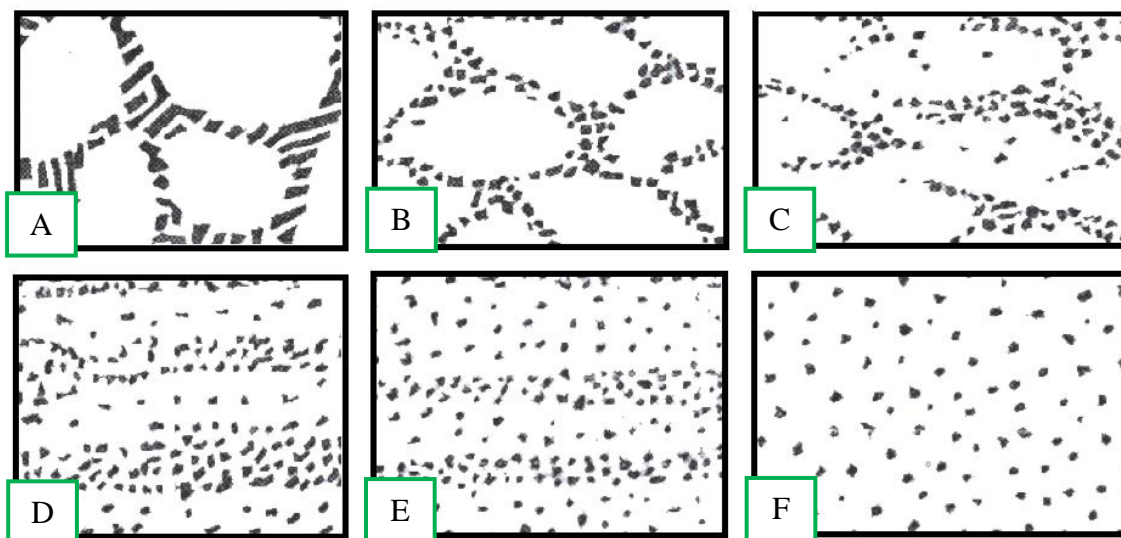
V případě chromové ledeburitické oceli začíná primární krystalizace vylučováním austenitu z taveniny. Při poklesu teploty dochází k vylučování karbidů typu  $M_7C_3$ , protože rozpustnost uhlíku v austenitu je nižší, než je obsah C v materiálu. Následuje eutektická transformace, při které se zbývající tavenina mění na eutektikum austenit (ledeburit) + karbid  $M_7C_3$ .

Pokud se bude jednat o střednělegovanou Cr – V - Mo ocel (Caldie), která je předmětem této práce, tak je situace mnohem složitější. Mimo karbidů chromu se mohou při primární krystalizaci vylučovat karbidy vanadu a molybdenu.

Problém nastává, při tuhnutí velkých ingotů, kde vlivem pomalého ochlazování dochází k rozvoji segregáčnických jevů. Intenzita likvačních jevů je dána velikostí ingotu. Čím větší je

objem kovu, tím vyšší odmíšení. Nejmenší segregace nastává na okrajích, kde odlitek tuhne rychleji. K největšímu odmíšení dochází v jádru ingotu, kde je ochlazování pomalé.

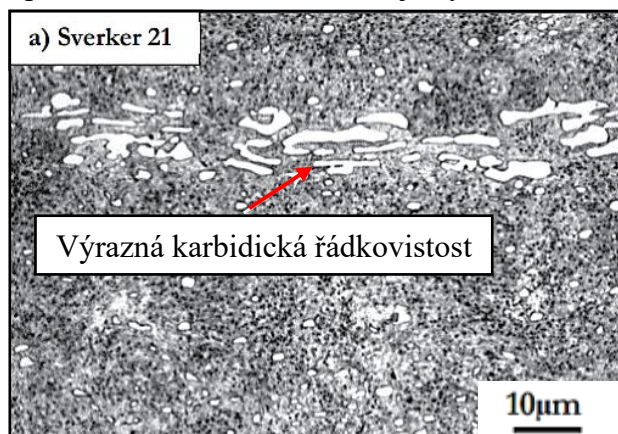
- Tváření za tepla – je operace, která následuje po ztuhnutí ingotu. U ledeburitických ocelí je struktura tvořena dendrity tuhého roztoku. Karbidy se ve struktuře vylučují v mezidendritických prostorách, jako eutektické síťoví (obr. 7 A). Z tohoto důvodu mají oceli po ztuhnutí velmi nízkou houževnatost. Vlivem tváření dochází k rozrušení eutektického síťoví a rozptýlení karbidů ve struktuře (obr. 26 B až F), čímž se zvyšuje houževnatost oceli. V důsledku tváření za tepla jedním směrem, vzniká ve struktuře anizotropie ve smyslu tzv. karbidické řádkovitosti (obr. 7 D, E), která má negativní vliv na otěruvzdornost nástrojů.



Obr. 7 Fragmentace karbidického síťoví následkem tváření [9]

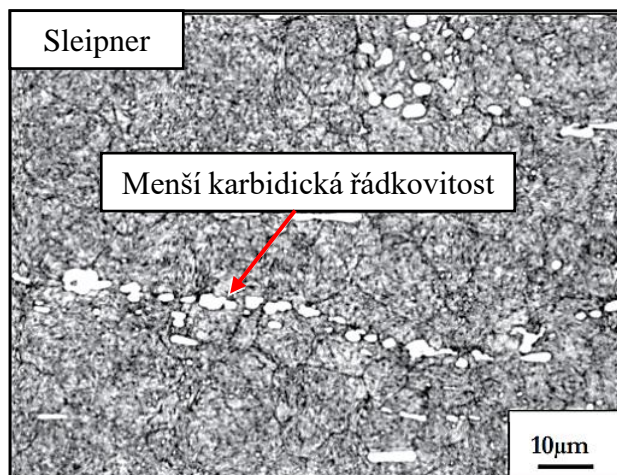
Tvar, velikost, množství a rozložení primární (nerozpuštěných) karbidů má zásadní vliv na výslednou strukturu nástrojových ocelí pracujících za studena, zejména pak na otěruvzdornost, odolnost proti vylamování a praskání. Trend ve vývoji ocelí pracujících za studena z hlediska chemického složení, vyloučení karbidů a způsob rozložení po tváření za tepla je vidět na oceli Sverker 21, Sleipner a vyšetřovaného ZM Caldie od firmy Uddeholm. Struktury ocelí uvedené na obr. 8, 9, 10 jsou znázorněny již ve stavu po kalení.

- Sverker 21 – jedná se o vysoce uhlíkovou ocel (1,5 – 2,2 % C) s podílem 12 % Cr. Dle AISI by se jednalo o typ D. Ve struktuře lze vidět výraznou karbidickou řádkovitost (obr. 8), která odpovídá obr. 7 D. Ocel dosahuje vysoké tvrdosti a otěruvzdornosti.



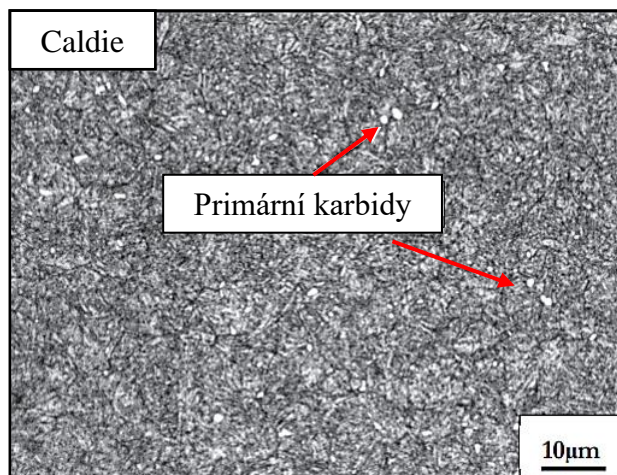
Obr. 8 Sverker 21 [10]

- Sleipner – je ocel s obsahem 8 % Cr. Oproti Sverker 21 obsahuje menší podíl Cr a C. Tím je dosaženo lepší odolnosti proti trhlinám a praskání, při zachování obdobné otěruvzdornosti. Došlo také ke snížení karbidické řádkovitosti od proti Sverker 21, což lze pozorovat na obr. 9. Rozložení karbidů odpovídá obr. 7 E.



Obr. 9 Sleipner [10]

- Caldie – byla dalším krokem ve vývoji ocelí pracujících za studena odolným proti praskání a trhlinám. Cílem bylo vytvořit ocel s minimálním množstvím nerozpuštěných primárních karbidů. Toho bylo docíleno snížením obsahu uhlíku na 0,7 % a obsahu chromu na 5 %. Tím došlo v oceli ke snížení velikostí a množství primárních karbidů, jak lze vidět na obr. 10. Caldie dosahuje tvrdosti v kaleném stavu odpovídající oceli Sverker 21. Odolnost proti praskání a trhlinám má lepší, než Sverker 21 a Sleipner.



Obr. 10 Caldie [10]

NO má nízkou tepelnou vodivost a při navařování může dojít vlivem vysokého vneseného tepla, eventuálně tepelného šoku k šíření mikrotrhlin skrze karbidickou řádkovitost. To může vést až k prasknutí ZM. Přílišné shluky primárních karbidů snižují houževnatost oceli a může v tomto místě iniciovat trhlina. V praxi se většinou z tohoto důvodu zařazuje přehřev ZM.

## 2.2 Struktura nástrojových ocelí [8], [9], [12]

Struktura nástrojových ocelí je tvořena maticí a karbidy různého typu v závislosti na tom v jakém stádiu výroby se ocel nachází. Matrice a karbidy jsou nedílnou součástí a dohromady tvoří celek, který dává těmto druhům oceli, tak dobré mechanické vlastnosti. V případě nástroje obě složky plní svou přítomností funkci a špatným stavem jedné, či druhé složky by nástroj nebyl dostatečně funkční. Karbidy tvoří místní vysokou tvrdost, která zvyšuje otěruvzdornost nástrojů, zatímco pro pevnost a tvrdost celého nástroje je důležitý stav matrice. Pevnost a tvrdost matrice je dána následným tepelným zpracováním kalením a popuštěním. Zde rozhoduje, kolik karbidů se během austenitizace rozpustí v austenitu a nasytí austenit uhlíkem a legujícími prvky.

Ve stavu po odlévání, ztuhnutí a vychladnutí ingotu je matrice tvořena dendrity tuhého roztoku feritu a eutektickým sítovým karbidům (v případě ledeburitických ocelí).

Prvním tepelným zpracováním, které je aplikováno na NO je žihání na měkko. Struktura matrice po žihání je tvořena feritem, v nichž jsou různě rozptýleny karbidické fáze. Způsob rozmístění karbidů je závislý na předešlém zpracování, jak bylo zmíněno výše.

Následně po vytvoření vhodné geometrie nástroje jsou oceli kaleny a popuštěny. Po ochlazení v kalícím médiu je struktura tvořena martenzitem (deskový, nebo jehlice) a zbytkovým austenitem. Poměr těchto fází závisí na velikosti austenitizační teploty, délce výdrže, rychlosti ochlazování a chemickém složení oceli. V některých NO se může objevovat i podíl bainitu.

### 2.2.1 Karbidické fáze [8], [9], [12]

Důležitou složkou nástrojových ocelí jsou karbidy, které tvoří prvky, jako chrom, molybden, vanad a wolfram. Karbidy jsou tvrdší, než matrice a zvyšují odolnost proti opotřebení, jak lze vidět v tab. 2. Obvyklé karbidy v nástrojových ocelích pracujících za studena jsou fáze typu  $M_7C_3$ , MC (resp.  $M_4C_3$ ). Ostatní fáze typu  $M_{23}C_6$ ,  $M_2C$  nebo  $M_3C$  jsou spíše přechodné fáze. Podle původu lze karbidy nacházející se v nástrojových ocelích rozdělit na:

- Primární – vylučují se z taveniny během tuhnutí oceli,
- eutektické – jejich vznik je zapříčiněn eutektickou přeměnou (u ledeburitických ocelí),
- sekundární – vylučují se z austenitu mezi teplotami solidu a teploty  $A_1$  v důsledku klesající rozpustnosti C v austenitu,
- eutektoidní – vznikají transformací austenitu na legovaný perlit,
- terciální – vylučují se v důsledku změny rozpustnosti uhlíku ve feritu s klesající teplotou pod  $A_1$ .

Hlavní chromové karbidy vyskytující se v nástrojových ocelích pracujících za studena jsou  $M_7C_3$  resp.  $(Cr, Fe, Mo, W, V)_7C_3$  a  $M_{23}C_6$  resp.  $(Cr, Fe, Mo, W, V)_{23}C_6$ . Jednotlivé prvky v závorkách jsou seřazeny dle procentuálního obsahu v tomto druhu karbidu. Karbidy typu  $M_{23}C_6$  se rozpouštějí při austenitizaci za teploty 950 až 1000 °C.

Karbid typu  $M_{23}C_6$  se vyskytuje v nástrojových ocelích, jako eutektoidní a sekundární. Při ohřevu na kalící teplotu se většinou zcela rozpustí, chrom přechází do tuhého roztoku austenitu a zvyšuje prokalitelnost oceli.

Komplexní karbid typu  $M_7C_3$  bývá hlavně sekundární a eutektický. Velikost, rozmístění a tvar závisí na chemickém složení a podmínkách tuhnutí a tváření oceli. Chrom může být nahrazován železem (až do 50 %, poměr Fe/Cr).

Největší tvrdosti dosahuje karbid vanadu. Objevují se již při malých obsazích vanadu a uhlíku. Většinou bývá tzv. deficitní, tzn. že obsahuje méně uhlíku, než je určeno stechiometrií fáze. V ocelích se netvoří přesně fáze typu MC, resp. VC, ale obvykle, jako astechimický  $M_4C_3$  ( $V_4C_3$ ), nebo jiné. Karbid  $M_4C_3$  precipituje, během popuštění při teplotách



500 – 600 °C. V karbidu MC se rozpouštějí nejvíce W, Mo, Cr a v menší míře i další prvky. Ve fázi MC se rozpouští chrom (přibližně do 11 %) a rozpustnost železa je nižší 4 %. K jeho rozpouštění dochází až při vysokých teplotách (začátek rozpouštění okolo 1000 °C). Tvoří velmi jemné a tvrdé karbidy, které se při austenitizaci jen z části rozpustí a zbytek zabraňuje zhrubnutí austenitického zrna.

Karbid typu  $M_2C$  je fáze, kterou tvoří zejména molybden. Je sekundárního původu. Rozpouští se v austenitu při ohřevu na kalící teploty. Při popouštění precipituje při teplotách 500 – 600 °C.

Existují i další druhy karbidů, které se mohou objevit v NO pracujících za studena. Vzhledem k ZM Caldie, který je vyšetřován, jako navařovaná součást v této práci byly definovány karbidy, které by se ve struktuře mohly objevit.

Tab. 2 Vybrané druhy karbidů [14]

Druh karbidu	Hlavní karbidotvorný prvek	Tvrdość [HV]
$M_3C$	Fe, Cr	~ 950
$M_{23}C_6$	Fe, Cr	1000 – 1100
$M_7C_3$	Fe, Cr	1600 – 1800
$M_2C$	W, Mo	1700 – 1900
MC	V	2200 – 3000
$M_4C_3$	V	2000 – 2800

## 2.3 Základní materiál CALDIE [6], [15]

Navařovaným základním materiálem pro experiment je Cr-Mo-V ocel Caldie od firmy Uddeholm. Dle AISI se jedná o ocel typu A2, tedy ocel pro práci za studena. Díky svému obsahu chromu se řadí mezi tzv. středně legované nástrojové oceli a platí pro ni výše uvedené vlastnosti materiálu.

Z hlediska konvenční výroby NO je ocel Caldie vrcholem vývoje oceli, díky své struktuře a vlastnostem. Nevyskytuje se u ní výrazná karbidická řádkovitost, jako u dříve vyráběných ocelí, díky snížení obsahu legujících prvků (především chromu). Dosahuje vysokých tvrdostí, pevností a disponuje vysokou odolností proti vylamování a praskání (díky snížení obsahu uhlíku a legujících prvků). Má také vysokou odolnost proti opotřebení.

V tabulce 3 lze vidět chemické složení dle materiálového listu od firmy Uddeholm. Materiálový list je součástí práce viz. příloha 1. Pro ověření chemického složení byl od firmy vyžádán 2.2 atest, který lze vidět v příloze 2. Na základě porovnání atestu a materiálového listu bylo chemické složení oceli dodrženo.

Tab. 3 Chemické složení [6]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]
0,7	0,2	0,5	5,0	2,3	0,5

Z hlediska mechanických vlastností dosahuje ocel tvrdosti 60 – 62 HRC v závislosti na TZ. Pevnost v tlaku je 2430 MPa (při tvrdosti 61 HRC). Za zmínku stojí její nízká tepelná vodivost 24 W/m · °C, která má vliv na navařování poškozených částí nástroje.

### 2.3.1 Tepelné zpracování [6], [8], [9], [12], [13], [16], [17], [18]

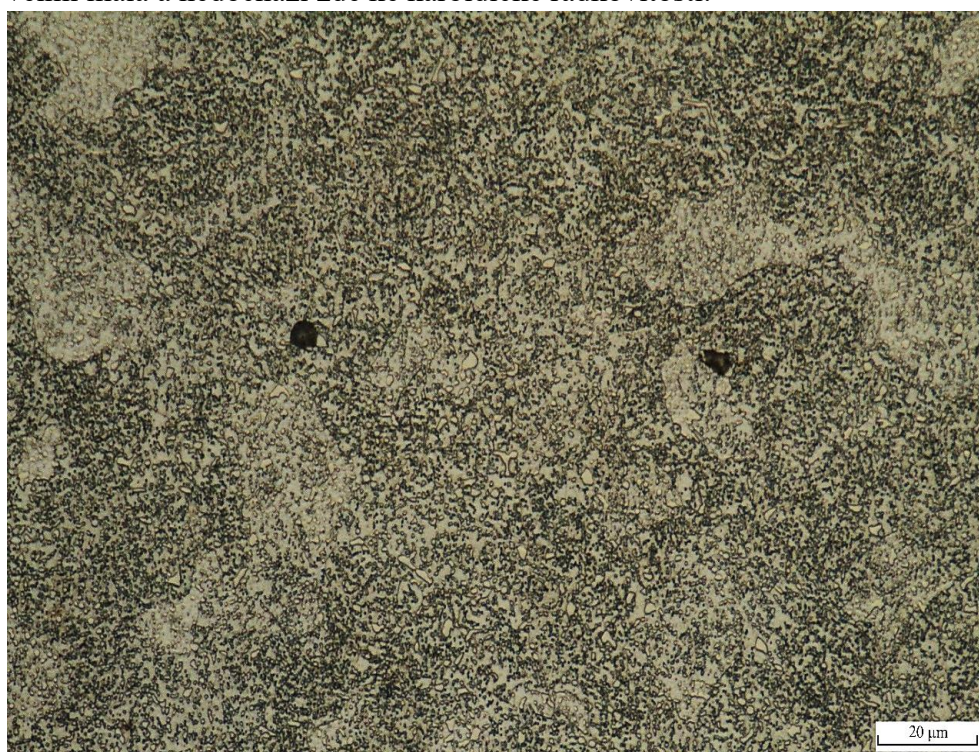
Všechny druhy tepelného zpracování mají společnou jednu věc. Proces se dá rozdělit na 3 etapy a tj. ohřev na teplotu, výdrž na teplotě a následné ochlazování.

- Žihání na měkko – je druh tepelného zpracování, ve které je nejčastěji ocel dodávána z hutí do výroby. Účelem žihání je snížit tvrdost nástrojové oceli, aby ji bylo možné obrábět a dosáhnout tak výsledného tvaru před zušlechťováním.

Žihání může probíhat těsně pod teplotou přeměny  $A_1$ . U nástrojových ocelí se tento druh tepelného režimu spíše nevyužívá, protože velikost sferoidizace karbidů je příliš malá.

Pro oceli pracující za studena se využívá výdrž na teplotě mírně nad  $A_1$ . Stejně tak to platí pro vyšetřovanou ocel Caldii. Ocel se prohřeje na teplotu  $820\text{ }^\circ\text{C}$ , přičemž je ocel nutné chránit před oxidací. Výdrž na teplotě přibližně 2 hodiny. Ochlazování se dělí na dvě části. V prvním kroku se ocel pomalu ochlazuje v peci rychlostí  $10\text{ }^\circ\text{C/hod}$  na teplotu  $650\text{ }^\circ\text{C}$ . Je tomu tak z důvodu, aby nedošlo k nežádoucí přeměně struktury a bylo dosaženo požadované nízké tvrdosti. Následně se ocel nechá volně na vzduchu ochladit až na pokojovou teplotu.

Struktura po žihání na měkko by měla tvořit tzv. legovaný perlit, což je matrice feritická se sferoidizovanými částicemi karbidů. Tím ocel získá již zmíněnou malou tvrdost a dobrou obrobitelnost. Strukturu žihaného materiálu lze vidět na obr. 11. Lze pozorovat, že velikost karbidů je velmi malá a nedochází zde ke karbidické řádkovitosti.



Obr. 11 Mikrostruktura po žihání na měkko, 1000x zvětšení

Zušlechťování – je tepelné zpracování NO zahrnující ohřev na austenitizační teplotu, prodlevu na teplotě, kalení a následné několikanásobné popouštění.

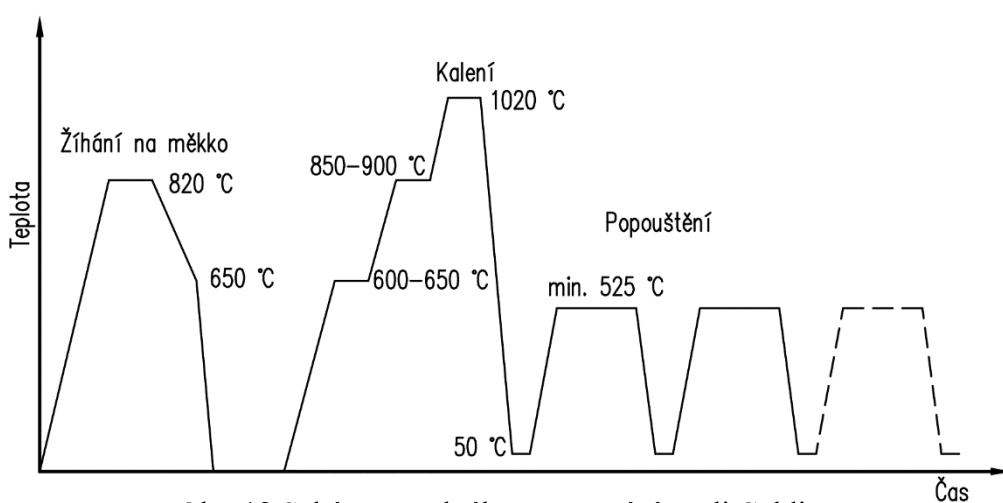
Pro ocel Caldii bylo předepsáno TZ kalit a popustit (5x) na sekundární tvrdost  $60+2\text{ HRC}$ , bez opalů. Pro lepší orientaci lze pro ocel Caldii vidět na obr. 12 schéma tepelného zpracování. Další informace k TZ viz. příloha 1.

Kalení (austenitizace) – z důvodu nízké tepelné vodivosti nástrojových ocelí se ohřev na austenitizační teplotu provádí stupňovitě. Prodlevy slouží k vyrovnání teplot mezi povrchem a jádrem nástroje, tak aby nedocházelo k pnutí a deformacím nástroje. Přesto je nutné počítat se změnami tvarů a rozměrů. Souvisí to z objemovými změnami v důsledku fázových přeměn během ohřevu (přeměna perlitu na austenit), při ochlazování (přeměna austenitu na martenzit) a také změnami v důsledku tepelné roztažnosti. Co se týče kalení a popouštění martenzit má větší objem, než austenit a dochází ke zvětšování rozměrů. K nasycení austenitu dochází, až při vyšších teplotách, protože se začínají rozpouštět karbidy. Pro chromové karbidy typu  $M_7C_3$  a  $M_{23}C_6$  se teplota rozpouštění pohybuje mezi  $950 - 1000\text{ }^\circ\text{C}$ . Dochází také k částečnému rozpouštění karbidy typu MC, ale spíše brání růstu austenitického zrna. Jednotlivé prodlevy

v případě oceli Caldie jsou, při teplotách (600 – 650 °C a 850 – 950 °C). Doba prodlev je přibližně 1 hod. Výše austenitizační teploty by se měla pohybovat mezi 1000 – 1025 °C. Výdrž na této teplotě by měl být přibližně 0,5 až 1 hod. (závislé na rozměru nástroje).

Kalení je prováděno v případě prodlev v dusíku a následně pro dosažení austenitizační teploty v jemném vakuu. Využitím plynu a vakua vede ke snížení deformací nástrojů. V důsledku nasycení austenitu uhlíkem a leg. prvky klesají teploty začátku a konce martenzitické přeměny. U nástrojových ocelí je konec martenzitické přeměny většinou pod bodem mrazu. Nástrojové oceli jsou v důsledku vysokého stupně legování dobře prokalitelné (malé průřezy i na vzduchu), ale nedoporučuje se to.

Ochlazování – probíhá dle diagramu ARA (viz. příloha 1). Ochlazení v případě ZM dochází v přetlaku dusíku na teplotu 50 °C. Tradiční ochlazovací křivka je dle ARA diagramu číslo 3. Rychlost ochlazování by měla být 1 °C/s.



Obr. 12 Schéma tepelného zpracování oceli Caldie

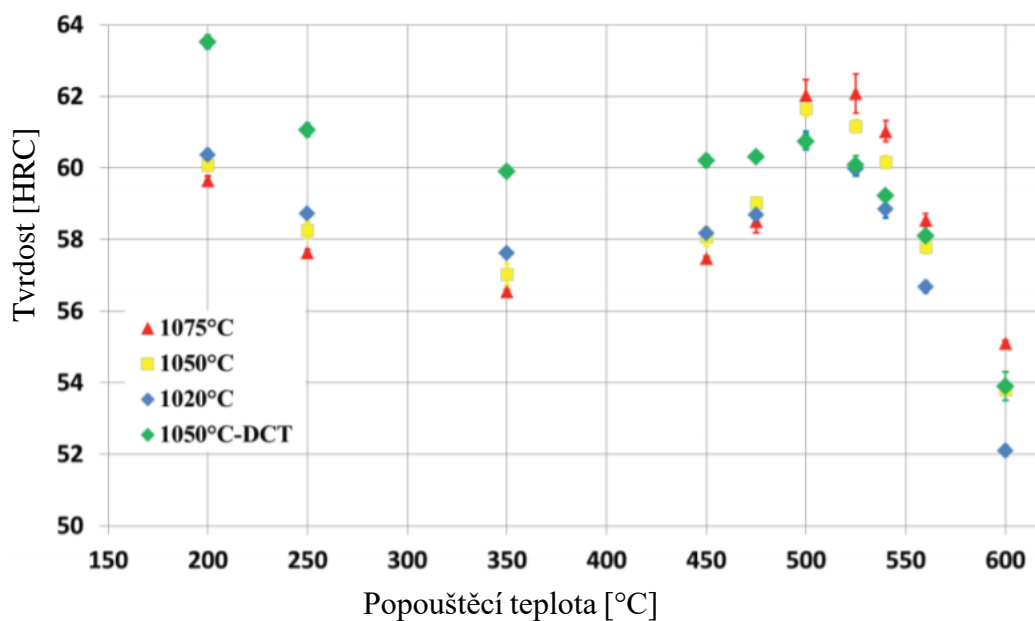
Popouštění – musí bezpodmínečně ihned následovat po kalení. Kalením bylo dosaženo struktury martenzitu (popř. směs martenzitu a bainitu), podílu zbytkového austenitu a nerozpuštěných karbidů. Pro dosažení vyššího stupně přeměny austenitu na martenzit je nutno několikanásobně popouštět. Teplota popouštění se volí na základě požadované tvrdosti. Nejnižší popouštěcí teplota je 525 °C. Důvodem popouštění při takto vysokých teplotách je stabilita austenitu pod 500 °C. Popouštěním na sekundární tvrdost dochází k ochuzení austenitu a martenzitu o uhlík a legující prvky vlivem precipitace karbidů na bázi chromu, molybdenu a vanadu. To má za následek zvýšení tvrdosti. Při takto vysokých teplotách transformuje Az na martenzit, což má za následek další navýšení tvrdosti.

Tab. 4 Závislost mechanických vlastností na způsobu TZ [18]

Teplota austenitizace [°C]	Teplota popouštění [°C]	Pevnost v tlaku [MPa]	Vrub. houževnatost [J]
1020	200	2192 ± 12	156 ± 20
	525	2319 ± 9	128 ± 20
1050	200	2041 ± 15	131 ± 18
	525	2337 ± 10	76 ± 14
1075	200	1852 ± 33	37 ± 5
	525	2299 ± 5	21 ± 2

Na obr. 13 lze vidět popouštěcí diagram. Jedná se o závislost tvrdosti na teplotě popouštění (2 x 2 hodiny). Lze pozorovat, že při zvyšující se teplotě austenitizace narůstá i sekundární tvrdost oceli.

V tab. 4 lze vidět, jak se mění pevnost v tlaku, při různých teplotách austenitizace a popouštění. Popuštěno bylo opět aplikováno 2 x 2 hodiny na různé popouštěcí teploty uvedené v tab. 4. Důležitým parametrem pro navařování je vrubová houževnatost – jedná se o množství energie, které dokáže materiál absorbovat do vzniku lomu. S tím souvisí i fakt, že při zvyšující se teplotě austenitizace klesá vrubová houževnatost, a tím i houževnatost oceli. Materiál se stává křehčím a z pohledu svařitelnosti i náchylnější na trhliny. Při vnesení přílišného tepla, špatném přehřevu, nebo tepelném šoku může dojít k iniciaci a šíření mikrotrhlin, které snižují životnost návaru.



Obr. 13 Vliv teploty austenitizace na tvrdost oceli Caldrie [18]

### 3 TECHNOLOGIE MIKRONAVAŘOVÁNÍ TIG

Při renovaci tvářecích nástrojů vyrobený z nástrojového materiálu je důležitým požadavkem, aby teplota byla dost vysoká k natavení PM a zároveň, aby nedošlo k vysokému vnesenému teplu do ZM. Vlivem příliš vysoké teploty, dochází k popuštění základního materiálu, což vede k jeho degradaci, tepelně ovlivněná oblast se rozšiřuje a dochází k deformaci ZM. Důsledkem toho dochází ke změně rozměrů nástroje způsobenému změnou struktury materiálu.

Právě z těchto důvodů se využívá pro renovaci střížných hran technologie mikro – TIG v impulzním režimu. Navařování střížné hrany lze vidět na obr. 14. Vlivem změn hladin proudu je vnesené teplo malé a dochází k dobrému formování tavné lázně a výsledné housenky. V návaru se díky vyvozeného tlaku plynu nevyskytují žádné bubliny a póry.



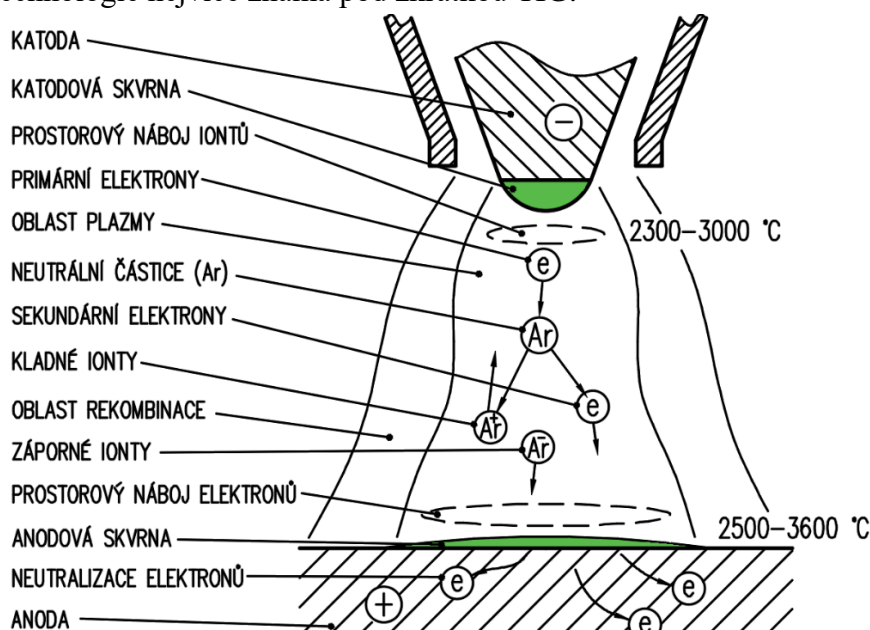
Obr. 14 Renovace střížné hrany mikro – TIG

#### 3.1 Metoda a princip mikro – TIG [19], [20], [21]

Metoda je v různých zemích označována různými zkratkami, znamenají ovšem jednu a tutéž technologii. Mezinárodně uznávané zkratky jsou:

- TIG – Tungsten Inert Gas (zkratka využívána v Anglii)
- WIG – Wolfram Inert Gas (zkratka využívána v Německu)
- GTAW – Gas tungsten arc welding (Spojená státy Americké)

Dále se ještě dá technologie rozlišit dle normy EN ISO 4063, jako metody 141. V České republice je technologie nejvíce známá pod zkratkou TIG.

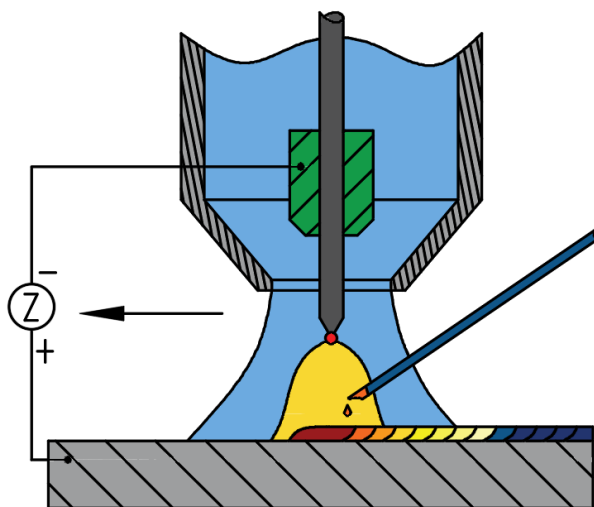


Obr. 15 Části elektrického oblouku [20]

Jedná se o tavnou metodu, která je charakterizována třemi oblastmi – katodickou skvrnou, elektrickým obloukem a anodickou skvrnou. Elektrický oblouk hoří mezi netavící se wolframovou elektrodou, jako nízkonapěťový vysokotlaký elektrický výboj a základním materiálem v ionizovaném (vodivém) plynu. Elektrický oblouk má dvě části a tj. vnitřní oblast (plazma) a vnější tzv. rekombinační oblast.

Plazma má kladně a záporně nabitě částice. Neutrální částice jsou obsaženy v ochranném plynu a přiváděny do místa návaru. Primární elektrony jsou emitovány katodou (wolframovou elektrodou). Vlivem vysoké teploty dochází ke srážkám primárních elektronů s neutrálními atomy ochranného plynu (Ar). Výsledkem srážky je vznik kladných iontů, sekundárních volných elektronů a záporných iontů. Kladné ionty dopadají zpět na katodu vlivem elektrostatických sil a neutralizují se. Záporně nabitě částice (volné sekundární elektrony a záporné ionty) jsou přitahovány směrem k anodě. Nositelem elektrického proudu jsou primárně elektrony. Při překročení určité hraniční teploty dochází k proudění veškerých částic (plazmatu) od katody (wolframové elektrody) směrem k anodě (základnímu materiálu). Teplota anodové skvrny je přibližně 2500 – 3600 °C, kdy většinou dosahuje teploty varu svařovaného materiálu. Na okraji sloupce dochází vlivem poklesu teploty ke slučování kladných a záporných iontů. Tento proces se nazývá rekombinace. Jednotlivé části elektrického oblouku lze vidět na obr. 15.

Teplota oblouku se při navařování pohybuje mezi 4000 – 7000 °C. Přímo pod hořákem v případě využití plynu argonu teplota plazmatu dosahuje až 16000 °C. Elektroda je vyrobena z wolframu právě z důvodu odolávání vysokým teplotám při navařování. Z hořáku je přiváděn inertní plyn, který chrání SK, okolí návaru a wolframovou elektrodu před účinky okolní atmosféry a vzdušnou vlhkostí. V okolní atmosféře je nežádoucí především kyslík a dusík. Jako inertní (netečný) plyn se využívá argon, nebo helium. V případě navařování střížných hran je ochranným plynem výhradně argon vysoké čistoty (4,6, nebo 4,8). Přídavný materiál je dodáván do návarové housenky ručně. Princip navařování metodou TIG lze vidět na obr. 16. Zdroj, využívaný k navařování je stejnosměrný, nebo impulzní proud.



Obr. 16 Princip navařování TIG

### 3.2 Navařovací (svařovací) parametry

Navařovací proces se řídí několika parametry. Tyto parametry přímo ovlivňují výsledek návarové housenky a její mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti. Mezi parametry patří svařovací proud, napětí a rychlost navařování. Tyto parametry mají mimo jiné zásadní vliv na výsledný tvar navařované housenky a podíl vneseného tepla v ZM. Taky lze pomocí těchto hlavních procesních veličin dopočítat podíl vneseného tepla do svarové lázně  $Q_s$ . Jak již bylo řečeno, podíl vneseného tepla v návaru je zásadní a musí být, co možná nejnižší, aby nedošlo k překročení teploty posledního popuštění ZM a jeho následné degradaci. V případě navařování více housenek je důležité si hlídat teplotu interpass z důvodu popuštění předešlé návarové housenky a snížení její tvrdosti.

### 3.2.1 Navařovací proud a svařovací režim [20], [21], [22]

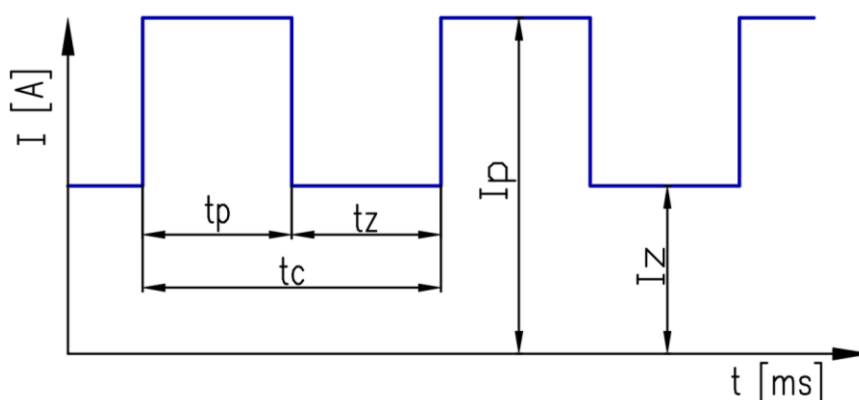
Při navařování metodou TIG má proud  $I$  [A] zásadní vliv na geometrii výsledné kladené housenky. Má také vliv na způsob přenosu PM, růst proudové hustoty a tekutost SL. Je celkem zřejmé, že se zvyšující se hodnotou navařovacího proudu se bude zvyšovat rychlost natavení přídavného materiálu. Navařovací proud musí být dostatečně vysoký, aby došlo k natavení PM a vyloučení karbidů, které vytvářejí tvrdost návarové housenky. Zároveň nesmí být příliš velký, aby nedošlo vlivem vysokého vneseného tepla do ZM k popuštění, změně struktury a snížení mechanických vlastností, především tvrdosti, na kterou jsou kladeny vysoké nároky.

U technologie TIG lze nastavit několik druhů svařovacích režimů (svařovacích proudů):

- Stejnoseměrný proud (DC)
  - Přímá polarita
  - Nepřímá polarita
- Střídavý proud (AC)
- Pulzní (impulzní) proud

V případě navařování střížných hran se ojediněle využívá stejnosměrný konstantní proud s přímou polaritou a výhradně navařování v impulzním režimu.

- Stejnoseměrný – proud se zapojením s přímou polaritou, kdy elektroda je zapojena na záporný pól (-) a ZM je připojen na kladný pól (+). Rozložení tepla v oblouku je nerovnoměrné. Proud elektronů směřuje směrem k anodě a větší teplo je tedy vyvíjeno na ZM, přibližně 2/3. Zbývá 1/3 tepla připadá na wolframovou elektrodu a díky tomu není elektroda tolik přetěžována, jako v případě zapojení nepřímé polarity. Ohřev základního materiálu je způsoben vysokou rychlostí elektronů a předání kinetické energie elektronů při srážce se ZM.
- Impulzní – proud, při kterém se periodicky s danou frekvencí (časem) mění proud mezi dvěma hladinami. Skládá se ze složky základního proudu  $I_z$  a impulzního proudu  $I_p$ . Polarita je stejná, jako v případě navařování stejnosměrným proudem s přímou polaritou. Tvar pulzu je závislý na charakteru zdroje. Tvary pulzu mohou být lichoběžníkový, trojúhelníkový, pravoúhlý, sinusový a jiné. Průběh pravoúhlého impulzního proudu na čase lze vidět na obr. 17.



Obr. 17 Průběh pravoúhlé impulzní charakteristiky [20]

Impulzní proud se odehrává v čase  $t_p$  a základní proud je dán časem  $t_z$ . Doba  $t_c$ , po kterou pracuje TIG v základním a impulzním proudu je stanovena frekvencí. Při navařování tvářecích nástrojů se využívá frekvence 100 – 120 Hz.

Impulzní proud slouží k natavení PM na střížnou hranu. Velikost navařované housenky je dána hodnotou amplitudy impulzního proudu, ale především dobou trvání

samotného pulzu. Během navařování jsou dvě možnosti nastavení impulzního proudu. Hodnota může být nastavena na pevně, nebo lze využít s výhodou nožní regulátor.

Pokud bude nastavena hodnota na pevně, tak se při navařování nástrojových ocelí volí hodnota mezi 45 – 60 A, kdy se zvolí jedna hodnota z tohoto intervalu a tato hodnota impulzního proudu se základním proudem se střídá periodicky s nastavenou frekvencí. Při využití nožního regulačního pedálu bude nastavena hodnota základního proudu například na 3 A, a hodnotu impulzního proudu na 100 A, kdy horní hodnota proudu je regulována nožním pedálem. Tedy maximální amplituda impulzního proudu je pohyblivá a nazývá se tzv. efektivní proud, který se pohybuje mezi 45 – 60 A v závislosti na uvážení svářeče, jak velký potřebuje proud k tavení SL. Impulzní (efektivní) proud se opět střídá periodicky se základním proudem s danou frekvencí. Výrobce nastavené střídání hladin proudu je 50 % pracuje v impulzním a 50 % v základním proudu.

Základní proud, je oproti impulznímu proudu nižší (přibližně 3 – 15 A) a slouží k ionizaci a udržení elektrického oblouku. Během této doby dochází k tuhnutí návarové housenky. Výhodou impulzního svařování oproti svařování stejnosměrným proudem je, že návary vykazují menší TOO, což je způsobena právě menším množstvím vneseného tepla. Menší množství vneseného tepla je způsobeno periodickým střídáním impulzního a základního proudu. Nástroje jsou díky tomu méně náchylné na praskání, šíření mikrotrhlin a mají menší deformaci.

### 3.2.2 Navařovací napětí a rychlost [20], [22]

- Navařovací napětí – jedná se o rozdíl potenciálů, mezi wolframovou elektrodou a povrchem lázně (ZM). Napětí se mění podle délky oblouku (vzdálenosti mezi elektrodou a ZM) a je závislé na ionizaci oblouku. Pro navařování se využívá krátký oblouk. Na odtavování přídavného materiálu má velmi malý vliv. Co se týče návaru, tak ovlivňuje spíše šířku návaru než výšku. Při využití nízkého napětí může dojít k přerušení hoření oblouku. Pro navařování střížných hran jsou výhodnější nižší hodnoty napětí 10 – 15 V z důvodu dosažení spíše vysokého návaru, než nízkého „mělkého“ návaru. Příliš nízké hodnoty napětí nejsou také žádoucí z důvodu nedokonalého natavení PM a v případě vícevrstvého navařování může být nízké napětí příčinou vad a defektů. Naproti tomu příliš vysoké hodnoty napětí zvětšují délku oblouku a může docházet k propalování legujících prvků, což je nežádoucí. Opět se zvyšuje množství vneseného tepla a rozšiřuje se TOZ v základním materiálu.
- Navařovací rychlost – při svařování nástrojových ocelí je důležité nespěchat a svařovat, pokud možno s malým proudem a krátkým obloukem, což ovlivňuje navařovací rychlost. Z tohoto důvodu je rychlost navařování poměrně malá. Doba navařování je také prodlužována přestávkami na pokles teploty předehřevu, proto je proces navařování dlouhý, pokud se navařuje více opotřeбенé místo. Rychlost musí být také sladěna s ostatními parametry, především s frekvencí impulzů. Obecný předpoklad je, že rychlost navařování se zvyšuje se zvyšující se frekvencí.

### 3.2.3 Vnesené teplo [22], [23]

Jak již bylo zmíněno v předchozích kapitolách množství vneseného tepla je důležité pro výslednou kvalitu návaru. Množství vneseného tepla musí být dostatečné pro natavení PM a vyloučení karbidů v návaru, ale příliš velké množství vneseného tepla může mít za následek změnu struktury ZM, tím i změnu rozměrů nástroje (deformace), vytvoření a šíření mikrotrhlin, pnutí a delaminaci návaru apod. Množství vneseného tepla do návaru spotřebovaného elektrickým obloukem lze vyjádřit dle vztahu 3.1.



$$Q_s = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{10^3 \cdot v_s} \quad (3.1)$$

kde:  $Q_s$  – množství vneseného tepla [kJ/mm],  
 $\eta$  – koeficient účinnosti navařování [-],  
 $U$  – navařovací napětí [V],  
 $I$  – navařovací proud [A],  
 $v_s$  – rychlost navařování [mm/s].

### 3.2 Zapalování oblouku [22], [24], [25]

Zapalování elektrického oblouku při svařování metodou mikro – TIG se provádí dvěma základními způsoby:

- Dotykové zapalování
  - Jednoduché dotykové zapálení
  - LIFT ARC (LA)
- Vysokofrekvenční zapalování (VF) – z angličtiny HF (high frequency)

Pro lepší pochopení a důležitost využití VF zapalování, při navařování je nejdříve důležité objasnit tradiční dotykové zapalování a způsob jeho fungování. Obecně každý druh zapálení je pro elektrodu špatný, protože dochází k opotřebení wolframové elektrody.

- Jednoduché dotykové zapálení – umožňuje svářeči zapálení oblouku pomocí dotyku W elektrody o ZM a jejím zdvižením. V případě jednoduchého zapálení oblouku je proud stejně vysoký, jako při navařování. Pokud využijeme technologie LA, oblouk se nezapaluje plným proudem, ale sníženým proudem (např. 10 A) a teprve po zapálení oblouku, vyběhne proud na hodnotu požadovanou při navařování. Děje se tomu tak, díky rostoucímu napětí, při vzdalování elektrody od ZM. Nevýhodou zapalování oblouku dotykem je kontaminace návarové housenky oxidy wolframu a znečištění elektrody základním materiálem. Dalším důvodem je čas ochlazení elektrody mezi jednotlivými návary. Pokud bychom oblouk zapalovali častěji po sobě, hrozí nebezpečí, že při dalším zapálení by mohla zůstat elektroda přilepená. Tím se ničí špička nabroušené elektrody, která má zásadní vliv na stabilitu a hoření oblouku. Je třeba si dávat pozor na funkci HOT START, kterou některé TIG svářečky mají. Při zapnutí funkce je proud pro zapálení oblouku navýšen o 30 % a elektroda bude trpět ještě více.
- Vysokofrekvenční zapálení – je bezdotykový způsob zapálení oblouku pomocí elektrického výboje generovaného zdrojem vysokého napětí o vysoké frekvenci. Zdroj VF napětí se obvykle nazývá ionizátor. Princip vysokofrekvenčního zapalování spočívá v přeskočení vysokonapěťové jiskry mezi elektrodou a navařovaným materiálem, bez rizika kontaminace návaru wolframem a elektrody základním materiálem. Vlivem zapálení bez dotyku nedochází k opotřebení konce wolframové elektrody.
- V praxi se nastaví elektroda 2 – 3 mm nad ZM a stlačováním nožního pedálu dojde k zapnutí VF ionizátoru a začnou přeskakovat jiskry, jak lze vidět na obr. 18. Důležité je, aby před navařováním byl spuštěn ochranný plyn, který proudí z hubice hořáku (zapíná se automaticky ventilem uvnitř svářečky). Jiskry ionizují plyn a po chvíli dojde k zapálení oblouku. Po zapálení se ionizátor vypne. Právě díky těmto výhodám se při navařování tvářecích nástroj z nástrojové oceli využívá VF zapalování oblouku.



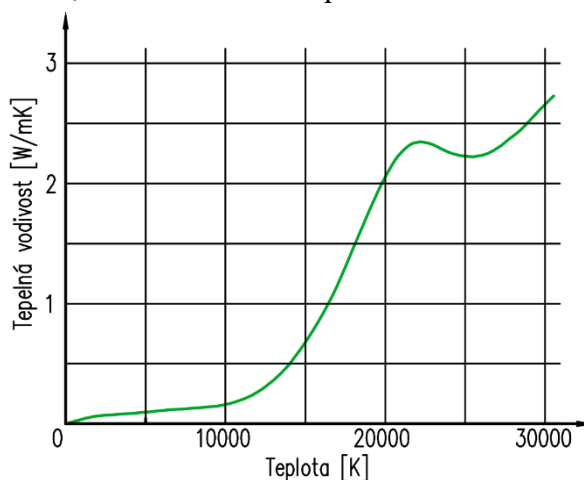
Obr. 18 VF výboj [25]

### 3.3 Ochranný plyn [20], [22], [26]

Při navařování tvářecích nástrojů je úkolem ochranného plynu chránit netavící se wolframovou elektrodu, návarové housenky a okolí svarové lázně před oxidací a naplyněním. Důvodem oxidace, nitridace a naplynění jsou okolní atmosféra tvořena kyslíkem a dusíkem. Současně vytváří plyn vhodné podmínky pro zapálení a hoření elektrického oblouku, přenos tepla do návaru a jeho formování. Jako ochranný plyn při navařování tvářecích nástrojů z nástrojové oceli se využívá výhradně argon.

- Argon – jedná se o jednoatomový inertní (netečný) plyn. Jednoatomový z toho důvodu, že nereaguje s žádným z dalších plynů, ani sám se sebou. Je to plyn bezbarvý, bez chuti a zápachu. Jedná se o vzácný plyn s chemickým značením Ar. Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu. Argon obsahuje také nečistoty v malém množství do 10 ppm v závislosti na čistotě plynu. Jsou to příměsi  $H_2O$ ,  $O_2$ ,  $CO_2$ , které mají nepříznivý vliv na výslednou kvalitu návaru.

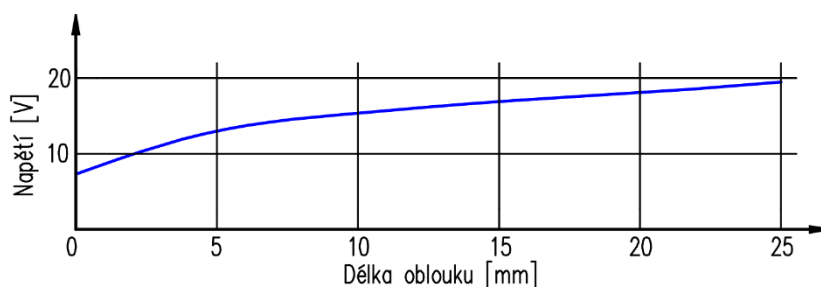
Argon má nízký ionizační potenciál 15,8 eV a malou tepelnou vodivost. Se vzrůstající teplotou oblouku se zvyšuje tepelná vodivost v plynu, jak lze vidět na obr. 19. Jedná se o stabilní nukleon s 18 elektrony, oproti například He, které obsahuje jen 2 elektrony. Díky těmto vlastnostem elektrický oblouk v argonu dobře zapaluje, dosahuje vysoké stability vzhledem k délce oblouku, umožňuje vysokou proudovou zatížitelnost a sloupec oblouku dosahuje vysokých teplot. Závislost délky oblouku na napětí lze pozorovat na obr. 20. Délka oblouku při navařování by měla být co nejkratší.



Obr. 19 Tepelná vodivost argonu [26]

Při porovnání hodnot hustoty argonu ( $1,78 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) a vzduchu ( $1,29 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ) je argon těžší než vzduch. Díky tomu má argon velmi dobré schopnosti ochrany, především ve svařovací poloze PA a lze využít menší množství průtoku plynu, při navařování nástrojových ocelí.

Tlakové láhve s plynem jsou značeny na vrchním štítku, dle čistoty argonového plynu. Přehled značení plynu v závislosti na jeho čistotě je v tab. 5. K navařování tvářecích nástrojů z nástrojové oceli se využívá argon čistoty 4.6, nebo 4.8. skupiny II dle DIN 439.



Obr. 20 Závislost délky oblouku na napětí [20]

Tab. 5 Značení plynu Ar v závislosti na čistotě plynu [22]

Označení	Minimální čistota plynu [%]
4.6	99,996
4.8	99,998

### 3.4 Navařovací (svařovací) hořák WIG [20], [21], [22], [27], [29]

Svařovací hořák, který lze vidět na obr. 21 zabezpečuje přívod elektrického proudu na wolframovou elektrodu, přísun a usměrnění inertního plynu do prostoru oblouku. Pro navařování mikro – TIG se používají hořáky chlazené vzduchem, resp. chlazené ochranným plynem.

Velmi namáhanou součástí hořáku je kleština wolframové elektrody. Musí zajišťovat pevné upnutí, které je důležité z hlediska snížení přechodového odporu mezi W elektrodou a upínkou. Kleštiny jsou vtlačeny do kuželového otvoru vrchním krytem na elektrodě.

Vzhledem k vysoké teplotě procesu je mezi tělo hořáku a keramickou hubicí vložen teflonový kroužek, který zabraňuje přechodu tepla z keramické hubice na tělo a tím prodlužuje jeho životnost.

- Keramická hubice – je jedna z dalších velmi tepelně namáhaných součástí. Vyrábějí se různých tvarů, průměrů a délek s ohledem na rovnoměrné pokrytí tavné návarové lázně ochranným plynem.

Praktické pravidlo z praxe říká, že vnitřní průměr keramické hubice by měl odpovídat průtoku ochranného plynu, tedy vnitřní průměr hubice [mm] = průtok ochranného plynu [l/min].

Je důležité používat vždy přiměřené množství plynu, protože větší množství může způsobovat turbulence, popř. se negativně podílet na formování tavné lázně. Malý průtok plynu způsobuje nedostatečné pokrytí SL, což může vést k vadám typu póry a bubliny. Doporučený průtok plynu, při navařování tvářecích nástrojů s nástrojové oceli metodou TIG je 5 – 9 l/min.

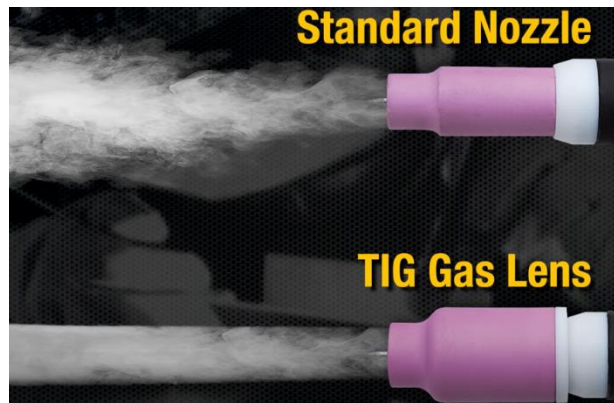
- Plynová dýza (čočka, sítko) – dodávána standardně ke svařovacím TIG hořákům má při navařování nástrojových ocelí jeden závažný nedostatek. Navařování probíhá za nízkého proudu, tedy i s nízkým průtokem plynu. Díky tomu dochází k nerovnoměrnému pokrytí SL ochranným plynem. Pro zlepšení plynové ochrany se používá plynová dýza GAS LENS, která je vidět na obr. 22 Funguje na principu sprchové růžice, která prodlouží laminární proudění, zajistí tak rovnoměrné pokrytí návarové lázně ochranným plynem i při nízkém průtoku plynu. Umožňují vysunutí wolframové elektrody o 15 – 20 mm. Porovnání průtoku plynu, při použití standardní dýzy a plynové čočky GAS LENS lze vidět na obr. 23.



Obr. 21 Navařovací hořák [27]



Obr. 22 Plynová dýza GAS LENSE [28]



Obr. 23 Porovnání pokrytí plynem [29]

### 3.5 Wolframové elektrody [20], [21], [22], [30], [31]

Netavící se elektrody pro navařování technologií mikro – TIG se vyrábějí práškovou metalurgií spékáním wolframového prášku. Vlastnosti wolframu, ze kterého jsou elektrody vyráběny lze vidět v tab. 6.

Tab. 6 Vlastnosti wolframu [30]

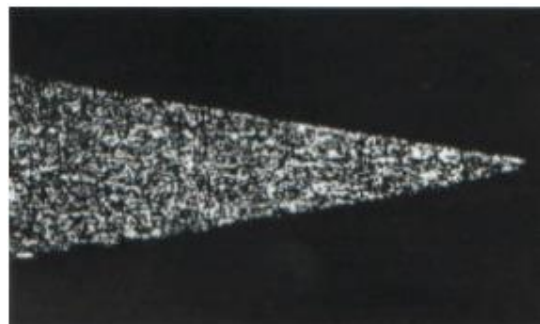
Hustota	19 300 kg · m <sup>-3</sup>
Teplota tavení	3380 °C
Teplota varu	5700 °C
Tepelná vodivost	129 W/m · K
Elektrický odpor	5,36 · 10 <sup>-8</sup> Ω

Elektrody se vyrábějí dvojího druhu:

- Nelegované – o čistotě 99,9 % W
- Legované oxidy – thoria (Th), lanthanu (La), ceru (Ce), zirkonu (Zr), nebo yttria (Y)

Legující prvky ve formě oxidů musí být rovnoměrně rozptýleny ve wolframové elektrodě. Při výrobě wolframové elektrody jsou lepší menší zrna, protože vzniká více hranic zrn, po kterých mohou oxidy lépe migrovat. Je zřejmé, jak je proces výroby elektrod náročný, když musí být velikost W zrn co nejmenší, a zároveň musí být příměsi rovnoměrně rozptýlené, při zachování správného množství oxidů.

Oxidy přirozeně migrují díky disociaci thoria, nebo jiné příměsi po hranicích zrn karbidu wolframu směrem ke katodové skvrně. Způsobují, že elektroda poskytuje stejnou hladinu emise elektronů, jako čistý wolfram, při mnohem menších teplotách tavení. Teplotu tavení oxidů kovů, které se používají, jako legující prvek do wolframových elektrod lze vidět v tab. 7. Nižší teploty zapálení a hoření oblouku prodlužují životnost elektrody a udržují menší velikost zrn wolframu. Během vysokých teplot se mohou zrna wolframu kombinovat se sousedními zrny, za vzniku většího zrna. Rovnoměrné rozložení přísad příměsi je důležité z hlediska kontinuálního toku oxidu. Příměsi obtékají zrna po hranicích zrn a zabraňují jeho růstu. Oxidy jsou tedy inhibitory růstu wolframových zrn. Pokud by byly oxidy nerovnoměrně rozloženy, tak dojde k růstu zrn a elektroda bude mít kratší životnost, špatné hoření oblouku a výkon. Na obr. 24 je zobrazena lanthanová elektroda o Ø1,6 mm s velmi jemnou strukturou i po svařování 180 A po dobu 1 hodiny. Tento stav je důkazem dobré výroby elektrody.



Obr. 24 Lanthanová elektroda [31]

Tab. 7 Teplota tavení příměsí oxidu wolframových elektrod [20]

Druh oxidu	Chemické značení	Teplota tavení [°C]
Oxid thoričitý	ThO <sub>2</sub>	3300
Oxid lantanitý	La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2300
Oxid zirkoničitý	ZrO <sub>2</sub>	2700
Oxid ceričitý	CeO <sub>2</sub>	2600
Oxid hafničitý	HfO <sub>2</sub>	2900
Oxid ytritý	Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2700

Čím více oxidu se do wolframové elektrody přidá, tím nižší bude pracovní teplota při zapalování a stabilnější hoření oblouku.

Zvýšení emise elektronů lze docílit snížením výstupní práce elektronů, což je jeden z důvodů přidávání oxidů do wolframových elektrod. Čím nižší je výstupní práce elektronů oxidu, tím menšího napětí je zapotřebí k vyražení valenčního elektronu z atomu a zapálení oblouku. Důvodem je opět zabránění růstu zrn, zajištění konstantního toku oxidů uvnitř elektrody a prodloužení její životnosti. Porovnání jednotlivých výstupních prací elektronů příměsí oxidů a wolframu lze vidět v tab. 8.

Tab. 8 Porovnání jednotlivých výstupních prací elektronů příměsí oxidů a wolframu [20]

Materiál	Výstupní práce elektronů [eV]
Wolfram	4,24 – 5,01
Oxid thoričitý	2,0 – 3,0
Oxid lantanitý	1,7 – 4,2
Oxid ytritý	1,9 – 3,8
Oxid ceričitý	1,8 – 2,6

Klasifikace wolframových elektrod je definována normou ISO 6848 a označování je založeno na jejich chemickém složení. Každá elektroda musí být na jednom konci označena minimálně 3 mm dlouhým barevným páskem, odpovídající druhu wolframové elektrody s příslušným oxidem. Barevné značení, označení elektrody a hmotností podíl oxidů v elektrodě, které se používají pro opravy tvářecích nástrojů z NO lze vidět v tab. 9.

Tab. 9 Doporučené wolframové elektrody pro renovaci tvářecích nástrojů a forem [20], [22]

Označení	Chemické složení	Barevné označení	Použití
<b>WT 20</b>	(1,8 – 2,2) % ThO <sub>2</sub>	červená	ocel
<b>WT 40</b>	(3,8 – 4,2) % ThO <sub>2</sub>	oranžová	ocel
<b>WC20</b>	(1,8 – 2,2) % CeO <sub>2</sub>	šedá	ocel
<b>WL 20</b>	(1,8 – 2,2) % La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	tyrkysově modrá	univerzální

Označování elektrod dle normy ISO 6848:

- První písmeno – W značí wolfram, jako matrice elektrody,
- druhé písmeno – druh oxidu (T – oxid thoričitý, L – oxid lantanitý apod.), druhé písmeno P (z anglického pure – čistý) – charakterizuje elektrodu z čistého wolframu,
- číslo za prvními dvěma písmeny znamená desetinásobek koncentrace oxidu

Vyráběné Ø elektrod [mm] – 0,25; 0,3; 0,5; 1,0; 1,5; 1,6; 2,0; 2,4; 3,0; 3,2; 4,0; 4,8; 5,0; 6,0; 6,3; 6,4; 8,0; 10

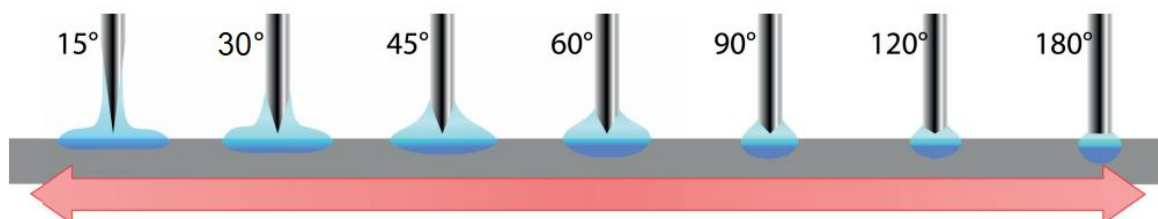
Vyráběné délky [mm] – 50; 75; 150; 175; 300; 450; 600

Průměr wolframové elektrody je volen s ohledem na druh a intenzitě proudu, režimu navařování, druh ZM a složení plynu. Při svařování NO je důležité pracovat s co nejmenším proudem, aby se snížilo teplotní ovlivnění ZM a snížilo riziko pnutí a mikrotrhlin. Velikost proudu se volí také s ohledem na průměr wolframové elektrody. Doporučené průměry elektrod

jsou (0,5; 1,0; 1,5) mm. Větší průměry elektrod jsou pro navařování z hlediska dosahovaného zatížení proudem nevhodné.

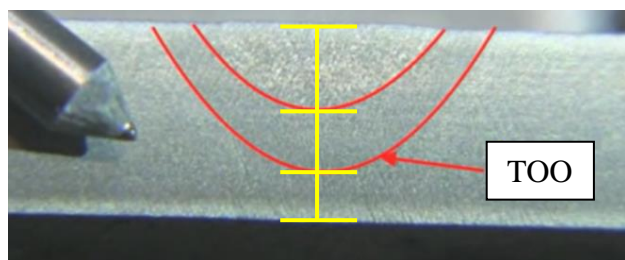
### 3.5.1 Úhly a broušení elektrod [22], [31], [32], [33], [34], [35], [36]

Důležitým faktorem ovlivňující kvalitu návarové housenky je způsob a úhel nabroušení wolframové elektrody. Úhel špičky má vliv na průvar, šířku TOO a životnost elektrody v závislosti na navařovacích parametrech. Mnoho literatur uvádí různá tvrzení z hlediska závislosti úhlu špičky na velikosti tavné lázně. „Správné tvrzení lze vidět na obr. 25“.

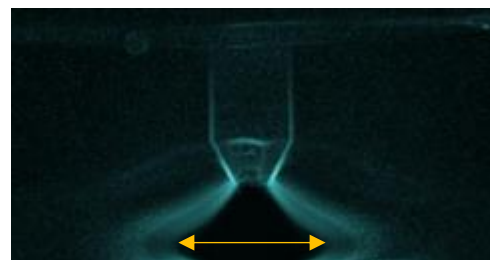


Obr. 25 Vliv úhlu špičky na šířku oblouku a SL [32]

Obecně platí, že „tupější“ elektrody, které mají větší úhel, tak poskytují delší životnost díky menšímu zatížení špičky vysokou teplotou, užší SL, při větší penetraci svaru a zvládají větší proudové zatížení. Příklad reálného svaru (obr. 26) a oblouku (obr. 27), při úhlu wolframové elektrody 60 °.

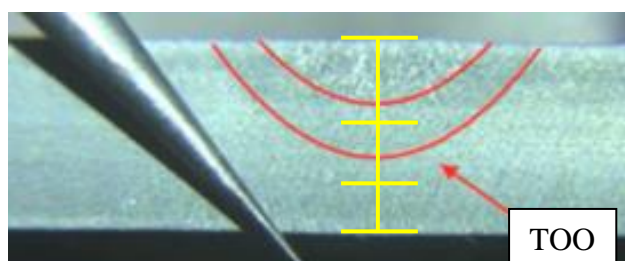


Obr. 26 Velikost svaru a TOO (60 °) [33]

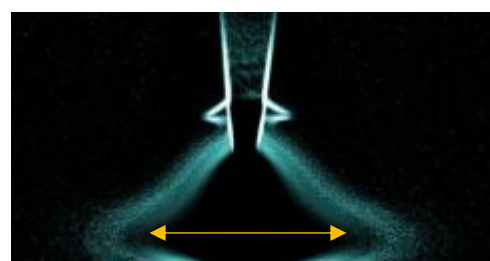


Obr. 27 Elektrický oblouk (60 °) [34]

Ostřejší elektrody s menším úhlem poskytují stabilnější oblouk, při nízké velikosti proudu, větší zatížení špičky wolframové elektrody a větší tavnou lázeň, při menší hloubce průvaru. Příklad reálného svaru (obr. 28) a oblouku (obr. 29), při úhlu elektrody 15 °.



Obr. 28 Velikost svaru a TOO (15 °) [33]

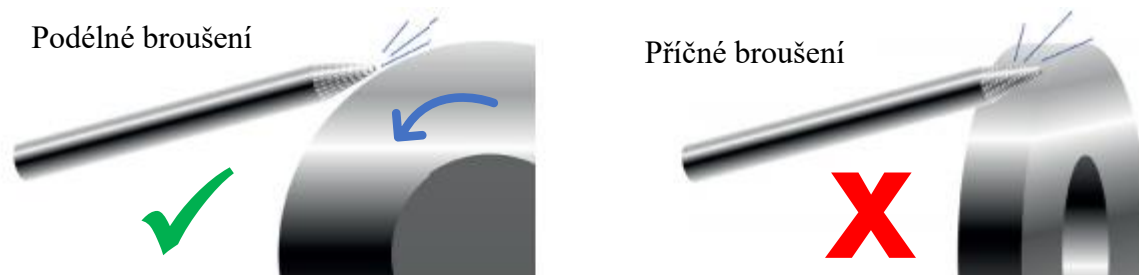


Obr. 29 Elektrický oblouk (15 °) [34]

Na obr. 26, 27, 28, 29 lze vidět správnost tvrzení o velikosti tavné lázně a elektrického oblouku. Pro srovnání byla do obr. 26 a 28 zanesen žlutý osový kříž, kde lze vidět, že při nabroušení elektrody na úhel 60 ° dochází k hlubšímu průvaru a TOO je větší. Naopak při nabroušení elektrody na 15 ° je svár mělký, dochází k menšímu průvaru a TOZ je menší. Na obr. 27 a 29 lze pozorovat, jak se elektrický oblouk chová se změnou nabroušení wolframové elektrody. Pro experiment byly použity konstantní napětí, proud, vzdálenost elektrody od ZM, množství plynu apod.

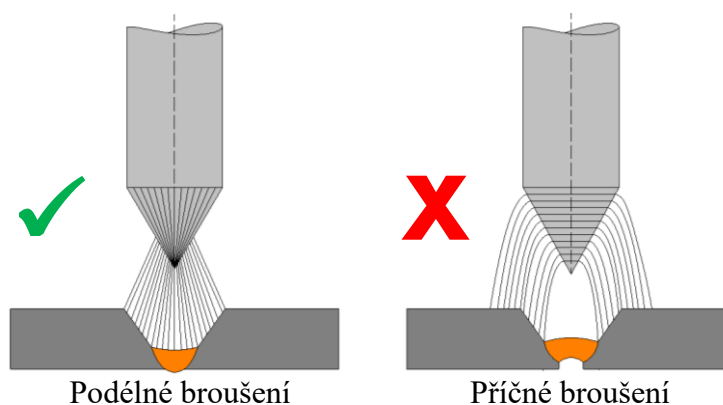
Jak již bylo zmíněno, během navařování dochází ke střídání hladin proudu. Spodní hladina proudu je velmi nízká (např. 3 A) a mohlo by dojít ke špatné stabilitě a hoření oblouku. Z tohoto důvodu se pro navařování tvářecích nástrojů používají ostré úhly wolframových elektrod. Brousí se na úhel 15 – 20 °. Další výhodou broušení ostrého úhlu je lepší zapalování oblouku.

Nejdůležitější zásadou, při broušení wolframových elektrod je to, že se elektroda musí brousit podélně. Elektrodu je třeba orientovat tak, aby výsledné vzniklé rýhy byly v rovnoběžné s osou elektrody. Broušení elektrod příčně má negativní vliv na stabilitu a tvorbu elektrického oblouku. Ukázka podélného a příčného broušení lze vidět na obr. 30.



Obr. 30 Podélné a příčné broušení [32]

Wolframové elektrody jsou vyráběny s podélnou strukturou zrna. Při příčném broušení dochází broušení proti zrn, což je nevhodné. Pokud je elektroda broušena příčně, elektrony musí překonávat brusné stopy a může dojít k vyламování částic W, které se dostanou do SL. Oblouk nezačíná na špičce, ale dříve před špičkou, rozprostírá se a je širší. Důsledkem je přehřívání elektrody a její rychlejší opotřebení. Podélným broušením jsou elektrony vedeny stabilně a dostanou se bez větších obtíží ke konci W elektrody. Elektrický oblouk hoří rovně, je úzký, koncentrovaný a stabilní. Elektroda má delší životnost, protože je vystavena menšímu tepelnému šoku. Na obr. 31 lze vidět, jak se mění oblouk po podélném a příčném broušení.



Obr. 31 Vliv broušení elektrody na oblouk [35]

Při broušení elektrody na požadovaný úhel je třeba si dát pozor, aby byla špička opravdu vystředěna v ose elektrody. Pokud by byla elektroda excentricky mimo osu, vzniká nebezpečí nestabilního oblouku. Je to taky jeden z důvodů, proč by neměly být wolframové elektrody broušeny ručně.

Dalším důležitým parametrem broušení W elektrod je drsnost povrchu. Čím menší drsnosti povrchu je dosaženo při broušení elektrody, tím vyšší bude její životnost a oblouk bude hořet stabilněji. Z tohoto důvodu je nezbytné používat brusné kotouče s co nejmenší zrnitostí. Nejvhodnější jsou diamantové kotouče a neměl by být používán na broušení čehokoliv jiného. Důvodem je zabránění vnesení nečistot na W elektrodu a tím i do SL. Pro broušení W elektrod je nejvhodnější využívat brusky s aretačním zařízením na obr. 32. Nastavením požadovaného úhlu, mírným přitlakem a pootáčením elektrody dojde k jejímu nabroušení.



Obr. 32 Bruska na WE [36]

#### 4. SVAŘITELNOST NÁSTROJOVÝCH OCELÍ [23], [37], [38], [39], [40], [41]

Jedná se o komplexní charakteristiku (technologickou vlastnost), která vyjadřuje vhodnost materiálu vytvořit svarový spoj s požadovanými vlastnostmi (mechanické, fyzikální a chemické). Cílem je dosažení vysoké jakosti, spolehlivosti a životnosti návaru. Tato vlastnost se pro různé druhy oceli (materiály) liší. Faktory ovlivňující svařitelnost jsou:

- materiálové – (chemické složení, metalurgie výroby a tváření, struktura ZM a PM, TZ),
- technologické – (metoda svařování, PM, průměr drátů, parametry svařování, ochranný plyn, způsob kladení svarových housenek, předehřev, interpass),
- konstrukční – (počet, tvar a velikost návarů, velikost ZM, příprava návarové plochy).

Svařitelnost nástrojových ocelí nelze tak jednoduše specifikovat, jako například u konstrukčních a nízkolegovaných ocelí. Liší se především vyšším obsahem uhlíku a legujících prvků, která navařování znesnadňují. Neexistuje žádný vztah, který by určil teplotu předehřevu, nebo uhlíkový ekvivalent na základě kterého lze určit svařitelnost oceli. Z toho důvodu vychází posuzování svařitelnosti NO individuálně, v závislosti na podílu a vlivu jednotlivých prvků:

Uhlík (C) – je obsažen ve všech ocelích a výrazně ovlivňuje svařitelnost ocelí. S rostoucím obsahem uhlíku vzrůstají mechanické vlastnosti  $R_m$ ,  $R_e$ , tvrdost oceli a otěrovzdornost. Zároveň se ale snižují plastické vlastnosti a houževnatost oceli. Díky rozpustnosti uhlíku v austenitu se podílí, při rychlém ochlazení na vzniku martenzitické struktury. S rostoucím obsahem uhlíku, vzrůstá tvrdost martenzitu. Z výše uvedených vlastností je zřejmé, že jeho vysoká přítomnost je negativní pro svařitelnost, protože díky němu dochází ke vzniku velkých pnutí v materiálu a tvorba trhlin. Je ovšem mimo jiné prvky důležitým faktorem pro dosažení vysoké tvrdosti finálního návaru. V ideálním případě by ho nemělo být v oceli více, jak 0,25 % C. V případě nástrojových ocelí je jeho obsah v rozmezí 0,2 – 2 % C.

Chrom (Cr) – jedná se o prvek zvyšující prokalitelnost oceli, díky rozpouštění karbidů v austenitu. Společně s uhlíkem a dalšími leg. prvky má schopnost tvořit karbidy typu  $M_{23}C_6$  a  $M_7C_3$ , které dosahují vysoké tvrdosti. Sice zvyšuje prokalitelnost, ale zároveň přispívá ke snížení rozpustnosti uhlíku v austenitu, díky snížení teplot  $M_s$  a  $M_f$ . Křivka  $M_f$  se posouvá bod mrazu a přeměna austenitu v martenzit není úplná.

Mangan (Mn) – je využíván k dezoxidaci oceli a k vázání síry, tvorbou MnS. Zvyšuje mez kluzu a mez pevnosti, aniž by do určité míry nebyla snížena plasticita. V NO je příliš velký obsah manganu nežádoucí, protože stabilizuje zbytkový austenit a snižuje hodnotu tvrdosti. Spolu s uhlíkem zvyšuje zakalitelnost a prokalitelnost oceli, což přispívá ke vzniku trhlin.

Molybden (Mo) – má podobné vlastnosti, jako W. Zvyšuje odolnost proti opotřebení, díky precipitaci karbidů typu  $M_2C$ . Pokud je molybden rozpuštěn v tuhém, přispívá k substitučnímu zpevnění oceli a zvýšení tvrdosti oceli. Zvyšuje prokalitelnost a odolnost proti popouštění. Snižuje začátek a konec martenzitické přeměny. Zvyšuje stabilitu martenzitu, což znamená, že posouvá jeho rozpad k vyšším popouštěcím teplotám. Do 1 % zvyšuje svařitelnost.

Vanad (V) – Zvyšuje mez pevnosti, mez kluzu a při svařování snižuje velikost TOZ. Tvoří karbidy typu MC ( $M_4C_3$ ) vyznačující se vysokou tvrdostí. Karbidy vanadu jsou při austenitizaci rozpuštěny jen částečně a zabraňují růstu austenitického zrna.

Křemík (Si) – stabilizuje delta ferit, z tohoto důvodu je nepříznivý pro svařování. Jedná se spolu s manganem o dezoxidační činidlo. Zvyšuje tvrdost, pevnost a mez kluzu. Nepříznivě působí na hrubnutí zrna. Má nepříznivý vliv na vznik trhlin během navařování.

Nikl (Ni) – slouží pro zlepšení plastických vlastností (houževnatosti) a zvýšení prokalitelnosti. Zajišťuje spolu s dalšími austenitotvornými prvky austenitické struktury. Má za



následek zvyšování podílu zbytkového austenitu. Z důvodu vysoké plasticity a houževnatosti se používá, jako přísada do materiálu mezivrstev. Zvyšuje pevnost a houževnatost.

Síra (S) – nežádoucí prvek, který tvoří sulfidy a vměstky. Zhoršuje plastické vlastnosti (houževnatost). Negativně ovlivňuje svařitelnost a způsobuje riziko vzniku trhlin.

Fosfor (P) – má negativní vliv na svařitelnost a z tohoto důvodu musí být obsah co nejnižší. Snižuje vrubovou houževnatost.

Prvky a jejich vliv na oblasti (tuhý roztok):

- Austenitotvorné prvky – C, Mn, Ni
- Feritotvorné prvky – Si, Cr, Mo, V

#### 4.1 Předehřev a interpass [22], [42], [43], [44]

Jedná se o důležitý a často podceňovaný faktor, při navařování NO. Při renovacích tvářecích nástrojů z nástrojové oceli je podstatné vždy zařazovat předehřev bez ohledu na velikost součásti. Je tomu z důvodu velkého obsahu uhlíku a legujících prvků. Nevýhodou nástrojových ocelí je obvykle jejich nízká tepelná vodivost oproti nelegovaným, nebo nízkolegovaným ocelím. Důsledkem nízké tepelné vodivosti může docházet k ohřátí povrchu nástroje a trvá déle, než teplota prostoupí k jádru. Tím může dojít k tepelnému šoku a tvorbě trhlinek v ZM. Dalším vneseným teplem dochází k rozšiřování trhlin, a to má vliv na životnost nástroje a návaru. Dochází tím také k velkému pnutí v materiálu a opět šíření trhlin, až k delaminaci návaru.

Předehřev nelze spočítat, jako u uhlíkových ocelí a jeho hodnota je známa z praxe. Teplota předehřevu ZM, který je v zušlechtném stavu je 250 °C. Díky tomu se zabrání tepelnému šoku a zmenší se TOO. Teplota by po celou dobu navařování, než je dokončen návar, neměla klesnout pod teplotu předehřevu.

Ideálním zařízením, pro předehřev je elektrická pec s regulací teploty uvnitř. Před vložením dílu do pece je třeba se ujistit, že neobsahuje nečistoty (maziva, olej).

Dalším důležitým mezníkem je tzv. teplota interpass. V tomto případě to znamená, že teplota základního by neměla přesáhnou poslední teplotu popouštění ZM, aby nedocházelo ke snížení tvrdosti a degradování podkladové oceli. Může to způsobovat oxidaci a vznik pórů.

Kontrola teploty předehřevu a interpass by měla být po celou dobu navařování kontrolována například bezdotykovým teploměrem. Je nutno si uvědomit, že je třeba dosáhnout poměrně vysokých teplot, aby byl PM nataven a zároveň, aby nedošlo ke snížení mechanických vlastností ZM. Docílit kompromisu mezi všemi těmito parametry a dosáhnout tak vysoké jakosti návaru není vždy tak jednoduché. Je třeba mít dobře kvalifikovaného svářeče.

V příloze 3 lze vidět technologický postup opravy z hlediska předepsaných teplot. Postup je sice zhotoven pro ocel 1.2379, ovšem postup opravy je zde stejný.

#### 4.2 Příprava místa a provedení návaru [22], [42], [43],

V první řadě je třeba zjistit druh navařovaného ZM a stav, ve kterém se nachází – jestli je tepelně zpracován, nebo je bez TZ.

Pokud by byl navařován ZM bez zušlechtění, tak je možno využít větších teplot předehřevu, navařit materiál například PM Cronitex RC 62 a následně díl zakalit a popustit. Důvodem může být například špatně obrobená plocha.

Druhou možností je navařovat tvářecí nástroje po defektu, kdy struktura ZM je již zušlechtěna a je třeba nástroj rychle opravit, obrobít konturu (tvar) nástroje do požadované geometrie a nasadit zpět do výroby. V praxi se tento druh renovace provádí častěji. Oprava může probíhat opět dvojím způsobem:

- S využitím mezivrstvy – používá se tehdy, pokud je kladeno více, jak 3 housenky
- Bez využití mezivrstvy – poškození nástroje není tak razantní

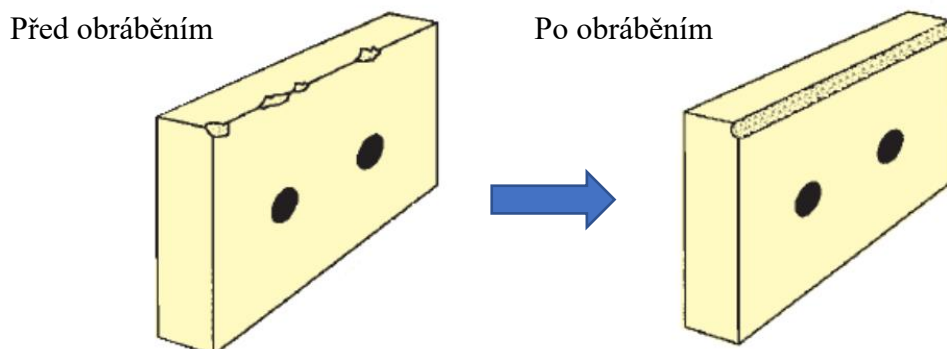
Při spojování základního materiálu a přídavného materiálu není vhodné použít spojení tzv. „tvrdé na tvrdé“. Oba materiály obsahují poměrně vysoké množství uhlíku a v přechodové oblasti může dojít ke vzniku velkého pnutí a trhlin. Z tohoto důvodu je vhodné využívat austenitické PM, který zaručí vysokou houževnatost a tažnost. Při spojení dochází k difuzi mezivrstvy do ZM. Riziko trhlin je tímto spojem zcela eliminováno. Další výhodou je, že austenit je druh PM, který se dá aplikovat prakticky na jakýkoliv druh oceli a bude dosaženo kvalitního spojení. Následně na něj lze bez větších problémů navařit finální tvrdou housenku, která bude dobře metalurgicky spojena se ZM. Způsob kladení housenek lze vidět na obr. 33.



Obr. 33 Renovované místo [45]

Správná příprava místa hraje v navařování také velmi významnou roli. Poškozený, odštípnutý, nebo deformovaný materiál je nutno odstranit obráběním, či obroušením. Příklad obrábění vyštípnuté střížné hrany lze vidět na obr. 34. Je také potřeba zakulatit hrany, protože zde dochází ke koncentraci tepla, vzniku pnutí a iniciaci trhlin.

Není přesně specifikováno, jaká část, resp. kolik poškozeného místa je třeba odstranit (hlavně v případě několikanásobné opravy). Je to čistě záležitost uvážení obsluhy. Je vhodné, aby byla dosedací plocha návaru dostatečná, aby výsledný návar měl „na čem držet“.



Obr. 34 Odstranění vyštípnuté hrany [45]

### 4.3 Přídavné materiály [46], [47], [48], [49], [50], [51]

Přídavné materiály jsou dodávány firmou Welco s.r.o. v podobě drátů s přísadami legujících prvků. Dráty jsou dodávány v délkách 500 a 1000 mm. Z hlediska manipulace s drátem jsou vhodnější délky drátů 500 mm. Průměry drátů se pohybují od 0,8 až 3,2 mm, přičemž vhodnější je v případě technologie navařování mikro – TIG využívat větších průměrů (např.  $\varnothing$  2 mm).

- Cronitex 220 – je vysoce legovaný PM s feriticko – austenitickou (duplexní) strukturou. Využívá se, jako mezivrstva, při navařování tvářecích nástrojů z NO. Je to velice houževnatý materiál, který netvoří trhliny.

Používá se pro svařování (navarování) jinak těžce svařitelných feritických a martenzitických chromových ocelí, HSS a jiných vysoce legovaných ocelí. V tab. 10 lze vidět chemické složení drátu. Mechanické vlastnosti drátu jsou v tab. 11.

Tab. 10 Chemické složení PM Cronitex 220 [46]

C [%]	Cr [%]	Mn [%]	Mo [%]	Ni [%]	Si [%]	V [%]	Fe [%]
0,1	30,5	1,9	0,5	10	0,6	0,3	Zbytek

Tab. 11 Mechanické vlastnosti Cronitex 220 [47]

<b>Pevnost v tahu</b>	840 MPa
<b>Tažnost</b>	25 – 33 %
<b>Tvrдость po navaření</b>	220 HB (235 HV)
<b>Tvrдость po zpevnění</b>	280 HB (29,2 HRC / 295 HV)

- Cronitex RC 60 – svařovací drát s obsahem legujících prvků Cr, Mo, V a stabilizujícími prvky (Ce, Nb/Cb, B, Ti → 0,3 %) pro tvrdé povlakování na nástroje pracující za studena, které obsahují více, než 5 % Cr. Je tzv. samokalitelný na vzduchu a po procesu navařování dosahuje až 61 HRC. Jedná se o houževnatý materiál pro stálost břitu, lze dále TZ stejně, jako ZM. Možnost nitridovat, povlakovat a pochromovat. Podíl chemického složení lze vidět v tab. 12 a mechanické vlastnosti v tab. 13.

Tab. 12 Chemické složení PM Cronitex RC 60 [48]

C [%]	Cr [%]	Mn [%]	Mo [%]	Si [%]	V [%]	Fe [%]
0,4	7,2	1,3	1,8	0,4	0,3	Zbytek

Tab. 13 Mechanické vlastnosti Cronitex RC 60 [49]

<b>Tvrдость po navaření 2 vrstev</b>	59 HRC (680 HV)
<b>S mezivrstvou</b>	61 HRC (720 HV)

- Cronitex RC 63 – vysoce legovaný navařovací PM. Svarový kov je v martenzitické oblasti velmi houževnatý a dobře drží břit. Lze aplikovat chemicko – tepelné zpracování v podobě nitridace. Vhodný pro rychlé renovace zušlechťených vylomených střížných hran. V tab. 14 je podíl chemického složení v drátu a tab. 15 mechanické vlastnosti.

Tab. 14 Chemické složení PM Cronitex RC 63 [50]

C [%]	Cr [%]	Mn [%]	Mo [%]	Si [%]	V [%]	Fe [%]
0,6	6,8	0,5	1,7	1	0,6	Zbytek

Tab. 15 Mechanické vlastnosti Cronitex RC 63 [51]

<b>Tvrдость po navaření</b>	59 – 62 HRC (680 – 750 HV)
<b>Po zakalené v oleji 1070 °C</b>	60 – 63 HRC (700 – 780 HV)
<b>Žihání 850 °C / 4 hod.</b>	260 HB (26,4 HRC / 275 HV)

V závorkách jsou hodnoty dle převodních tabulek mezi tvrdostmi převedeny na Rockwelly a Vickerse, pro lepší orientaci. Převedená hodnota není přesná a lépe vypovídající je původní naměřená hodnota. Do přepočtu nejsou zaneseny všechny vlivy, jako je například velikost kuličky, délka zatížení, velikost zatížení apod.)

Materiálové listy navařovacích drátů lze nalézt v přílohách 4, 5, 6.

## 5. METODY ZKOUŠENÍ NÁVARU

### 5.1 Způsob přípravy metalografického vzorku [52], [53], [54]

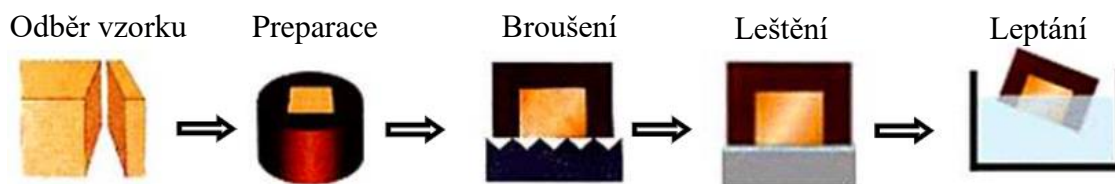
Ještě před samotným zkoumáním struktur je důležitým parametrem odběr a příprava metalografického výbrusu, protože na něm záleží veškeré další posuzování struktur, tvrdostí apod. V první řadě nesmí, při řezání vzorků dojít k tepelnému ovlivnění, což by vedlo k fázovým přeměnám a možným plastickým deformacím v materiálu. Velikost vzorku je omezena pouze možností velikostí tablety. Obvykle se volí 1 až 2 cm<sup>2</sup>. V některých případech je nutno odebrat více vzorků z odebíraného místa (příliš velká oblast pro jeden vzorek, zpřesněné výsledků aj.). Při vyšetřování svařovaného (navářovaného) místa je třeba odebrat vzorky z místa návaru, tepelně ovlivněného místa a základního materiálu. Ve většině případů se pro nařezání vzorků využívá kotoučových pil s rozbrušovacími kotouči. Rezným prostředkem jsou Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, SiC, diamant uložený v bakelitovém, nebo kovovém pojivu. Nejčastějším dodavatelem přístrojů a kotoučů je firma Struers.

Vzorky jsou označeny a dořezány na požadovaný rozměr, pro následné zalisování/zalití do epoxidu, nebo pryskyřice, které se samovolně vytvrdí. Zalévání vzorku se, může provádět za studena, nebo za tepla. Zalívání za studena se používá, pokud nechceme ovlivnit strukturu. Využívají se metylmetakrylátové, nebo epoxidové pryskyřice. Nařezaný díl se vloží na sklo s formou a zalije se. Po ztuhnutí je připraven pro následné broušení. Častěji používaným způsobem je zalisování vzorku za zvýšené teploty a tlaku. Tento způsob se používá všude tam, kde nehrozí nebezpečí ovlivnění vzorku teplotou a tlakem. Pryskyřice, které se využívají pro zalisování jsou akrylové, epoxidové, nebo bakelitové.

Důležitým faktorem před konečným leptáním je broušení a leštění. Při broušení požadujeme, aby byl povrch rovnoměrně drsný, rovný a aby nedošlo při broušení ke změně struktury. Nežádoucím jevem při broušení a leštění je plasticky zdeformovaná vrstva. Její tloušťka je závislá na parametrech dokončovacího procesu. Nejvíce rozšířeným a používaným procesem je broušení za mokra. Proces je rychlý, je zde zajištěna opakovatelnost a díky chlazení vodou je menší tepelně ovlivněná struktura. Při broušení jsou brusná zrna odlamována a vodou jsou plynule vyplavována z brusného procesu. Pro broušení se nejdříve začíná na hrubých kotoučích a postupně se přechází k jemnějším brusným papírům. Na místo brusného kotouče lze využít i past, nebo kapalných suspenzí. Jako brusivo se používají karbidy křemíku, boru, nebo přírodního korundu aj. Leštění je využíváno k odstranění rýh po broušení a dosažení lesklého zrcadlového povrchu. Leštění může být prováděno mechanicky, elektrolyticky, chemicky, nebo kombinací všech předešlých metod. Při leštění nedochází k úběru materiálu, ale pouze ke srovnání reliéfu. Lešticí suspenze, nebo pasty se nanášejí na rotující kotouč (litinový, nebo kotouč potažený tkaninou).

Poslední operací v přípravě vzorku před následným pozorováním je leptání. Leptání se může provádět chemicky, elektrochemicky nebo tepelně. Každý materiál se chová rozdílně a je třeba pro něj zjistit způsob a dobu leptání. Jedná se o důležitou fázi, díky níž lze pozorovat, o jakou strukturu se jedná. Výběr leptadla je klíčový, protože špatným leptáním může být zvýrazněna nějaká struktura na úkor jiné. Leptadlo se tedy volí dle praxe a zkušeností (eventuálně dle doporučující literatury). Princip je založen na rozdílné rozpouštěcí schopnosti součástí struktury. Podle charakteru požadované struktury se dá rozdělit leptání na hranici zrn, plošné a barevné. Celý proces odběru a přípravy vzorku lze vidět na obr. 35.

Pokud je pryskyřice, do které je vzorek zalisován nevodivá, tak je třeba vzorek polepit vodivou páskou, nebo povrch vzorku nauhličit.



Obr. 35 Schéma postupu přípravy vzorku [54]

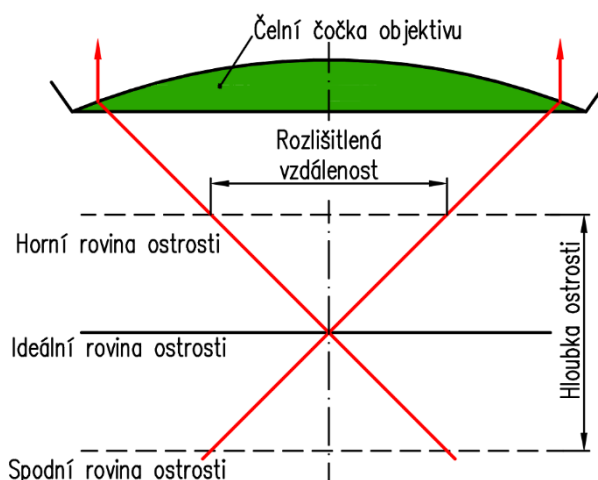
## 5.2 Způsob hodnocení makro a mikrostruktury [23], [52], [53], [55]

Řadí se mezi destruktivní zkoušení materiálu, kdy je odebrán vzorek příčně k ose svaru (návaru) a zkoumá se pod mikroskopem. Zkouška se dělí dle zvětšení, při kterém pozorujeme vzorek na makroskopickou a mikroskopickou.

Makrostruktura se hodnotí, při maximálně 50x zvětšení. Používá se pro hodnocení svaru, způsob kladení housenek, odmišení SK, velikost svaru a tepelně ovlivněné oblasti, spojení svarových housenek, vady atd. Vzorek by měl zahrnovat SK, TOO a ZM. Mikrostruktura se hodnotí při zvětšení více, jak 1000x (omezením je zvětšení mikroskopu). Kontrola se provádí na metalograficky zhotovených vzorcích. Cílem je zhodnocení strukturních fází, velikost zrn, hranice zrn, podíl vměstků, karbidů atd.

Nejběžněji se pro hodnocení makro a mikrostruktury využívá světelného mikroskopu. Ten k analýza využívá odraženého světla, které prochází soustavou vhodně poskládaných čoček. Mikroskop se skládá z objektivu a okuláru. Odražený paprsek prochází objektivem, kdy je zachycen skutečný, převrácený zvětšený obraz. Dále je zobrazen okulárem, který vytváří zvětšený, neskutečný obraz zkoumaného povrchu vzorku. Vzhledem k tomu je patrné, že při zvětšování je lepší využít objektivu, který přímo zvětšuje detaily povrchu zkoumaného vzorku než okuláru, který zvětšuje pouze obraz zachycený objektivem. Celkové zvětšení je dáno součinem zvětšení objektivu a okuláru.

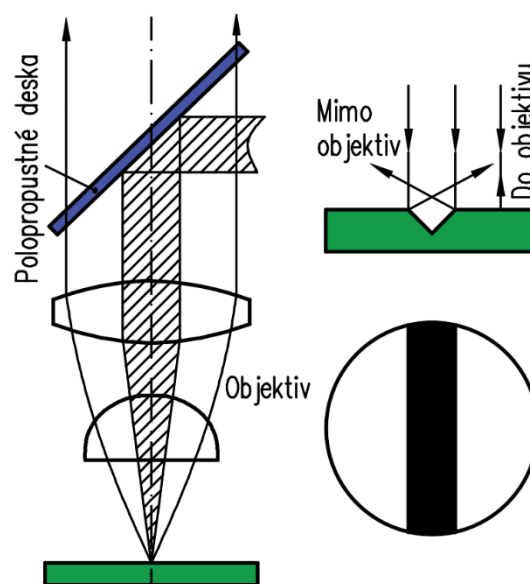
Rozlišovací schopnost mikroskopu ovlivňují další faktory (obr. 36), kterými jsou rozlišitelná vzdálenost (jedná se o vzdálenost dvou bodů na vyhodnocovaném vzorku, které jsou ještě rozlišitelné) a hloubka ostrosti (vzdálenost mezi horní a dolní rovinou, kdy je povrch ještě ostře viditelný).



Obr. 36 Rozlišitelná vzdálenost a hloubka ostrosti [52]

Pro zobrazení odražených paprsků světla slouží optické metody. Aby bylo dosaženo dobrého obrazu struktury a vysoké rozlišovací schopnosti je třeba správně připravit metalografický vzorek, což má vliv na množství a způsob odraženého světla. Mezi základní optické metody zobrazování struktur patří pozorování světlého a tmavého pole. Dalšími speciálními metodami

mohou být polarizované světlo, nebo fázový a interferenční kontrast. Metody zobrazování závisí na typu a možnostech mikroskopu. Pro základní princip světelného pole se používají různé konfigurace, které závisí na způsobu odrazu světla a jeho přijímání. Jednou z nich je metoda kolmého přímého osvětlení (obr. 37). Z externího zdroje je přiveden paprsek světla na polopropustnou deku, kde se odrazí do objektivu a soustřeďují se na pozorovaný vzorek. Pokud dojde ke kontaktu paprsku světla se vzorkem v zešikmeném místě (hranice zrn), tak dojde k menšímu odrazu světla a místo je zobrazeno tmavě. Naopak paprsek světla narazí kolmo na vzorek, tak dojde k většímu odrazu světla a tato místa jsou světlejší. Základ všech optických metod je v principu stejný, jen jsou rozdílné způsoby a druh přiváděného světla.



Obr. 37 Schéma osvětlení vzorku [52]

### 5.3 Mikroanalýza a struktura elektronový mikroskop [52, 53, 56, 57, 58, 59]

Elektronový mikroskop je zařízení, které pracuje podobně, jako světelný mikroskop, jen na místo fotonů využívá ke zkoumání elektrony. Díky tomu lze získat více informací o struktuře materiálu, a navíc i chemickém složení.

Elektronové mikroskopy jsou dvojí konstrukce:

- SEM, REM (skenovací/rastrovací elektronový mikroskop)
- TEM (transmisní elektronový mikroskop)

Rozdíl mezi SEM a TEM je v tom, že pro analýzu pomocí transmisního elektronového mikroskopu jsou využívány elektrony prošlé skrz vzorek. Po průchodu elektronů vzorky jsou teprve detekovány. Vzorky musí být oproti SEM pečlivě připraveny, musí být tenké, aby jimi elektrony dokázaly projít.

V případě SEM se využívá odražených elektronů, není zde taková náročnost na velikost a přípravu vzorku. Primární elektrony jsou emitovány elektronovým dělem a následně urychleny pomocí tzv. Wehneltova válce, na který je přivedeno urychlovací napětí. Celý proces probíhá ve vakuu z důvodu vychýlení, nebo zpomalení, při emitaci elektronů ke vzorku. Elektrony dále putují v soustavě elektromagnetických čoček a jsou fokusovány do úzkého svazku. Při styku primárních elektronů se vzorkem dochází k pružnému a nepružnému rozptylu.

Při pružné srážce ztratí elektrony jen malou část své energie vzhledem k energii dopadajících primárních elektronů. Během toho dochází pouze ke změně směru pohybu elektronů. Takto odražené elektrony se nazývají zpětně odražené elektrony (BSE). Zpětně odražené elektrony pochází na rozdíl od sekundárních elektronů z větší hloubky (desítky až stovky nm) a nesou informace topografického i materiálového charakteru. Čím vyšší je protonové číslo  $Z$ , tím se atomy zobrazují světleji.

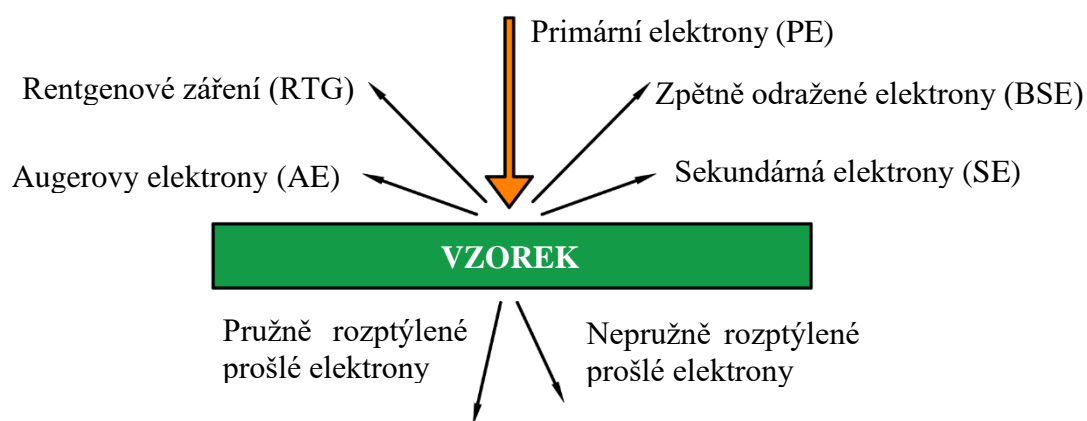
Pokud dojde k nepružnému rozptylu, předávají PE svou energii volným elektronům a elektronům vázaným v obalech atomů (obalová excitace). Díky tomu vznikají jevy, které se využívají pro tvorbu obrazu a chemickou mikroanalýzu s využitím RTG záření.

Při obalové excitaci interagují primární elektrony s vázanými elektrony atomů krystalové mřížky. Následkem toho dochází k uvolnění elektronů ze svých orbitalů. Ty přecházejí buďto do jiných energetických hladin, nebo mezi volné elektrony. Na volné místo se okamžitě posouvá atom z vyšší energetické hladiny. Díky tomu dochází k vyzaření fotonu

a charakteristickému RTG záření. Část elektronů vytržených z elektronového obalu může mít dostatečnou kinetickou energii stejnou, jako PE a může uvolnit další orbitální elektrony, nebo ji předat volným elektronům.

Část PE, které předaly při srážce svoji energii se pohybují v krystalické mřížce, jako tzv. volné elektrony. Tento prostor nemohou opustit, protože energetická bariéra na povrchu jim v tom zabraňuje. Tyto elektrony ovšem mohou vyrazit elektrony z vnějších hladin krystalické mřížky. Běžně se nazývají sekundárními elektrony (SE). Jsou generovány z malé hloubky vzorku (maximálně desítky nm). Nesou informace o topografii vzorku, díky čemuž se používají, pro analýzu povrchu, struktur, či měření rozměrů.

Když dochází k přeskoku elektronu z jedné energetické hladiny na druhou dojde k vyzáření rentgenového záření. Díky znalosti konfigurační energie jednotlivých prvků z periodické soustavy prvků, jsou dobře známy i rozdíly mezi jednotlivými energetickými hladinami ( $K\alpha$ ,  $L\alpha$  apod.), což je vhodné pro zjištění chemického složení (tzv. prvkového spektra) vyšetřovaného vzorku. Analýza, která slouží k určení chemického složení se nazývá EDS/WDS.



Obr. 38 Schéma interakce svazku elektronů se vzorkem [59]

#### 5.4 Způsob hodnocení tvrdosti [23], [52], [60], [61], [62]

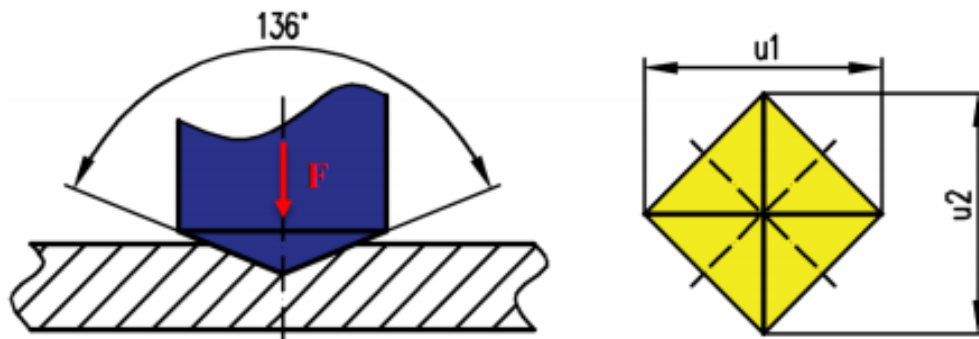
Tvrdot se hodnotí, jako odolnost materiálu, proti vtačování vnikajícího tělesa vlivem zkušebního zatížení působící kolmo ke zkoušenému povrchu po stanovenou dobu. Vnikající těleso je označováno, jako indentor a má přesně definovanou geometrii a tvar podle normy.

Jednou z nejvíce používaných metod pro hodnocení svaru (návaru) je zkouška tvrdosti podle Vickerse. Zkouška je definována normou ČSN EN ISO 6507-1. Indentorem je diamantový pravidelný čtyřboký jehlan s vrcholovým úhlem  $136^\circ$ . Tvrdot je měřena pomocí vtačení indentoru do zkušební vzorku po stanovenou dobu (10 až 15 s). Po odlehčení je změřena buď automaticky, nebo ručně délka dvou na sebe kolmých úhlopříček ve vzniklém vrypu a převede se na hodnotu tvrdosti dle Vickerse, označovanou zkratkou HV. Princip zkoušky dle Vickerse lze vidět na obr. 39. Dle hodnoty zkušebního zatížení se rozdělují na:

- 5 – 100 kg (HV5 – HV100) – zkouška tvrdosti, dle Vickerse,
- 0,2 – 5 kg (HV0,2 – HV5) – zkouška tvrdosti, dle Vickerse, při nízkém zatížení,
- 0,01 – 0,2 kg (HV0,01 – HV0,2) – zkouška mikrotvrdosti, dle Vickerse

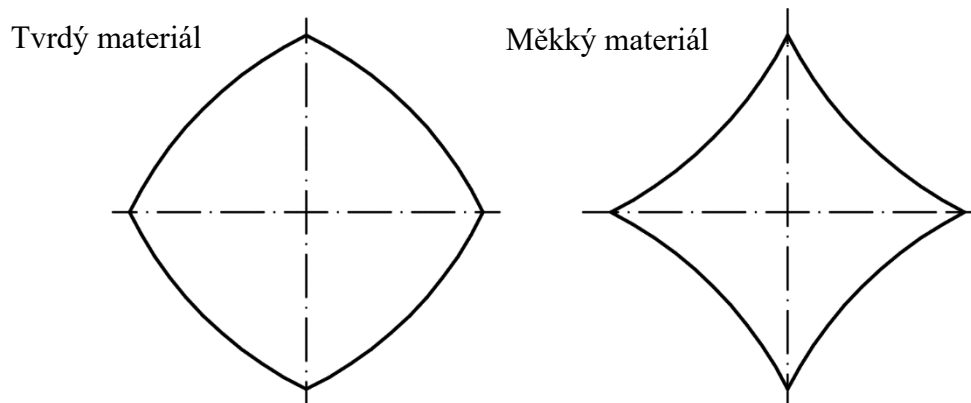
Zkouška tvrdosti se provádí obvykle při teplotách  $10 - 35^\circ\text{C}$ . Při řízených podmínkách se provádí, při teplotě  $23 \pm 5^\circ\text{C}$ . Zhotovený vtisk musí splňovat jistá kritéria, jako je délka úhlopříčky vtisku musí být v rozsahu  $0,02 - 1,4\text{ mm}$  a rozdíl mezi délkami nesmí převyšovat 5 %. Tloušťka zkušební tělesa musí být alespoň 1,5x délky úhlopříčky vtisku. Důležité je, aby po zatížení a odlehčení nebyla na zdaní straně zkušební tělesa viditelná deformace po

vtisku. Nevýhodou zkoušky je, že se provádí na hladkém a rovném povrchu, bez špíny a mazadel. Výhodou je, že před zhotovením vtisku můžeme najít ve struktuře přesné místo, kde chceme zjistit výslednou tvrdost a provést na tomto místě vtisk.



Obr. 39 Schéma zkoušky tvrdosti dle Vickerse [61]

Vlivem zpevnění materiálu může dojít na hranách vtisku uprostřed hrany nemusí být průmět vtisku přesně čtvercový. Pokud je materiál měkký, tak je tvar hrany vtisku konvexní, a naopak je tomu u tvrdých materiálů, kde je tvar hrany vtisku konkávní. Vliv zpevnění na tvar vtisku lze vidět na obr. 40.



Obr. 40 Vliv zpevnění na tvar vtisku [62]



## 6 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Cílem experimentální části je zhodnocení svařitelnosti nástrojové oceli navařováním pomocí technologie mikro – TIG. Jako navařovaný materiál byla vybrána nástrojová ocel Caldie. Ocel byla rozebrána již v teoretické části (kap. 2.3). Přídavné materiály, kterými byl renovován ZM jsou vybrány na základě nejčastějšího používání, při renovaci ve firmě PWO. Rozbor těchto přídavných materiálů byl opět proveden v teoretické části (kap. 4.3). Přídavné materiály využitě, pro renovaci jsou Cronitex 220, RC 60, RC 63.

Mezi další cíle je zhodnocení podmínek navařování, metalografické hodnocení návarů a zhodnocení možných finančních úspor a omezení provádění již neefektivních oprav. Kvalita návarových spojů je hodnocena destruktivními metodami, které zahrnují analýzu makro a mikrostruktury, hodnocení mikrotvrdosti dle Vickerse, struktura snímků ze SEM a chemická mikroanalýza EDS.

### 6.1 Zhotovení návarů technologií mikro – TIG [63], [64]

Navařování bylo realizováno ve dvou firmách. Důvodem bylo ověření správnosti postupu, při navařování a možnost porovnat výslednou jakost návaru. První návary byly zhotoveny ve společnosti Welco, kde byl předpoklad, že by měly být návary realizovány správně, dle postupu a výsledný návar by měl odpovídat, jako vzor, pro porovnání. Firma, ve které se běžně tato renovace nástrojů realizuje je společnost PWO.

Vzhledem ke vztahu dodavatel – zákazník je technologie navařování v obou případech stejná. Pro navařování se použito svařovací zařízení TTP 220 AC/DC (obr. 41) od společnosti Welco (Cronitex). Jedná se o speciální stroj, který je určen právě, pro opravy nástrojů a forem. Dovoluje navařovat ve dvou režimech, a to stejnosměrným proudem, nebo v impulzním režimu. V obou režimech je možnost regulovat proud vnášený do návarové lázně pomocí nožního pedálu, což dovoluje ovlivňovat jednak množství vneseného tepla do návaru a dobré formování SL. V tab. 16 lze vidět parametry svářečky TTP 220 AC/DC.



Obr. 41 Navařovací zařízení [63]

Tab. 16 Technické údaje svářečky [63]

Připojení	Jednofázové 230 V 50/60 Hz
Svařovací proud	3 – 220 A DC
Počet programů	9
Zatěžovatel	220 A – 40 % 160 A – 100 %
Výstup	DC / AC, pulzní proud, TTP
Rozměr V x Š x H	411 x 207 x 545 mm
Hmotnost přístroje	21,5 kg

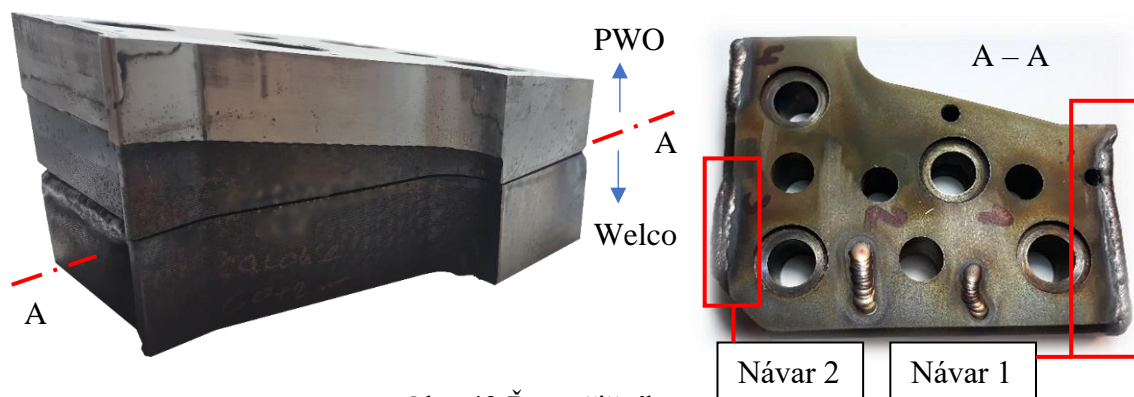
Jedno z pracovišť, na kterém je navařování realizováno je vidět na obr. 42. Součástí pracoviště je svářečka pro navařování TTP 220 AC/DC, bezdotykový teploměr, tlaková láhev s argonem, svařovací hořák, regulační pedál proudu a lupá se samostmívací kazetou.



Obr. 42 Pracoviště pro realizaci navařování

V případě navařování ve firmě Welco byly zhotoveny celkem dva vzorky. Jako základní materiál, pro navaření byla využita spodní část střížníku, jak lze vidět na obr. 43. Rozříznutí střížníku bylo realizováno technologií EDM (tzv. „drátořez“) z důvodu, co nejmenšího tepelného ovlivnění. Na ni byly potom na různých hranách provedeny dvě série návaru (návar číslo 1 a 2).

Ochranný plyn byl využit argon 4.6 vysoké čistoty. Průtok plynu, při navařování byl nastaven na 6 l/min. Všechny vzorky byly navařeny wolframovou elektrodou s označením WL 20 o průměru 1,6 mm s nabroušením na 15 – 20 °. Použitá dýza byla typu gas lense o průměrem 6 mm. Ve všech případech bylo využito tzv. vysokofrekvenčního zapalování. V obou případech byla hrana zbrušena lamelovým kotoučem s keramickým zrnem Welco 2065 s vnitřním chlazením, aby nedošlo k tepelnému ovlivnění.



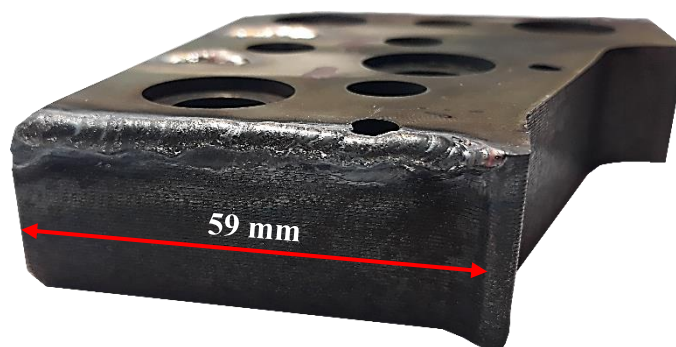
Obr. 43 Řez střížníku

- Návar číslo 1 (označení RC 60) – v tomto případě nebyl zařazen předehřev. Jako předehřev sloužila částečně první housenka v podobě mezivrstvy. Pro vytvoření původního tvaru byly navařeny celkem 3 housenky – první mezivrstva a dvě finální housenky. Parametry navařování lze vidět v tab. 17. Frekvence při navařování impulzním proudem byla 120 Hz, rozložení impulzů 50/50. Pro navařování byl využit v případě mezivrstvy drát o  $\varnothing 2$  mm a pro finální vrstvy (RC 60) byl využit drát o  $\varnothing 1,6$  mm. Mezi

jednotlivými navařeními byly jisté prodlevy, aby nedošlo k překročení teploty interpass. Teplota byla kontrolována bezdotykovým teploměrem. Během navařování nebyla překročena teplota popouštění materiálu. Na obr. 44 lze vidět zhotovený návar ve finální podobě.

Tab. 17 Podmínky navařování pro návar číslo 1

Druh vrstvy	Mezivrstva	1 vrstva	2 vrstva
Materiál vrstvy	Cronitex 220	Cronitex RC 60	Cronitex RC 60
Druh proudu	Stejnoseměrný	Stejnoseměrný	Impulzní
Maximální proud [A]	100	100	3/100
Efektivní proud [A]	55 – 60	50 – 55	$I_z = 50 – 52$ $I_I = 3$
Napětí [V]	10 – 12	10 – 12	10 – 12
Čas navařování [s]	85	51	$t_z = 33$ $t_I = 33$
Průměrná rychlost navařování [mm/s]	0,69	1,16	$v_z = 1,1$ $v_I = 1,1$



Obr. 44 Návar č. 1

- o Výpočet vneseného tepla, pro návar číslo 1:

Vnesené teplo mezivrstvou:

$$Q_M = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{10^3 \cdot v_s} = \frac{0,6 \cdot 58 \cdot 11}{10^3 \cdot 0,69} = 0,55 \text{ kJ/mm} \quad (3.1)$$

Vnesené teplo 1 housenkou:

$$Q_1 = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{10^3 \cdot v_s} = \frac{0,6 \cdot 52 \cdot 11}{10^3 \cdot 1,16} = 0,30 \text{ kJ/mm} \quad (3.1)$$

Vnesené teplo 2 housenkou:

Základní proud:

$$Q_Z = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{10^3 \cdot v_s} = \frac{0,6 \cdot 52 \cdot 11}{10^3 \cdot 1,1} = 0,31 \text{ kJ/mm} \quad (3.1)$$

Impulzní proud:

$$Q_I = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{10^3 \cdot v_s} = \frac{0,6 \cdot 3 \cdot 11}{10^3 \cdot 1,1} = 0,02 \text{ kJ/mm} \quad (3.1)$$

Celkový proud:

$$Q_2 = \frac{Q_Z + Q_I}{2} = \frac{0,31 + 0,02}{2} = 0,17 \text{ kJ/mm}$$

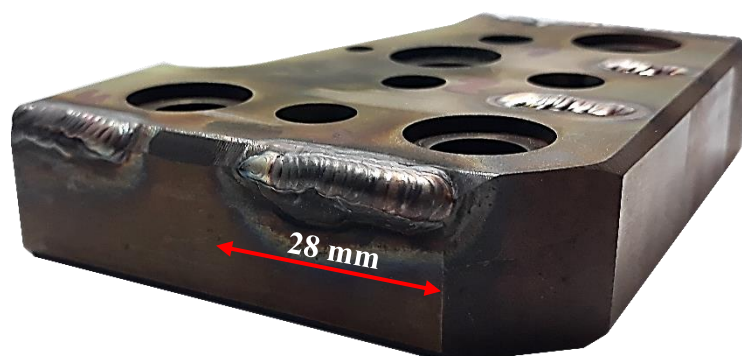
Vnesené teplo do ZM, pro návar číslo 1:

$$Q_V = \frac{Q_M + Q_1 + Q_2}{3} = \frac{0,55 + 0,30 + 0,17}{3} = 0,34 \text{ kJ/mm}$$

- Návar číslo 2 (označení RC 63) – byl zhotoven obdobně, jako návar číslo 1. Byly opět navařovány 3 housenky – první mezivrstva a dvě finální housenky. Rozdíl je ve finální vrstvě. Pro navařování byl použit Cronitex RC 63. Parametry navařování lze vidět v tab. 18.

Tab. 18 Podmínky navařování pro návar číslo 2

Druh vrstvy	Mezivrstva	1 vrstva	2 vrstva
Materiál vrstvy	Cronitex 220	Cronitex RC 63	Cronitex RC 63
Druh proudu	Stejnoseměrný	Impulzní	Impulzní
Maximální proud [A]	100	80/10	80/10
Efektivní proud [A]	55 – 60	$I_Z = 47 - 53$ $I_I = 10$	$I_Z = 47 - 54$ $I_I = 10$
Napětí [V]	10 – 12	10 – 12	10 – 12
Čas navařování [s]	38	$t_Z = 12$ $t_I = 12$	$t_Z = 12$ $t_I = 12$
Průměrná rychlost navařování [mm/s]	0,74	$v_Z = 1,2$ $v_I = 1,2$	$v_Z = 1,2$ $v_I = 1,2$



Obr. 45 Návar č. 2

- Výpočet vneseného tepla, pro návar číslo 1:

Vnesené teplo mezivrstvou:

$$Q_M = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{10^3 \cdot v_s} = \frac{0,6 \cdot 57 \cdot 11}{10^3 \cdot 0,74} = 0,51 \text{ kJ/mm} \quad (3.1)$$

Vnesené teplo 1 housenkou:

Základní proud:

$$Q_Z = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{10^3 \cdot v_s} = \frac{0,6 \cdot 50 \cdot 11}{10^3 \cdot 1,2} = 0,28 \text{ kJ/mm} \quad (3.1)$$

Impulzní proud:

$$Q_I = \frac{\eta \cdot I \cdot U}{10^3 \cdot v_s} = \frac{0,6 \cdot 10 \cdot 11}{10^3 \cdot 1,2} = 0,06 \text{ kJ/mm} \quad (3.1)$$

Celkový proud:

$$Q_2 = \frac{Q_Z + Q_I}{2} = \frac{0,28 + 0,06}{2} = 0,17 \text{ kJ/mm}$$

Pro housenku číslo 2 se odvíjelo navařování velmi podobně. Proto zde není dopočítána hodnota.

Vnesené teplo do ZM návarem číslo 2:

$$Q_V = \frac{Q_M + Q_1 + Q_2}{3} = \frac{0,51 + 0,17 + 0,17}{3} = 0,28 \text{ kJ/mm}$$

Pro návary zhotovené ve firmě PWO jsou sice známy parametry navařování, ale není známá přesná historie navařování (počet kladených housenek, délka a čas návary apod.). Z tohoto důvodu zde není uveden výpočet vneseného tepla, pro porovnání. V příloze 11 je k nalezení kompletní historie navařování střížníku ve firmě PWO. Střížník byl navařován celkem 6x na různých pasážích. Odlisoval celkem 102500 ks. Přesná historie počtu odlisovaných kusů, mezi jednotlivými renovacemi není bohužel známa.

## 6.2 Zhotovení metalografických vzorků [65]

Již v teoretické části bylo zmíněno, že příprava před samotným pozorováním vzorků je velmi důležitá a skládá se z několika kroků. Nedůsledností a nevěnování dostatečné pozornosti přípravě vzorků může dojít k nepřesnostem, nebo dokonce nesprávným výsledkům hodnocení. Prvním a důležitým krokem je místo nařezání vzorku. Vzorek musí být odebrán na správném místě a takovým způsobem, aby obsahoval celý objem toho, co chceme pozorovat (SK, místa promísení, TOO a část ZM). Nařezání vzorů probíhalo na metalografické pile Struers Labotom 5. Kotouč, který byl využit k dělení vzorků byl Struers 50A25 s rozměry  $\varnothing 250 \times 1,5 \times 32$  mm. Celý proces řezání probíhal za intenzivního chlazení emulzí z důvodu možného ovlivnění vzorku teplem vznikajícím, při řezném procesu. Vzorky byly naděleny kolmo na návarovou housenku. Na obr. 47 lze vidět místa odběrů vzorků.

Dalším krokem je zalisování nařezaných vzorků do pryskyřice za teploty a tlaku přístrojem Ecopress 100, který lze vidět na obr. 46. Místa dotyku byly potřeny separátorem, vzorek byl vložen do lisovacího zařízení a zasypán pryskyřicí v podobě granulátu. Množství granulátu je dáno odhadem podle velikosti vzorku a typu pryskyřice. V případě přípravy vzorků v práci byly využity dva druhy pryskyřice. První bílá pryskyřice s názvem Superpont, která se moc neosvědčila. Následně byly některé vzorky předělány do epoxidové černé pryskyřice. Průměr tablety byl 30 mm a je dán velikostí lisovací komory. Parametry, které byly využity pro zalisování vzorků jsou vidět v tab. 19 a 20.



Obr. 46 Lisovací stroj Ecopress 100 [65]

Tab. 19 Bílá pryskyřice Superpont

Doba ohřevu [min]	1
Teplota ohřevu [°C]	150
Lisovací tlak [bar]	240
Rychlost ochlazování	nízká

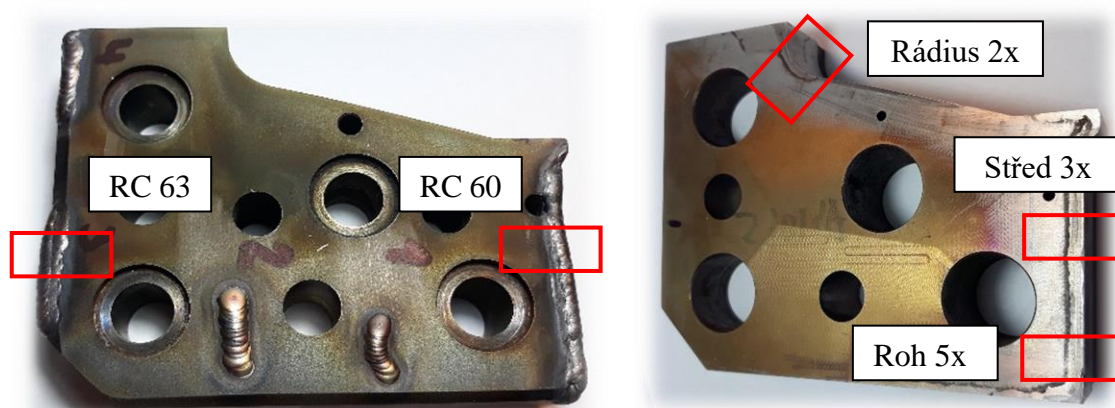
Tab. 20 Černá epoxidová pryskyřice

Doba ohřevu [min]	3
Teplota ohřevu [°C]	190
Lisovací tlak [bar]	240
Rychlost ochlazování	nízká

Broušení a leštění vzorků bylo provedeno na zařízení Struers LaboPol – 5. Byla využita sada různých brousících kotoučů v kombinaci s vodou, nebo pastami a suspenzemi. Pro každý kotouč je specifická přítláčná síla, otáčky brousícího kotouče a hlavy, ve které jsou upnuty vzorky. Brusné kotouče jsou upevňovány na magnetický stůl. Při broušení na mokro byla vystřídána sada kotoučů od firmy Struers označována, jako Piano MD. Brusným zrnem je v případě těchto kotoučů karbid křemíku (SiC) v různých zrnitostech 80, 220, 800, 1200. Tyto kotouče byly přímo použity na broušení vzorků v tomto pořadí, jak jdou po sobě. Před použitím kotoučů se zrnitostí 800 a 1200 je vhodné kotoučem pod vodou umýt a vyfoukat stlačeným vzduchem. Jako odvod brusných zrn a chladicí médium byla použita voda.

Dalším procesem k dosažení zrcadlového lesku je leštění. Kotouče jsou zde používány, jako nosiče past a suspenzí, které jsou na ně postupně, při procesu nanášeny z dávkovače. Nejdříve byla použita suspenze o zrnitosti 9  $\mu\text{m}$  s textilním kotoučem MD – NAP. Následně byly použity kotouče s diamantovou suspenzí zrnitosti 3  $\mu\text{m}$  (kotouč MD – DAC) a 1  $\mu\text{m}$  (kotouč MD – DUR). Postup, který je uveden v textu platí obecně a některé procesy mohou probíhat i víckrát za sebou, pro dosažení lepší kvality povrchu (především, při broušení materiálů dosahujících vysoké tvrdosti). Pro elektronovou mikroskopii bylo zařazeno ještě tzv. mechanicko – chemické doleštění pomocí koloidní suspenze OPS (mírné leptací účinky).

Poslední operace v přípravě metalografických vzorků je proces leptání, který probíhá máčením vzorku v Petriho misce pomocí vhodného leptadla. Následně na to se začne na vzorku tvořit reliéf, což je známka leptání. Leptadla jsou míchána v různých poměrech a jsou to většinou koncentrované kyseliny. Pro leptání vzorků byly využity dva druhy leptadel. Nejdříve byla použita Vilella – 1 g kyseliny pikrové ( $\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$ ), 5 ml kyselina chlorovodíková (HCl), 100 ml ethanolu ( $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ ) a vzorek byl ponořen po dobu 7 – 8 s. Následně byl použit Nital – 3 % roztok kyseliny dusičné v ethanolu po dobu 5 s. Na obr. 48 lze vidět vyhotovené metalografické vzorky.



Obr. 47 Místa odběru vzorků



Obr. 48 Zhotovené metalografické vzorky

### 6.3 Vyhodnocení makro a mikrostruktury [9], [64]

Struktura vzorků byla sledována pomocí metalografického mikroskopu Neophot 32 Carl Zeiss, který lze vidět na obr. 49. Na mikroskopu jsou možná pozorovat zvětšení 25,6x až 1000x. Je klasické konstrukce a vzorek je pozorován ze spodu.



Obr. 49 Mikroskop Neophot 32

Pro lepší orientaci a jednodušší identifikaci jednotlivých míst v oblasti návaru je zhotovena legenda:

- A – Základní materiál (ZM),
- B – tepelně ovlivněná oblast (TOO),
- C – oblast promísení ZM a mezivrstvy,
- D – mezivrstva (MEZ),
- E – oblast promísení mezivrstvy a finálního návaru,
- F – finální návar (SK).

Jako první budou hodnoceny snímky makrostruktury z firmy Welco. Na obr. 50, 51 a 52 lze pozorovat návar s mezivrstvou a dvěma finálními housenkami. V obou případech nebyl zařazen přehřev, ovšem ten byl částečně zastoupen navařováním první mezivrstvy. Na první pohled v obou případech nelze přesně identifikovat přesné kladení housenek.

Na obr. 50 byl, jako vrchní návar použit PM RC 60. Šířka TOO je přibližně 2 mm, což je vzhledem k použité technologii poměrně dost velká tepelně ovlivněná oblast. Nahoře lze vidět škrábance způsobené nedůsledným broušením, při vyhotovování vzorku. Z hlediska vad jsou ve vrchní části pravděpodobně dvě bubliny, nebo staženiny. V modře označené oblasti lze vidět rýhu přes návar. Jedná se o světlejší místo a bude se pravděpodobně jednat o odtavení, nebo dotyk wolframové elektrody od hořáku, při kladení housenek.

Na obr. 51 a 52 byl, jako finální vrstva použit PM RC 63. Šířka tepelně ovlivněné oblasti je zde menší a její velikost je přibližně 1 mm. Oproti předešlému návaru je její velikost menší z důvodu využití impulzního proudu, což dokazuje i výpočet vneseného tepla. V oblasti návaru byly nalezeny jen dvě drobné mikrostaženiny umístěny ve finální vrstvě. Na výslednou funkci nástroje nemají žádný vliv.

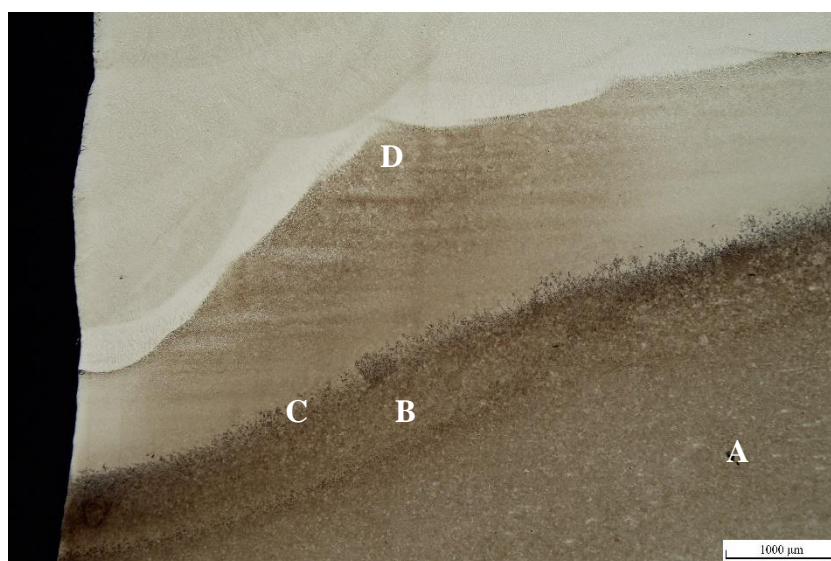
V obou případech lze vidět, že dochází k dobrému spojení návarových housenek a nevznikají žádné trhliny, nebo nedokonalé spojení housenek v oblastech promísení.



Obr. 50 Makrostruktura RC 60, zvětšení 25,6x



Obr. 51 Makrostruktura RC 63, zvětšení 25,6x

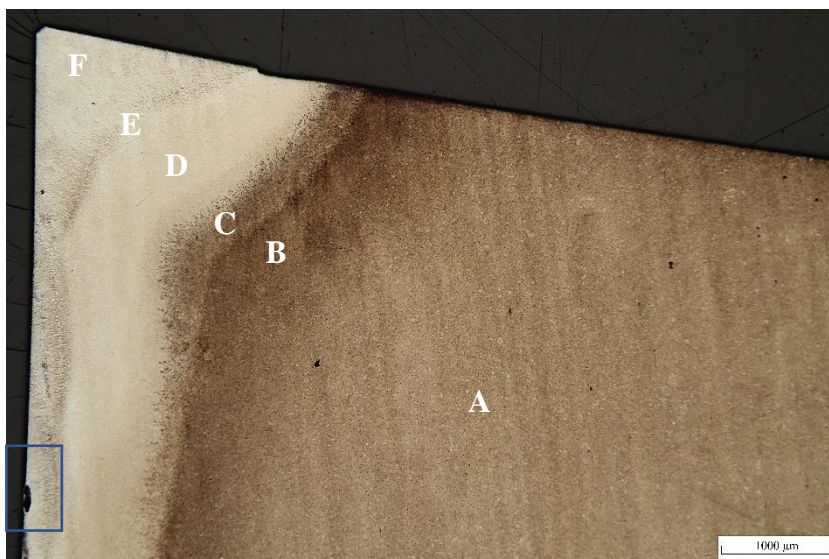


Obr. 52 Makrostruktura RC 63, zvětšení 25,6x



Následující vzorky z firmy PWO byly vystaveny několikanásobnému navaření, po deformaci střížné hrany. Číslo umístěno za názvem pozice místa odběru označuje, kolikrát byl vzorek v daném místě renovován (roh 5x – počet oprav). I poslední navařené pasáže byly zařazeny v provozu, než byl střížník následně vyřazen pro hodnocení. Vzhledem k nemožnosti zachytit mikroskopem celou renovovanou oblast, bylo vybráno okolí nejvíce zatěžovaného místa – střížná hrana. Celé renovované oblasti byly zachyceny pomocí série snímků z makrostruktury (zvětšení 25,6x), naskládány za sebe a vloženy do přílohy 7.

Na obr. 53 lze vidět místo, které bylo navařováno 2x, dle přílohy 11. Šířka tepelně ovlivněné oblasti je zde proměnlivá v závislosti na měřeném místě. Největší velikosti TOO je dosaženo u vrchu návaru, přičemž průměrná hodnota šířky TOZ je 1,2 mm. Při pohledu na základní materiál lze vidět, jak byl tvářen dle světlých míst opakujících se pravidelně v řádcích. Nástroj je z pohledu vlivu karbidické řádkovitosti vhodně orientován, protože nejlepších pevnostních vlastností dosahuje právě tehdy, když je směr stříhu rovnoběžný se strukturou tváření. Z pohledu vad lze identifikovat pouze drobnou bublinu v modře označené oblasti na obr. 53.

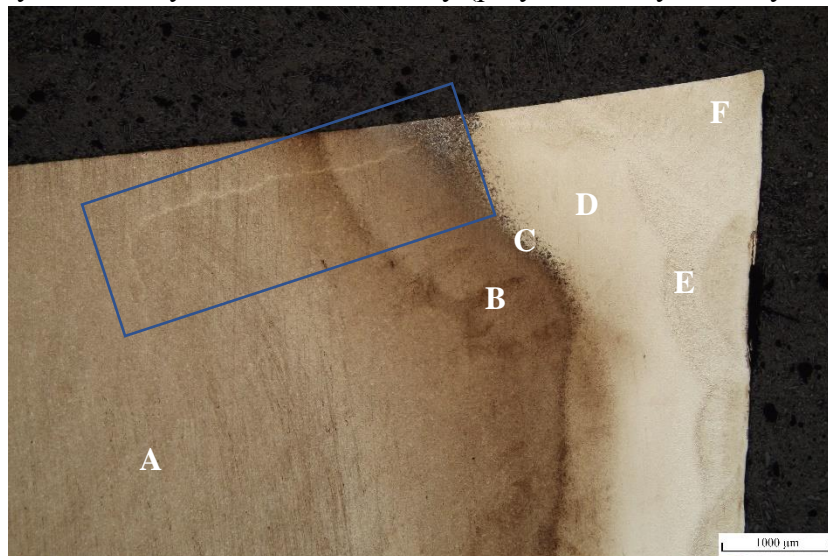


Obr. 53 Makrostruktura rádius 2x, zvětšení 25,6x



Obr. 54 Makrostruktura střed 3x, zvětšení 25,6x

Na obr. 54 lze sledovat renovovanou část, která byla opravována 3x, dle přílohy 11. Tepelně ovlivněná oblast je zde opět proměnlivá a největší je v oblasti vrchu a poté v oblasti kořene (příloha 7/strana 2). V oblasti kořene lze také pozorovat návary bez využití mezivrstvy. V návaru nebyly indikovány žádné viditelné vady (póry, staženiny, bubliny, trhliny apod.).



Obr. 55 Makrostruktura roh 5x, zvětšení 25,6 x

Na obr. 55 lze vidět část střížníku, kde byly renovace navařením provedeny 5x, dle přílohy 11. Tepelně ovlivněná zóna je zde daleko výraznější než u předešlých vzorků. Šířka TOO zde dosahuje hodnoty přibližně 2 mm. V příloze 7/strana 3 lze vidět že u kořene návaru byl použit spoj bez mezivrstvy a TOO je zde mnohem větší. V modře označené oblasti na obr. 55 lze sledovat něco, co by mohlo odpovídat indikaci trhliny. Tvar a charakter šíření trhliny je ovšem velmi zvláštní a spíše se bude jednat o něco jiného („možná hranice primárního zrna“).

U všech snímků z firmy PWO lze vidět, že v oblasti funkční části nástroje, která stříhá zůstává dostatečné množství finální tvrdé vrstvy návaru a nedochází k „podobrobení“ tvrdé housenky. V případě označení rádiusů 2x (příloha 7/strana 1), lze pozorovat, že s přibližováním se ke kořeni, klesá velikost zanechané finální vrstvy, což může mít vliv na tvrdost a životnost nástroje.

Hodnocení mikrostruktury bude realizováno především na vzorku s označením RC 60 (vzorek č. 1). Na makrostrukturu tohoto vzorku nebyly odhaleny žádné zásadní vady. Při navařování byla použita všude většinou konfigurace Cronitex 220 a RC 60. Jak se ukáže struktura PM RC 63 je velmi podobná drátu RC 60. Některé drobné rozdíly, které se vyskytly v návarech budou vysvětleny zvlášť.

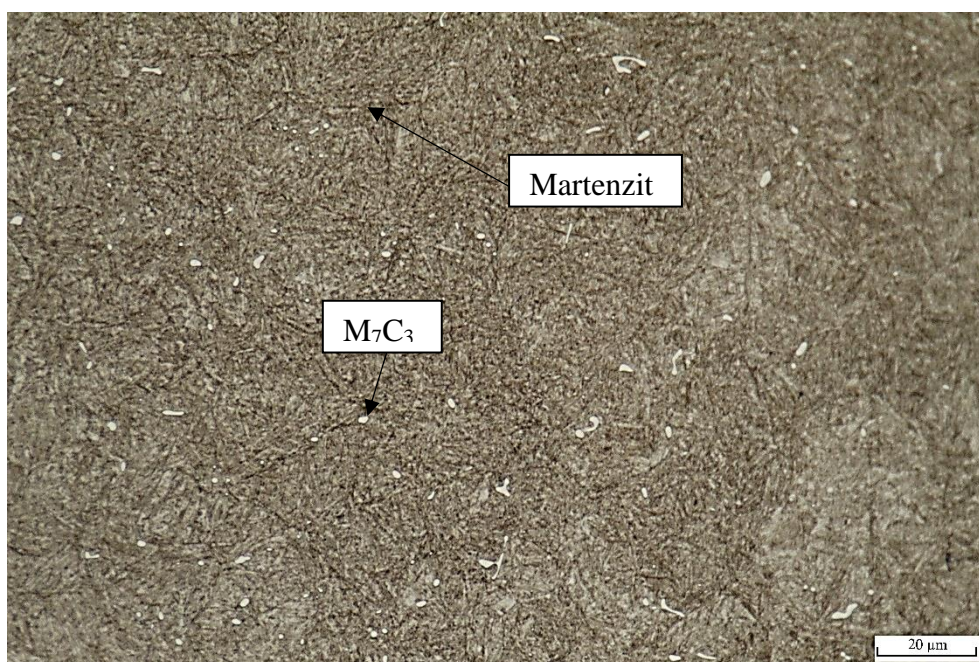
V příloze 14 lze vidět snímky mikrostruktury z nejméně navařovaného místa. Lze vidět, že v oblasti kořene a vrchu návaru vzniká hrubý martenzit a velké množství zbytkového austenitu.

Na obr. 56 jsou zobrazeny místa zvětšených zkoumaných oblastí, při mikrostrukturu.



Obr. 56 Znárodnění míst zkoumaných oblastí vzorku RC 60

Struktura základního materiálu je tvořena martenzitem, zbytkovým austenitem a podílem karbidů. Karbidy budou pravděpodobně typu chromu  $M_7C_3$ , vanadu  $M_4C_3$  a molybdenu  $M_2C$ . Karbid molybdenu typu  $M_2C$  a vanadu  $M_4C_3$  precipitují, při teplotách 500 – 600 °C. Ve struktuře by se mohly vyskytovat i karbidy chromu typu  $M_{23}C_6$ , ovšem ty se rozpouštějí při nižších teplotách 950 – 1000 °C, rozpouští se do tuhého roztoku a zvyšují prokalitelnost. Předpoklad je, že se ve struktuře budou vyskytovat spíše karbidy typu  $M_7C_3$ , protože se rozpouštějí až při vyšších teplotách. Na obr. 57 je vzorová struktura, jak vypadá většina základního materiálu. Nelze zde vidět žádnou výraznou karbidickou řádkovitost a karbidy jsou ve struktuře rovnoměrně rozptýleny, což zvyšuje mechanické vlastnosti ZM.



Obr. 57 Mikrostruktura ZM, RC 60, zvětšení 1000x

Na obr. 58 lze vidět snímek z tepelně ovlivněné oblasti. Při pohledu na strukturu se jedná pravděpodobně o hrubý deskový martenzit s poměrně vysokým podílem zbytkového austenitu. Důvodem bude pravděpodobně difuze niklu, při natavení do ZM, kde dochází právě k tvorbě deskového martenzitu. Zbytkový austenit je sice houževnatý, struktura však obsahuje i vysoký podíl deskového martenzitu a karbidů. Pokud by zde při navaření vznikalo pnutí, může zde docházet k iniciaci mikrotrhlin a snížení životnosti návaru. Na Obr. 59 lze tento přechod pozorovat, při menším zvětšení. Oblast deskového martenzitu v tomto případě je velká přibližně 550  $\mu\text{m}$ .

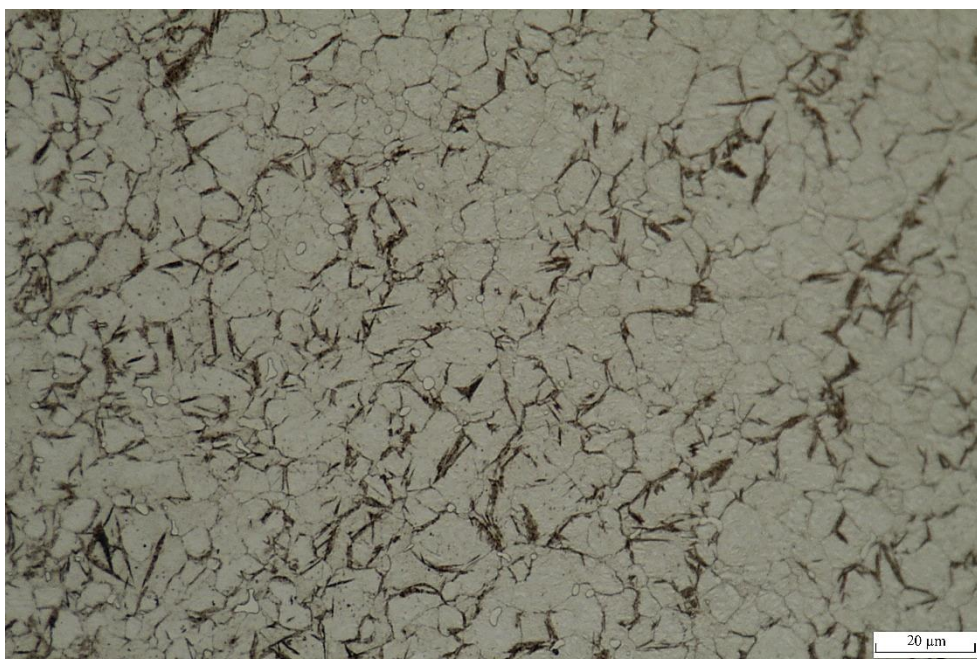


Obr. 58 Mikrostruktura TOO, RC 60, zvětšení 1000x



Obr. 59 Mikrostruktura TOO – MEZ, RC 60, zvětšení 250x

Struktura mezivrstvy by měla být tvořena feriticko – austenitickou strukturou podle materiálového listu. Během navařování je tavná lázeň poměrně velká a dochází pravděpodobně k velkému promísení, částečné difuzi Cr a Ni do základního materiálu a vrchních finálních návarů. Niklu není dostatek pro stabilizování austeniticko – feritické duplexní struktury. Struktura je pravděpodobně austenitická se začínají transformací na bainit, který je sice měkčí než austenit, ale stále se jedná o poměrně tvrdou fázi. Bainit roste po hranicích austenitického zrna. Dochází k precipitaci karbidů v mezivrstvě a struktura, která by měla být houževnatá se stává poměrně tvrdou. Na obr. 60 lze vidět strukturu mezivrstvy. Z pohledu svařitelnosti sloužila austeniticko – feritická mezivrstva, jako element, pro spojení dvou tvrdých struktur, aby se zamezilo při navařování ke vzniku prnutí a následnému šíření trhlin, nebo nedošlo k delaminaci návaru.

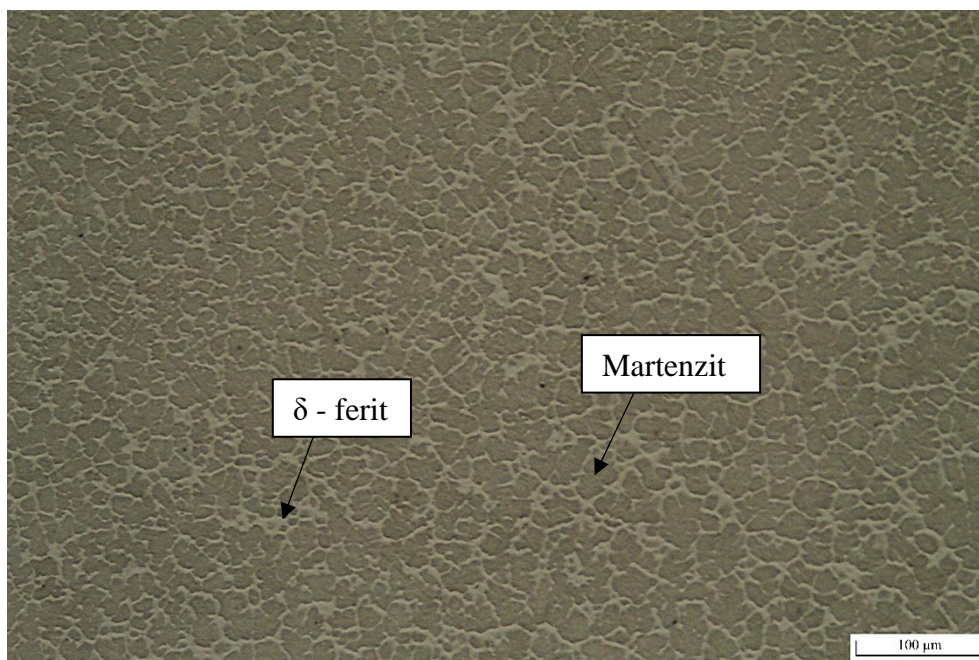


Obr. 60 Mikrostruktura mezivrstvy, RC 60, zvětšení 1000x

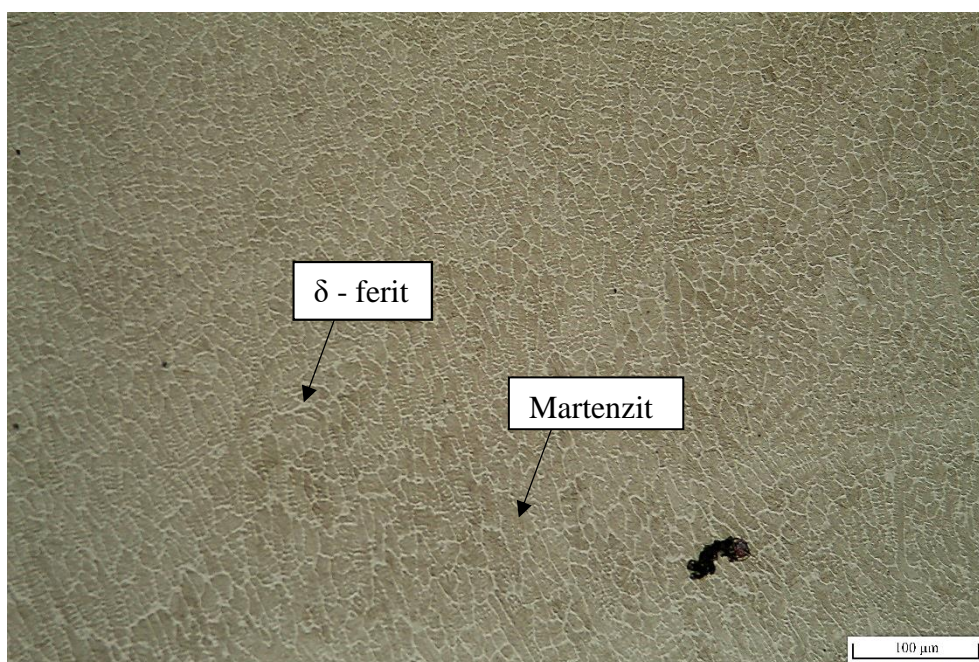


Obr. 61 Označení místa zkoumané oblasti vzorku RC 63

Na obr. 61 je označeno místo struktury ze vzorku s označením RC 63 (vzorek č. 2).



Obr. 62 Mikrostruktura SK, RC 60, zvětšení 250x



Obr. 63 Mikrostruktura SK, RC 63, zvětšení 250x

Na obr. 62 a 63 lze vidět struktury po navaření přídavných materiálu RC 60 a RC 63, jako finální návarové housenky. Struktura návaru by měl tvořit tvrdý martenzit, podíl zbytkového austenitu a karbidy. Na obou snímcích lze pozorovat světlé síťoví. S největší pravděpodobností se jedná o delta ferit, což je poměrně měkká fáze. Uvnitř sítě delta feritu se nachází martenzit. Pokud se jedná o dynamicky namáhané součásti fáze delta feritu je výhodná, protože propůjčuje návaru houževnatost a karbidy vytvoří spolu s martenzitem dostatečnou tvrdost. V případě střížného nástroje, což není tak dynamicky namáhaná součást je podíl delta feritu nežádoucí strukturou. Střížné nástroje by měly spíše dosahovat vysoké otěruvzdornosti, čemuž fáze delta feritu příliš nedodává.

Při porovnání PM RC 60 a RC 63, při stejném zvětšení lze vidět, že podíl delta feritu je vyšší u návaru renovovaného drátem RC 60, což znamená, že se z hlediska mikrostruktury potvrdila vyšší jakost návaru, při využití kvalitnějšího drátu RC 63. Je zřejmé, že při procesu navařování hraje velkou roli i to, jak je drát navařován. Pro přibližné ověření možné fáze delta feritu je použit diagram Fe – C – Cr (8 % Cr), který je k nalezení v příloze 8. Při zanesení množství uhlíku v grafu, podle tab. 12 a 14 a pohledu na feritotvorné prvky, přičemž RC 63 obsahuje méně prvků rozšiřující oblast feritu je vidět, že PM RC 60 by měl obsahovat větší množství delta feritu. Pokud bychom chtěli zvýšit životnost střížného nástroje, musel by být střížný nástroj tepelně zpracován (austenitizace + popuštění na sekundární tvrdost). Tím by došlo k rozpuštění fáze delta feritu a struktura by následně byla tvořena martenzitem, zbytkovým austenitem a větším množstvím karbidů, které by zvýšili otěruvzdornost. Problém by byl ovšem se základním materiálem z hlediska možnosti praskání a díky transformaci austenitu na martenzit by došlo k rozměrovým změnám.

Na obr. 63 lze vidět vada v podobě bubliny.

#### 6.4 Vyhodnocení tvrdosti dle Vickerse [66]

Zkouška mikrotvrdosti byla realizována na automatickém tvrdoměru a mikrotvrdoměru Qness Q10A, který lze vidět na obr. 64. Označení v názvu Q10 udává, jakého rozmezí zatížení je schopen tvrdoměr dosáhnout 50 g – 10 kg (0,98 – 98,1 N). Na tvrdoměru lze realizovat zkoušky tvrdosti dle Vickerse, Brinella a Knoopa. V otočné hlavě jsou zabudovány objektivy na možné zaznamenávání míst vpichu, při měření tvrdosti.



Obr. 64 Tvrdoměr a mikrotvrdoměr Qness Q10A [66]

Z hlediska použitého zatížení bylo provedeno měření mikrotvrdosti dle Vickerse. Velikost zatížení byla zvolena 200 g (HV 0,2). Doba zatížení vzorků byla standardní 10 s.

Jako první byla hodnocena tvrdost finální návarové vrstvy RC 60 a RC 63, zda dosahuje garantované tvrdosti deklarované dodavatelem PM. Vzdálenost vpichů byla, při měření zvolena na přibližně 0,2 mm. Pro lepší zmapování tvrdosti struktury byla vyhotovena linie vpichů. Hodnoty spolu s grafem průběhu tvrdosti jsou součástí přílohy 9 a 10. Na obr. 65 lze sledovat v jakém místě byla linie vpichů v případě obou navařených finálních vrstev vedeny.



Obr. 65 Umístění linií měřené tvrdosti

Tab. 21 Porovnání tvrdosti výsledné návarové housenky

Druh finální návarové vrstvy	RC 60	RC 63
Průměrná naměřená hodnota tvrdosti [HV0,2]	735	811
Hodnota tvrdosti dle materiálového listu [HV]	720	680 - 740

Pro zhodnocení tvrdosti bylo z naměřených hodnot v příloze 9 a 10 vybráno 9 hodnot tvrdosti ve finální návarové oblasti a byla vypočítána průměrná hodnota mikrotvrdosti. Ta byla následně srovnána s hodnotami tvrdosti uvedeného dle materiálového listu a v obou případech jsou požadované hodnoty tvrdosti splněny. V materiálovém listu byly hodnoty uvedeny v Rockvellech a pro srovnání byly převedeny na Vickerse. Tento převod v sobě nese značnou chybu, protože nebyly známy podmínky měření tvrdosti uvedeném v materiálovém listu. V případě vzorku RC 63 je tvrdost finální návarové housenky přibližně o 70 HV vyšší. Tvrdost také velmi záleží na místě vpichu. V případě návaru s PM RC 60 hodnoty v některých naměřených bodech vpichu byly nižší, což se projevilo na průměrné hodnotě tvrdosti.

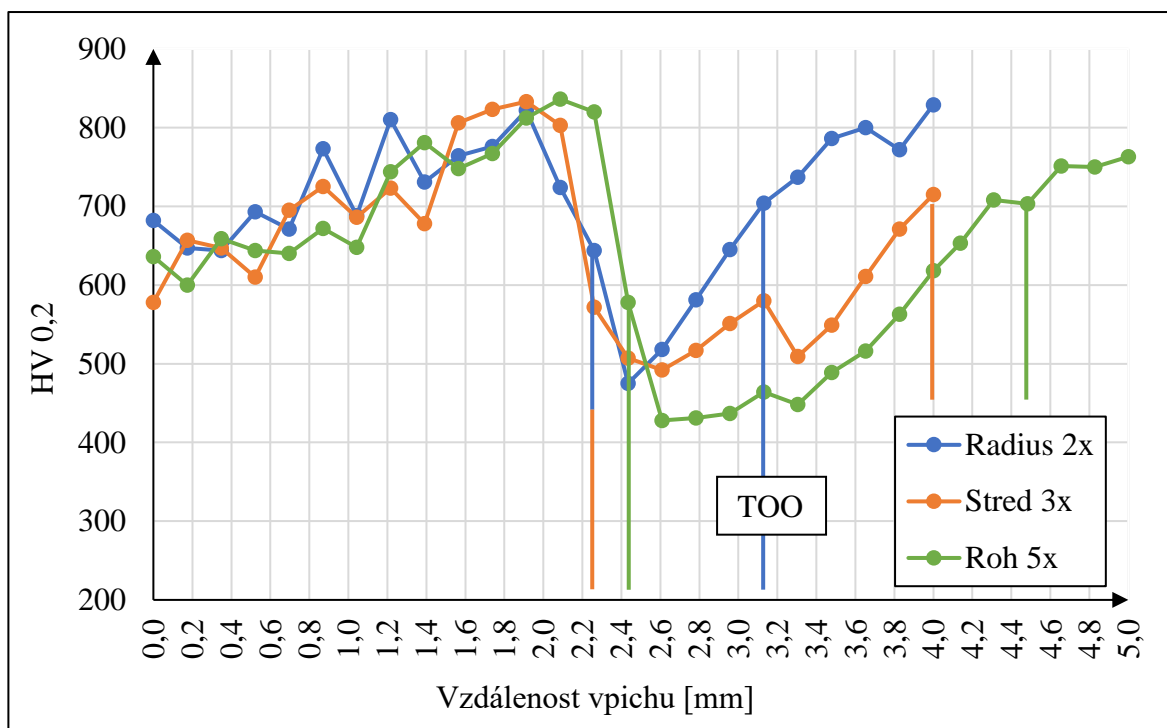
Jedním z hlavních důvodů, proč bylo zpracováno tolik vzorků je ověření tvrdosti v „podnávarové“ oblasti. Vzorky ze střížníku z firmy PWO byly odebrány po určitém počtu renovací, aby bylo zjištěno, jaký vliv má soustavné renovování střížných hran na degradaci struktury ZM. Pro měření byly odebrány vzorky z míst po 2, 3 a 5 navařeních. Místa byly renovovány dle navařovacích protokolů, které jsou k nalezení v příloze 11.

Na obr. 66 lze sledovat místa, kde byly vedeny linie vpichů. Linie byla vedena vždy od střížné hrany směrem do TOO. Krok, ve kterém byly vpichy provedeny byl přibližně 0,2 mm.



Obr. 66 Linie měření tvrdosti





Obr. 67 Graf průběhu tvrdosti na vzdálenosti vpichů

Na obr. 67 lze vidět graf naměřených tvrdostí (příloha 13) jednotlivých vzorků v závislosti na linii. Při měření tvrdosti byla vždy po ukončení vpichu vyfocen snímek mikrostruktury a oblast ve které byl vtisk zhotoven (příloha 12). Na základě hodnot tvrdosti a jednotlivých snímků z míst vpichů byl zjištěn přibližný rozsah šířky tepelně ovlivněné oblasti. V grafu na obr. 67 byly zaneseny místa, kde začíná a končí TOO na jednotlivých vzorcích. Také lze vidět, že se zvyšujícím se počtem navaření, klesá hodnota tvrdosti v TOO a dochází k jejímu rozšiřování. Do tab. 22 byly po odečtení z grafu zaneseny velikosti TOZ.

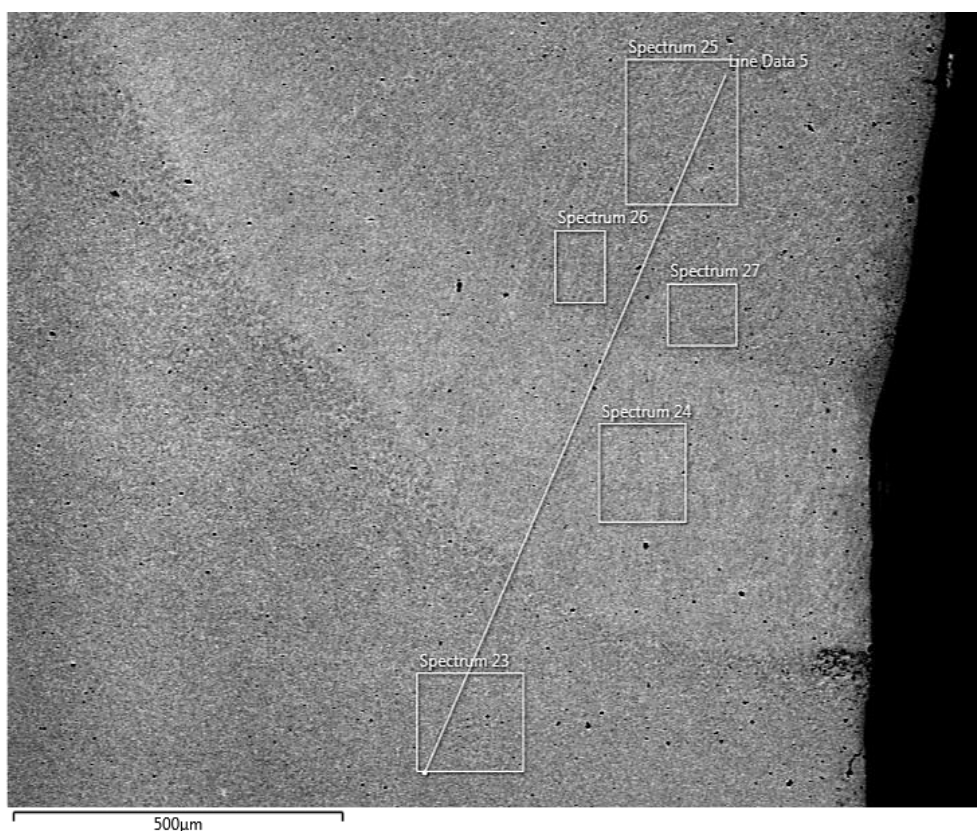
Tab. 22 Velikost TOO v závislosti na počtu renovací

Vzorek	rádus 2x	střed 3x	roh 5x
Šířka TOO [mm]	0,9	1,75	2

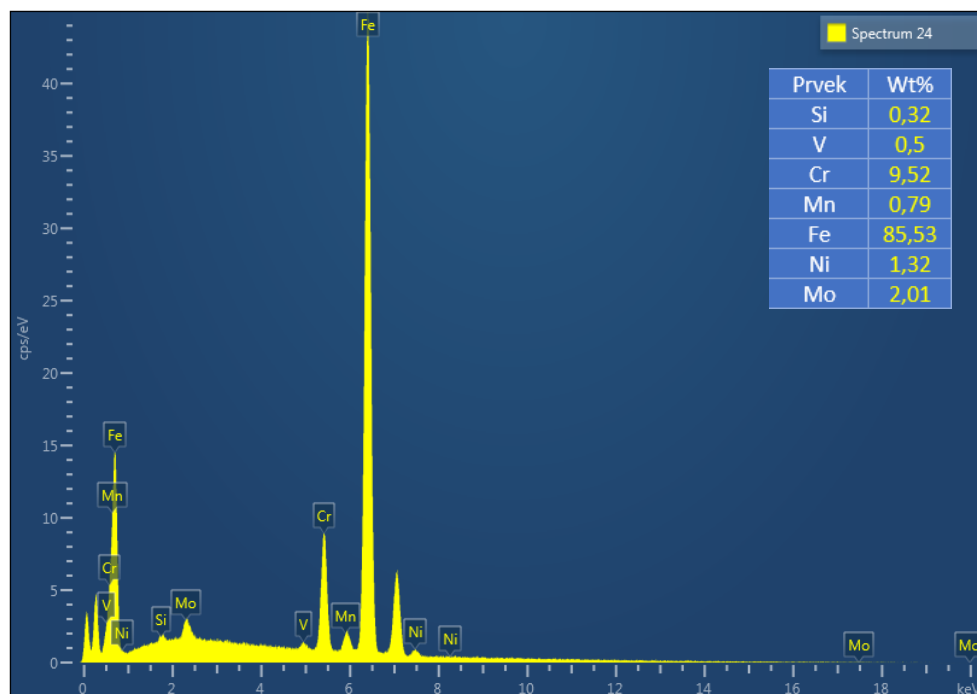
Je zřejmé, že se to nedá aplikovat globálně a tuto informaci brát, jako precedent. Má na to vliv spousta dalších věcí, které nejsou zahrnuty, jako rozsah renovace, vliv použitého proudu, rychlost navařování apod. Je zřejmé, že se TOO nebude rozšiřovat do nekonečna, ale co se pravděpodobně bude dít je to, že se bude neustále snižovat tvrdost ZM. Důvodem zkoumání tohoto fenoménu je utvoření představy, jak se bude při vícenásobném navařování tepelně ovlivněná oblast a ZM chovat.

## 6.7 Vyhodnocení chemického složení pomocí EDS analýzy

Měření tzv. prvkové analýzy bylo realizováno na elektronovém rastrovacím mikroskopu Zeiss Ultra Plus, který je doplněn o detektor snímání RTG záření. Cílem bylo kontrola chemického složení a tím i dané struktury. V každém procesu svařování (navařování) je pro dobré spojení materiálu vytvořit svarovou lázeň. Tím může dojít k propalu prvků, difuzi jednotlivých prvků, nebo precipitaci karbidů. Vzhledem k tomu, že u všech vzorků byly podobné struktury bude v rámci mikroanalýzy posouzen vzorek číslo 2 (označení RC 63). Další analýzy chemického složení, které byly provedeny jsou součástí přílohy.



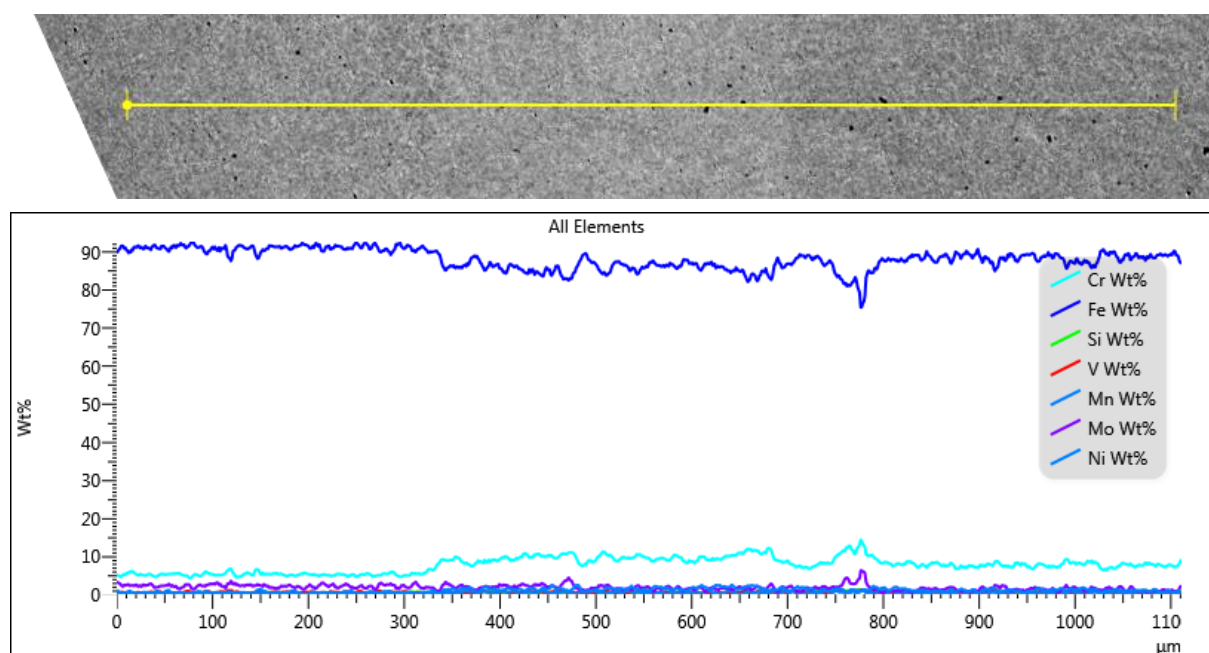
Obr. 68 Vyšetřovaná oblast chemického složení vzorku RC 63



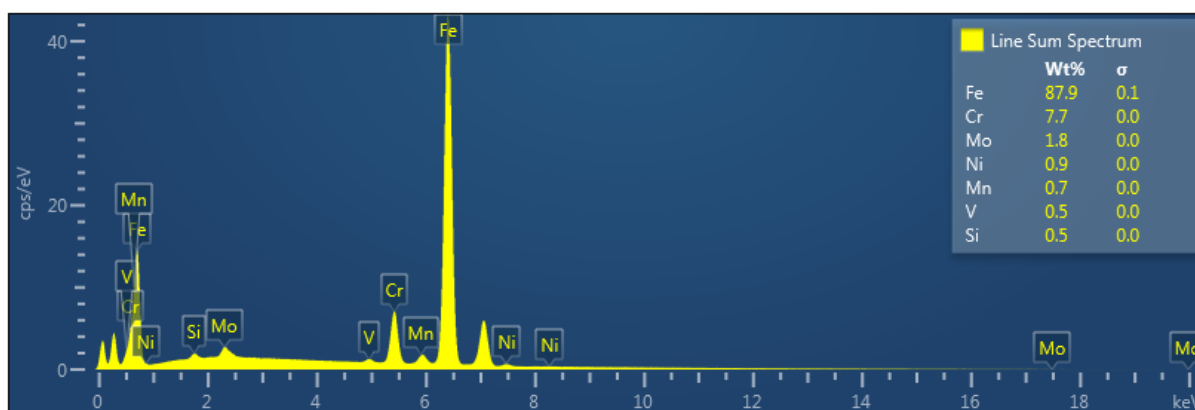
Obr. 69 Plošná analýza s chemickým složením

Na obr. 68 lze vidět vyšetřovanou oblast rozhraní mezivrstvy a návarové finální vrstvy. Na obr. 69 lze potom vidět oblast promísení finální návarové vrstvy a mezivrstvy. Lze sledovat, že dochází k intenzivnímu promísení a vytvoření kvalitního metalurgického návarového spoje finální tvrdé vrstvy a mezivrstvy.

Na obr. 70 lze vidět obsah chemického složení v závislosti na linii. Dochází zde pravděpodobně k difuzi chromu do finální návarové vrstvy a tím možnost tvorby precipitace karbidů a sycení tuhého roztoku chromem, což zvyšuje kalitelnost návarové housenky a tvrdost. V závislosti na linii lze vidět, že nikl postupně také difunduje do finální návarové housenky. V příloze 15 lze vidět plošnou analýzu finální návarové vrstvy, kde lze vidět, že se v ní vyskytuje nepatrné množství niklu. Na obr. 71 lze vidět objemový podíl zastoupení chemického složení v linii spolu s jejich intenzitou záření přeskoků elektronů mezi jednotlivými hladinami.



Obr. 70 Závislost chemického složení na linii 5



Obr. 71 Grafické znázornění intenzity vyzářených prvků, průměrné chemické složení

## ZÁVĚRY

Cílem diplomové práce bylo zhodnotit svařitelnost nástrojových ocelí pracujících za studena, při současném stavu navařování ve firmách. Dále zhodnotit možné finanční úspory, prodloužením životnosti nástrojů a omezením provádění již neefektivních oprav. Předmětem výzkumu byla část střížníku vyrobena z oceli Caldie a po následném opotřebené dochází k jejímu renovování přídatnými materiály. Dráty, které byly využity, pro renovaci byly z hlediska funkce mezivrstvy Cronitex 220, finální tvrdé návarové vrstvy Cronitex RC 60 a RC 63. Renovace probíhala pomocí technologie mikro – TIG. Bylo vyhotoveno celkem 5 vzorků, přičemž 3 vzorky byly odebrány přímo z funkčního nástroje po vyřazení z provozu a další dva vzorky byly vyhotoveny firmou, která je dodavatelem drátů. Kvalita jednotlivých vzorků byla následně hodnocena pomocí destruktivních zkoušek.

První metodou zkoušení, která byla realizována je pozorování makrostruktury. Při hodnocení všech vzorků z makrostruktury lze konstatovat, že nebyly nalezeny žádné závažné vady, které by znevažovaly vysokou jakost návarů. Ve vzorcích RC 60 a RC 63 byly nalezeny drobné bubliny, nebo mikrostaženiny, ale na funkci nástroje to nemá žádný zásadní vliv. Při sledování struktur vzorků s označením rádius 2x, střed 3x a roh 5x v závislosti na počtu navaření bylo zaznamenáno zvětšování se šířky TOO.

Dalšími zkouškami, které byly provedeny na vzorcích bylo hodnocení mikrostruktury, měření tvrdosti a chemická mikroanalýza. Vzhledem k tomu, že byly pro renovaci použité stejné přídatné materiály a tím tedy i vyloučené struktury, byl v rámci posouzení mikrostruktury vybrán jeden reprezentativní vzorek s označením RC 60 a hodnocen z hlediska struktury. Výjimku tvořila pouze finální návarová vrstva přídatného materiálu RC 63, která se ovšem posléze ukázala strukturně, jako velmi podobná struktuře po navaření drátem RC 60. První zvláštností, kterou si lze během hodnocení mikrostruktury povšimnout je vznik pravděpodobně bainitické struktury s karbidy vyloučenými v oblasti mezivrstvy. V oblasti promísení a začátkem TOO se objevila struktura deskového martenzitu s vysokým podílem zbytkového austenitu. Důvodem by mohla být difuze niklu do celého objemu návaru, jak prokázala EDS, ale především do TOO. Zbytkový austenit je sice houževnatá fáze, ale vzniká zde poměrně hrubý deskový martenzit, který při pnutí může iniciovat trhlinu. Z pohledu návaru se nejedná o příliš příznivou strukturu. Při zohlednění dosahované tvrdosti v oblasti mezivrstvy lze konstatovat, že mezivrstva zpevňuje vlivem navaření finální tvrdé housenky, tedy mezivrstva není příliš elastická, jak garantuje dodavatel. Důležitým faktem ovšem je, že díky mezivrstvě dochází k dobrému spojení ZM s finální návarovou tvrdou vrstvou. Při porovnávání tvrdosti finální návarové vrstvy na vzorcích RC 60 a RC 63 splňovaly návary tvrdost deklarovanou dle materiálového listu. Také byla potvrzena lepší kvalita tvrdosti po navaření drátu RC 63. V rámci vzorků RC 60 a RC 63 vzniká ve struktuře síťový tuhého roztoku delta feritu, martenzitu, zbytkového austenitu a karbidů. Pokud by byl nástroj namáhán dynamicky je fáze delta feritu příznivá. Vzhledem ke střížnému nástroji, který je předmětem práce je důležitější vlastností tvrdost a otěruvzdornost. Z tohoto důvodu by bylo vhodné střížný nástroj TZ (austenitizace a sekundární popuštění), pro dosažení „smazání“ struktury delta feritu. Struktura by byla poté tvořena martenzitem a větší množstvím vyprecipitovaných karbidů. To by mohlo 2x – 3x zvýšit životnost střížného nástroje. Problémy by mohly nastat s rozměrovou stabilitou nástroje, heterogenitou a velikostí karbidů v ZM, až následné praskání nástroje po kalení. Dále byla zkoumána šířka TOO na základě posouzení tvrdosti a snímků z mikrostruktury po vpichu u vzorků rádius 2x, střed 3x a roh 5x (číslíce označuje počet renovací). Cílem bylo zjistit, jak se TOO rozšiřuje po vícenásobném navaření nástroje. Je zřejmé, že do toho vstupuje celá řada dalších faktorů jako je velikost a druh proudu při navařování, rozsah renovace apod. Důvodem zkoumání tohoto fenoménu je vytvoření představy

o tom, jak se bude při vícenásobném navařování tepelně ovlivněná oblast chovat. Potvrdila se myšlenka, že TOO bude narůstat, ovšem ne do nekonečna. Co je hlavní, dochází zde k poklesu tvrdosti, a to se s každým opětovným navařením bude pravděpodobně zvětšovat. Řešením je po určitém počtu renovací obrobek změkčenou TOO a navařit.

Návary, jako takové dosahují vysoké jakosti a dobré tvrdosti po navaření. V poměru cena výkon je technologie navařování mikro – TIG prakticky nenahraditelnou. Do budoucna by bylo vhodné se zabývat mechanismem zpevnění mezivrstvy po navaření, protože při chemické mikroanalýze nebylo přesně odhaleno, kam se tak vysoké množství prvků deklarované materiálovým listem vytratilo. Dále by bylo vhodné se zabývat možností, že po určitém počtu renovací by se nástroj navařil a nechal tepelně zpracovat. Odhad je, že životnost nástroje by se mohla po tepelném zpracování v podobě zušlechťování zvýšit 2 – 3 násobně.

## SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [1]

1. CITACE PRO. Generátor citací [online]. 2013 [cit. 2021-05-20]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>
2. Automobilový průmysl. Wikipedie [online]. Wikipedie, 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Automobilový\\_průmysl](https://cs.wikipedia.org/wiki/Automobilový_průmysl).
3. WOJCIK, Rudolf. Porovnání ocelí a technologií při výrobě automobilové karoserie [online]. Brno, 2011 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://dspace5.zcu.cz/bitstream/11025/32000/1/BP-Pekovic.pdf>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně. Vedoucí práce Ivo Dohnal.
4. JULIŠ, Martin. Nízkouhlíkové vysokopevné oceli typu HSLA a AHSS. Brno, 2020.
5. PWO. Navařovací protokoly. Valašské Meziříčí, Palackého 526, 2020.
6. Materiálový list Caldie. Uddeholm [online]. 2019 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: [https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/49/2017/09/caldie-eng\\_p\\_0419-e20.pdf](https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/49/2017/09/caldie-eng_p_0419-e20.pdf)
7. PWO. Sestava postupového střížného nástroje. Valašské Meziříčí, Palackého 526.
8. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
9. JURČI, Peter. Nástrojové oceli ledeburitického typu. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN ISBN978-80-01-04439-1.
10. Microstructure and mechanical properties of a 5 wt.% Cr cold work tool steel: Influence of heat treatment procedure [online]. Švédsko, 2017 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:1090375/FULLTEXT01.pdf>. Diplomová práce. Univerzity West.
11. TOBOLÍK, Stanislav. Tepelné zpracování nástrojových ocelí. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství, 2016, 57 listů + 1 CD-ROM.
12. JURČI, Peter. Chrom-vanadové nástroje oceli ledeburitického typu: Chromium-vanadium ledeburitic type tool steels. V Praze: České vysoké učení technické, 2010. ISBN ISBN978-80-01-04529-9.
13. PŘIBIL, Erich. Nástrojové oceli POLDI a jejich použití. Díl 1. Kladno: POLDI - Spojené ocelárny, 1986, 412 s.
14. JULIŠ, Martin. Nástrojové oceli: Přednáška 9. Brno, 2020.
15. Materiálový atest: Caldie. Valašské Meziříčí, PWO, Palackého 526.
16. JECH, Jaroslav. Tepelné zpracování oceli: metalografická příručka. Praha: SNTL, 1969, 342 s.: il., tabulky, grafy. + příloha (5 l.).
17. Steel heat treatment: metallurgy and technologies. 2. 2007. ISBN 978-0-8493-8455-4.
18. Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of a 5 wt.% Cr cold work tool steel [online]. Švédsko, 2019 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <http://www.diva-portal.se/smash/get/diva2:1301179/FULLTEXT02.pdf>. Doktorská práce. University West.
19. TIG svařování. Svar info [online]. 2009 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>

20. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. : il. ISBN 80-85771-81-0.
21. BALEJ, Zdeněk, Vladimír KUDĚLKA a Jan OPLETAL. Učebnice pro základní kurz svařování ZK 141 8: obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu vysokolegovaných austenitických ocelí. 3. aktualizované vydání. Ostrava: ZEROSS - svářečské nakladatelství, 2013, 166 stran: ilustrace, černobílé fotografie. ISBN 978-80-85771-03-9.
22. WELCO. Postup při svařování nástrojových ocelí metodou WIG. Uherský brod, 2 s.
23. Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s.: il.; 30 cm. ISBN 80-85771-85-3.
24. TIG svařování: zapalování oblouku. Svar info [online]. 2009 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocclanku=2008011702>
25. Vysoce profesionální svařování TIG (WIG): vysokofrekvenční zapalování. Fronius [online]. 2021 [cit. 2021-5-20]. Dostupné z: <https://blog.perfectwelding.fronius.com/cs/vf-vysokofrekvencni-zapalovani/>
26. MURPHY, A. B. Demixing in free-burning arcs. Physical Review E [online]. 1997, 55(6), 7473-7494 [cit. 2021-5-21]. ISSN 1063-651X. Dostupné z: doi:10.1103/PhysRevE.55.7473
27. Svařovací hořák. DYNAMWELD. Dynaweld [online]. Prestons [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://dynaweld.com.au/product/bossweld-18-series-tig-torch-wear-parts/>
28. Plynová dýza gas lense. Grainger [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.grainger.com/product/MILLER-ELECTRIC-Gas-Lens-Large-6UGY3>
29. TIG Gas Lens. Youtube: Eastwood [online]. 2015 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=uv1-wYqw3jU&ab\\_channel=EastwoodCompany](https://www.youtube.com/watch?v=uv1-wYqw3jU&ab_channel=EastwoodCompany)
30. Wolfram (tungsten). Properties, application, production, products. Metotechnics [online]. Moscow [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://en.metotech.ru/art\\_volfram\\_1.htm](https://en.metotech.ru/art_volfram_1.htm)
31. Tungsten Electrode Guidebook Introduction. DGP Diamond group [online]. Lavery Ct. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://diamondground.com/tungsten-guidebook/>
32. Preparing the electrode tip. GCE [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.gcegroupp.com/files/technical-datasheets/INDUSTRIAL/accessories/Preparing\\_the\\_Electrode\\_Tip\\_EN.pdf](https://www.gcegroupp.com/files/technical-datasheets/INDUSTRIAL/accessories/Preparing_the_Electrode_Tip_EN.pdf)
33. Tig Welding Penetration & Tungsten Electrode Grind Angle. Youtube [online]. 2017 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.youtube.com/watch?v=ZI3SyGjjbfw&ab\\_channel=weldingtipsandtricks](https://www.youtube.com/watch?v=ZI3SyGjjbfw&ab_channel=weldingtipsandtricks)
34. ŠVORC, Jiří. Vliv geometrie elektrody u TIG svařování [online]. Praha, 2017 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73103/F2-BP-2017-Svorc-Jiri-BP\\_Svorc%20Jiri.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/73103/F2-BP-2017-Svorc-Jiri-BP_Svorc%20Jiri.pdf?sequence=1&isAllowed=y). Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze.
35. Broušení wolframových elektrod. Svařečky-elektrody [online]. Příbram [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/brouseni-wolframovych-elektrod/t-38/t-123>

36. Wolframové elektrody pro TIG svařování. Svarinfo [online]. 2006 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2006111201>
37. NEUMANN, Heinz. Teorie svařování a pájení. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, 167 s. ISBN 978-80-7494-171-9.
38. HRIVŇÁK, Ivan. Zváranie a zvariteľnosť materiálov. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2009. ISBN 978-80-227-3167-6.
39. KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. Technologie svařování. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 185 s. ISBN 80-7082-697-5.
40. Vliv legovacích prvků na vlastnosti ocelí. Pavlovy oficiální domovské stránky [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <http://svanda.webz.cz/vyuka/legury.htm>
41. SIGMUND, Marián. Svařitelnost kovových materiálů: Přednáška 8. Brno, 2017.
42. OBREGON, Miguel Ernesto Mendez. Welding tool steel. The fabrication [online]. 2019 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/arcwelding/welding-tool-steel>
43. Welding of Uddeholm tool steels. UDDEHOLM. Uddeholm [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/41/2017/12/welding-eng-1710-e7.pdf>
44. WELCO. Technologický postup opravy. Uherský Brod, 2016, 1 s.
45. Příručka svařování: Opravy a údržba. 6. aktualizované. Vamberk: ESAB VAMBERK s.r.o., 2011
46. WELCO. Cronitex 220. Uherský Brod, 1997.
47. Cronitex 220. WELCO. Welco [online]. Uherský Brod [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.welco.cz/file/download?id=871&route\\_url\\_id=307](https://www.welco.cz/file/download?id=871&route_url_id=307)
48. WELCO. Cronitex RC 60. Uherský Brod, 2002.
49. Cronitex RC 60. WELCO. Welco [online]. Uherský Brod [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.welco.cz/file/download?id=887&route\\_url\\_id=369](https://www.welco.cz/file/download?id=887&route_url_id=369)
50. WELCO. Cronitex RC 63. Uherský Brod, 2003.
51. Cronitex RC 63. WELCO. Welco [online]. Uherský Brod [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.welco.cz/file/download?id=898&route\\_url\\_id=335](https://www.welco.cz/file/download?id=898&route_url_id=335)
52. PTÁČEK, Luděk. Nauka o materiálu I. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-720-4193-2.
53. KLAJKURKOVÁ, Lenka. Atlas materiálových struktur. Ústav materiálových věd a inženýrství [online]. Brno [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <http://ime.fme.vutbr.cz/index.php/cs/studium/ke-stazeni>
54. MICHNOVÁ, Lenka. Úvod do metalografie. Docplayer [online]. Praha: Centrum pro studium vysokého školství, 2015 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/6568795-Uvod-do-metalografie.html>
55. ŠTORKÁN, Zdeněk. Problematika hodnocení svarových spojů. Konstrukce [online]. 2014 [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/problematika-hodnoceni-svarovych-spoju/>
56. Elektronová mikroskopie transmisní a rastrovací. Společná laboratoř optiky [online]. Olomouc: Společná laboratoř optiky [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: [http://jointlab.upol.cz/soubusta/OSYS/El\\_mikr/El\\_mikr.html](http://jointlab.upol.cz/soubusta/OSYS/El_mikr/El_mikr.html)
57. Energoivě disperzní spektrometrie (EDS). MATCA [online]. Praha: MATCA [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://matca.cz/technologie/analyticke-metody/eds/>



58. Transmisní elektronový mikroskop (TEM). MATCA [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://matca.cz/technologie/analyticke-metody/tem/>
59. Elektronovým mikroskopem do nitra materiálů aneb jak vypadá jejich struktura. In: FZU [online]. Praha: FZU, 2017 [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.fzu.cz/aktuality/elektronovym-mikroskopem-do-nitra-materialu-aneb-jakvypada-jejich-struktura>.
60. Měření tvrdosti. Kalirna [online]. Pardubice: kalirna [cit. 2020-06-05]. Dostupné z: <https://www.kalirna.cz/cz/sluzby/36-mereni-tvrdosti.html#tab2>.
61. Tvrdost. In: ConVERTER [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/jednotky/tvrdost-vickers.htm>
62. Zkoušky tvrdosti. Oddělení povrchového inženýrství [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.opi.zcu.cz/Zkousky\\_tvrdosti.pdf](https://www.opi.zcu.cz/Zkousky_tvrdosti.pdf)
63. Svařovací zřízení. WELCO. Welco [online]. Uherský Brod [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: [https://www.welco.cz/file/download?id=841&route\\_url\\_id=277](https://www.welco.cz/file/download?id=841&route_url_id=277)
64. PWO. Navařovací protokoly. Valašské Meziříčí, Palackého 526.
65. Laboratoře a vybavení. Odbor Slévárenství [online]. Brno [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/vyzkum/laboratore>
66. Tvrdoměr QNESS. Metalco [online]. [cit. 2021-5-21]. Dostupné z: <https://www.metalco.cz/mikrotrvrdomery-vickers-a-knoop/tvrdomer-q10-30-60-chd-master-master/>

## SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
AHS	Advanced High Steels	[-]
AHSS	Advanced High Strength Steels	[-]
ARA	anizotropický rozpad austenitu	[-]
BSE	zpětně odražené elektrony	[-]
HSS	nástrojová rychlořezná ocel	[-]
HV	tvrdost podle Vickerse	[-]
HRC	tvrdost podle Rockwella	[-]
MEZ	mezivrstva	[-]
NO	nástrojová ocel	[-]
PE	primární elektrony	[-]
PM	přidavná materiál	[-]
RTG	rentgenové záření	[-]
SL	svarová lázeň	[-]
SK	svarový kov	[-]
SE	sekundární elektrony	[-]
SEM	skenovací elektronový mikroskop	[-]
TEM	transmisní elektronový mikroskop	[-]
TOO	tepelně ovlivněná oblast	[-]
TOZ	tepelně ovlivněná zóna	[-]
TIG	tugsten inert gas	[-]
TZ	tepelné zpracování	[-]
WIG	wolfram inert gas	[-]
WE	wolframová elektroda	[-]
ZM	základní materiál	[-]
I	proud	[A]
$I_{P(I)}$	pulzní proud	[A]
$I_Z$	základní proud	[A]
$Q_M$	vnesené teplo od mezivrstvy	[kJ/mm]
$Q_s$	vnesené teplo	[kJ/mm]
$Q_I$	vnesené teplo impulzním proudem	[kJ/mm]
$Q_v$	výsledné vnesené teplo	[kJ/mm]
$Q_Z$	vnesené teplo základním proudem	[kJ/mm]
$Q_1$	vnesené teplo od 1 finální návarové housenky	[kJ/mm]
$Q_2$	vnesené teplo od 2 finální návarové housenky	[kJ/mm]
$R_c$	pevnost v tlaku	[MPa]
$t_c$	celkový čas navařování	[s]
$t_{P(I)}$	čas v impulzním režimu	[ms]
$t_Z$	čas v základním režimu	[ms]
U	napětí	[V]
$v_s$	rychlost navařování	[mm/s]
$v_I$	rychlost navařování v pulzním režimu	[mm/s]
$v_Z$	rychlost navařování v základním režimu	[mm/s]
$\eta$	účinnost	[%]

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Příklady renovace střížných hran [5] .....	9
Obr. 2 Postupový střížný nástroj [7] .....	10
Obr. 3 Střížník [7] .....	10
Obr. 4 Část střížníku [7] .....	10
Obr. 5 Ternární diagram Fe – C – Cr (5 % Cr) [9] .....	11
Obr. 6 Výroba NO konvenčním způsobem [11] .....	13
Obr. 7 Fragmentace karbidického síťoví následkem tváření [9] .....	14
Obr. 8 Sverker 21 [10] .....	14
Obr. 9 Sleipner [10] .....	15
Obr. 10 Caldie [10] .....	15
Obr. 11 Mikrostruktura po žíhání na měkko, 1000x zvětšení .....	18
Obr. 12 Schéma tepelného zpracování oceli Caldie .....	19
Obr. 13 Vliv teploty austenitizace na tvrdost oceli Caldie [18] .....	20
Obr. 14 Renovace střížné hrany mikro – TIG .....	21
Obr. 15 Části elektrického oblouku [20] .....	21
Obr. 16 Princip navařování TIG .....	22
Obr. 17 Průběh pravoúhlé impulzní charakteristiky [20] .....	23
Obr. 18 VF výboj [25] .....	25
Obr. 19 Tepelná vodivost argonu [26] .....	26
Obr. 20 Závislost délky oblouku na napětí [20] .....	26
Obr. 21 Navařovací hořák [21] .....	27
Obr. 22 Plynová dýza GAS LENSE [28] .....	28
Obr. 23 Porovnání pokrytí plynem [29] .....	28
Obr. 24 Lanthanová elektroda [31] .....	28
Obr. 25 Vliv úhlu špičky na šířku oblouku a SL [32] .....	30
Obr. 26 Velikost svaru a TOO (60 °) [33] .....	30
Obr. 27 Elektrický oblouk (60 °) [34] .....	30
Obr. 28 Velikost svaru a TOO (15 °) [33] .....	30
Obr. 29 Elektrický oblouk (15 °) [34] .....	30
Obr. 30 Podélné a příčné broušení [32] .....	31
Obr. 31 Vliv broušení elektrody na oblouk [35] .....	31
Obr. 32 Bruska na WE [36] .....	31
Obr. 33 Renovované místo [45] .....	34
Obr. 34 Odstranění vyštípnuté hrany [45] .....	34
Obr. 35 Schéma postupu přípravy vzorku [54] .....	37
Obr. 36 Rozlišitelná vzdálenost a hloubka ostrosti [52] .....	37
Obr. 37 Schéma osvětlení mikroskopu [52] .....	38
Obr. 38 Schéma interakce svazku elektronů se vzorkem [59].....	39
Obr. 39 Schéma zkoušky tvrdosti dle Vickerse [61] .....	40
Obr. 40 Vliv zpevnění na tvar vtisku [62] .....	40
Obr. 41 Navařovací zařízení [63] .....	41
Obr. 42 Pracoviště pro realizaci navařování .....	42
Obr. 43 Řez střížníku .....	42
Obr. 44 Návar č. 1 .....	43
Obr. 45 Návar č. 2 .....	44

Obr. 46 Lisovací stroj Exopress 100 [65] .....	45
Obr. 47 Místa odběru vzorků .....	46
Obr. 48 Zhotovené metalografické vzorky .....	46
Obr. 49 Mikroskop Neophot 32 .....	47
Obr. 50 Makrostruktura RC 60, zvětšení 25,6x .....	48
Obr. 51 Makrostruktura RC 63, zvětšení 25,6x .....	48
Obr. 52 Makrostruktura RC 63, zvětšení 25,6x .....	48
Obr. 53 Makrostruktura rádius 2x, zvětšení 25,6x .....	49
Obr. 54 Makrostruktura střed 3x, zvětšení 25,6x .....	49
Obr. 55 Makrostruktura roh 5x, zvětšení 25,6x .....	50
Obr. 56 Znázornění míst zkoumaných oblastí vzorku RC 60 .....	51
Obr. 57 Mikrostruktura ZM, RC 60, zvětšení 1000x .....	51
Obr. 58 Mikrostruktura TOO, RC 60, zvětšení 1000x .....	52
Obr. 59 Mikrostruktura TOO – MEZ, RC 60, zvětšení 250x .....	52
Obr. 60 Mikrostruktura mezivrstvy, RC 60, zvětšení 1000x .....	53
Obr. 61 Označení místa zkoumané oblasti vzorku RC 63 .....	53
Obr. 62 Mikrostruktura SK, RC 60, zvětšení 250x .....	54
Obr. 63 Mikrostruktura SK, RC 63, zvětšení 250x .....	54
Obr. 64 Tvrdoměr a mikrotvrdoměr Qness Q10A [66] .....	55
Obr. 65 Umístění linií měřené tvrdosti .....	56
Obr. 66 Linie měření tvrdostí .....	56
Obr. 67 Graf průběhu tvrdosti na vzdálenosti vpichů .....	57
Obr. 68 Vyšetřovaná oblast chemického složení vzorku RC 63 .....	58
Obr. 69 Plošná analýza s chemickým složením .....	58
Obr. 70 Závislost chemického složení na linii 5 .....	59
Obr. 71 Grafické znázornění intenzity prvků, průměrné chemické složení .....	59

## SEZNAM TABULEK

Tab. 1 Klasifikace NO dle AISI [10] .....	12
Tab. 2 Vybrané druhy karbidů [14] .....	17
Tab. 3 Chemické složení [6] .....	17
Tab. 4 Závislost mechanických vlastností na způsobu TZ [18] .....	19
Tab. 5 Značení plynu Ar v závislosti na čistotě plynu [22] .....	27
Tab. 6 Vlastnosti wolframu [30] .....	28
Tab. 7 Teplota tavení příměsí oxidu wolframových elektrod [20] .....	29
Tab. 8 Porovnání jednotlivých výstupních prací elektronů příměsí oxidů a wolframu [20] ...	29
Tab. 9 Doporučené wolframové elektrody pro renovaci tvářecích nástrojů a forem [20, 22] ..	29
Tab. 10 Chemické složení PM Cronitex 220 [46] .....	34
Tab. 11 Mechanické vlastnosti Cronitex 220 [47] .....	35
Tab. 12 Chemické složení PM Cronitex RC 60 [48] .....	35
Tab. 13 Mechanické vlastnosti Cronitex RC 60 [49] .....	35
Tab. 14 Chemické složení PM Cronitex RC 63 [50] .....	35
Tab. 15 Mechanické vlastnosti Cronitex RC 63 [51] .....	35
Tab. 16 Technické údaje svářečky [63] .....	41
Tab. 17 Podmínky navařování pro návar č. 1 .....	43
Tab. 18 Podmínky navařování pro návar č. 2 .....	44
Tab. 19 Bílá pryskyřice Superpont .....	45
Tab. 20 Černá epoxidová pryskyřice .....	45
Tab. 21 Porovnání tvrdosti výsledné návarové housenky .....	56
Tab. 22 Velikost TOO v závislosti na počtu renovací .....	57

## SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Materiálový list Caldie [6]
Příloha 2	Materiálová 2.2 atest Caldie [15]
Příloha 3	Technologický postup opravy [44]
Příloha 4	Materiálový list Cronitex 220 [46], [47]
Příloha 5	Materiálový list Cronitex RC 60 [48], [49]
Příloha 6	Materiálový list Cronitex RC 63 [50], [51]
Příloha 7	Makrostruktura rádius 2x, střed 3x, roh 5x
Příloha 8	Ternární diagram Fe – C – Cr (8 % Cr) [9]
Příloha 9	Hodnoty a grafy vzorku RC 60
Příloha 10	Hodnoty a grafy vzorku RC 63
Příloha 11	Navarovací protokoly [64]
Příloha 12	Místa vpichu tvrdoměrem
Příloha 13	Hodnoty naměřených tvrdostí rádius 2x, střed 3x, roh 5x
Příloha 14	Roh 5x
Příloha 15	Chemická liniová analýza RC 63

## GENERAL

Uddeholm Caldie is a chromium-molybdenum-vanadium alloyed tool steel which is characterized by:

- very good chipping and cracking resistance
- good wear resistance
- high hardness (>60 HRC) after high temperature tempering
- good dimensional stability in heat treatment and in service
- excellent through-hardening properties
- good machinability and grindability
- excellent polishability
- good surface treatment properties
- good resistance to tempering back
- very good WEDM properties

Typical analysis %	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
	0.7	0.2	0.5	5.0	2.3	0.5
Standard specification	None					
Delivery condition	Soft annealed to max. 215 HB					
Colour code	White/grey					

## APPLICATIONS

Uddeholm Caldie is suitable for short to medium run tooling where chipping and/or cracking are the predominant failure mechanisms and where a high compressive strength (hardness above 60 HRC) is necessary. This makes Uddeholm Caldie an excellent problem solver for severe cold work applications where the combination of a hardness above 60 HRC and a high cracking resistance is of utmost importance e.g. as in the blanking and forming of ultra high strength steel sheets.

Uddeholm Caldie is also very suitable as a substrate steel for applications where surface coatings are desirable or necessary.

### COLD WORK APPLICATIONS

- Blanking applications where high ductility and toughness are needed to prevent chipping/cracking
- Cold forging and forming operations where a high compressive strength combined with good resistance to chipping/cracking are necessary
- Machine knives

- Thread rolling dies
- Substrate for surface coatings

### UDDEHOLM COMPONENT BUSINESS APPLICATIONS

Uddeholm Caldie can be used in engineering applications where high compressive strength has to be combined with high ductility/toughness. Knives for fragmentation of plastics and metals and roll forming rolls are good examples.

## PROPERTIES

The properties below are representative of samples which have been taken from the centre of bars with dimensions 203 x 80 mm and Ø 102 mm. Unless otherwise indicated, all specimens have been hardened at 1025°C (1875°C), gas quenched in a vacuum furnace and tempered twice at 525°C (975°F) for two hours to 60–61 HRC.

### PHYSICAL PROPERTIES

Hardened and tempered to 60–61 HRC.

Temperature	20°C (68°F)	200°C (390°F)	400°C (750°F)
Density, kg/m <sup>3</sup> lbs/in <sup>3</sup>	7 820 0.282	–	–
Modulus of elasticity MPa psi	213 000 31.2 x 10 <sup>6</sup>	192 000 27.8 x 10 <sup>6</sup>	180 000 26.1 x 10 <sup>6</sup>
Coefficient of thermal expansion per °C from 20°C per °F from 68°F	– –	11.6 x 10 <sup>-6</sup> 6.4 x 10 <sup>-6</sup>	12.4 x 10 <sup>-6</sup> 6.9 x 10 <sup>-6</sup>
Thermal conductivity W/m °C Btu in/(ft <sup>2</sup> h°F)	– –	24 174	28 195
Specific heat J/kg°C Btu/lb°F	460 0.11	–	–

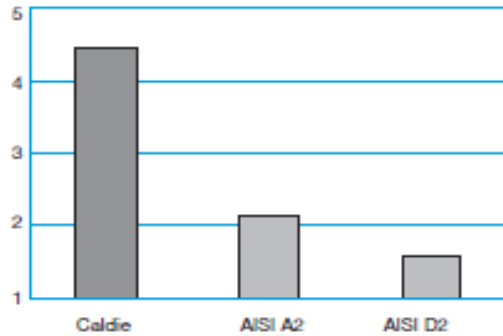
### COMPRESSIVE STRENGTH

Approximately compressive strength vs. hardness is shown in the table below.

Hardness HRC	Compressive yield strength, R <sub>c0,2</sub> (MPa)
58	2230
60	2350
61	2430

**CHIPPING RESISTANCE**

Relative chipping resistance for Uddeholm Caldie, AISI A2 and AISI D2 is shown below.



**STRESS RELIEVING**

After rough machining the residual stresses should be relieved by tempering at 650°C (1200°F), holding time 2 hours. Cool slowly in the furnace to 500°C (930°F), then freely in air to room temperature.

**HARDENING**

*Preheating temperature:* 600–650°C (1110–1200°F) and 850–900°C (1560–1650°F). In case of bigger dimensions (>150 mm cross section) a third preheating step at 930°C (1700°F) is recommended.

*Austenitizing temperature:* 1000–1050°C (1830–1920°F), normally 1020°C (1870°F), in case of bigger dimensions (>150 mm cross section) 1000°C (1830°F).

*Holding time:* 30 minutes after the tool is heated through.

*Note:* Holding time = time at hardening temperature after the tool is fully heated through. A holding time of less than recommended time will result in loss of hardness.

*The tool should be protected against decarburization and oxidation during hardening.*

Further information can be found in the Uddeholm brochure "Heat treatment of tool steels".

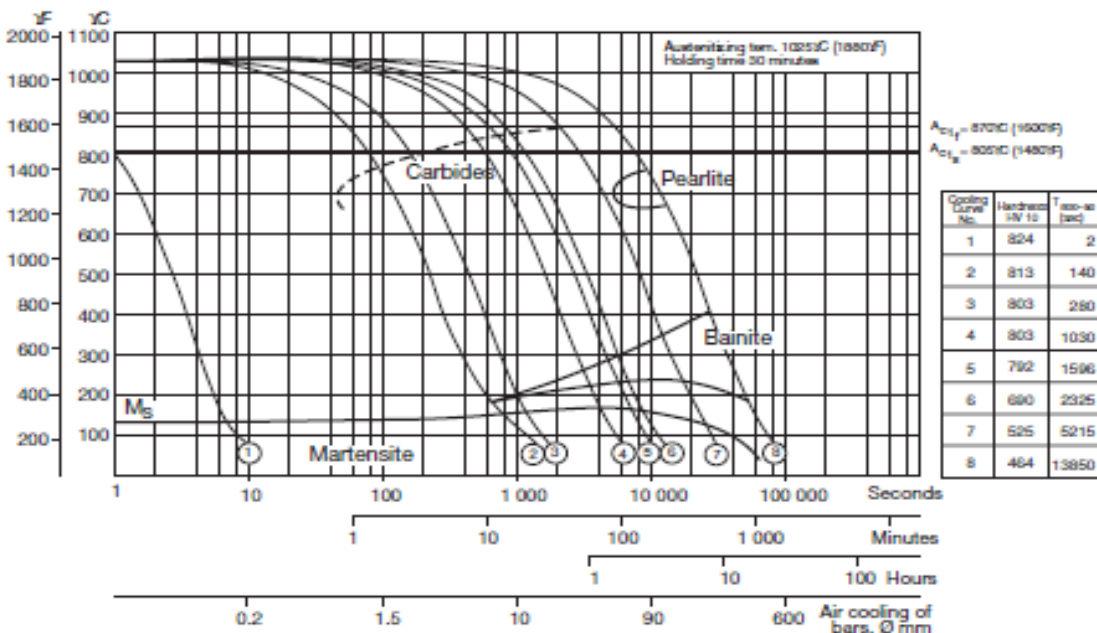
**HEAT TREATMENT**

**SOFT ANNEALING**

Protect the steel and heat through to 820°C (1510°F) wait for equalization of the temperature (equalization time related to the size of the tool). Then cool in the furnace at 10°C (20°F) per hour to 650°C (1200°F), then freely in air to room temperature.

**CCT-GRAPH**

Austenitizing temperature 1025°C (1880°F). Holding time 30 minutes.





**QUENCHING MEDIA**

- Vacuum (high speed gas with sufficient overpressure minimum 2 bar)
- Martempering bath or fluidized bed at approx. 200–550°C (390–1020°F)
- Forced air/gas

Note: Temper the tool as soon as its temperature reaches 50–70°C (120–160°F).

In order to obtain the optimum properties for the tool, the cooling rate should be as fast as possible with regards to acceptable distortion.

A slow quench rate will result in loss of hardness compared with the given tempering curves.

Martempering should be followed by forced air cooling if wall thickness is exceeding 50 mm (2").

**TEMPERING**

Choose the tempering temperature according to the hardness required by reference to the tempering graph below. Temper at least twice with intermediate cooling to room temperature. For highest dimensional stability and

ductility, a minimum temperature of 540°C (1000°F) and three tempers is strongly recommended.

Tempering at a lower temperature than 540°C (1000°F) may increase the hardness and compressive strength to some extent but also impair cracking resistance and dimensional stability. However, if lowering the tempering temperature, do not temper below 520°C (970°F). When tempering twice the minimum holding time at temperature is 2 hours. When tempering three times the minimum holding time is 1 hour.

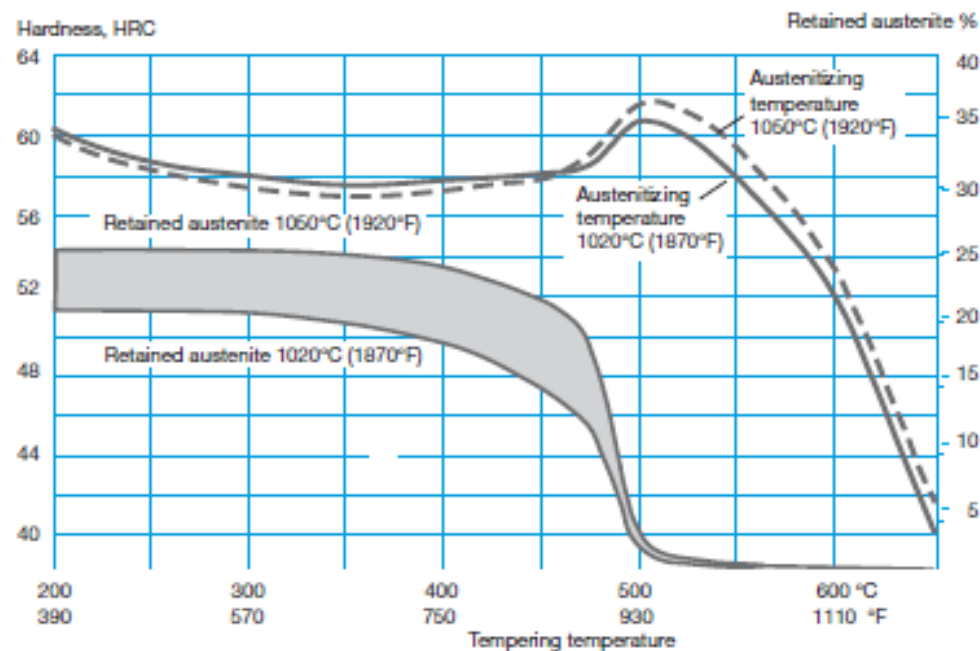
**TEMPERING TABLE**

Hardening temp.	Tempering temperature		
	540°C	550°C	560°C
1000°C* (1830°F)	57–59 HRC	56–58 HRC	54–56 HRC
1020°C (1870°F)	58–60 HRC	57–59 HRC	55–57 HRC
1050°C (1920°F)	59–61 HRC	58–60 HRC	56–58 HRC

For high dimensional stability min. 540°C (1000°F) and 3 x 1 h should be used.

\*Hardening temp. 1000°C (1830°F) should be used for cross sections >150 mm (6" thick).

**TEMPERING GRAPH**





Quality Assurance Company  
 Uddeholm Quality Assurance  
 c/o E. Nykvist P. Bengtsson A. Lundgren K. Carlsten  
 VaranProduct@zeongis

Uddeholm Caldie Bars  
 Annealed  
 Fyzikální požadavky/Anderungen  
 Hardness test  
 Ultra-sonic test

Extent of delivery  
 Item Pcs Kg Dimension Heat no  
 01 1 608 315.0 x 200.0 x 1200.0 mm K12291

Chemical composition %  
 C Si Mn P S Cr Mo V  
 0.73 0.21 0.49 0.008 0.0005 4.99 2.32 0.51

Hardness HB: 190

Ultrasonic testing: Approved

Original Dimension  
 315 x 200 mm

Heat No  
 K12291

Hardest analysis of deviation for shakedown of workpiece approved  
 Hereby is certified that the delivery has been manufactured and inspected according to order conditions  
 Hardest wird bestätigt, dass die Lieferung gemäss Beschreibungs-gem hergestellt und abgenommen worden ist

Uddeholm Sweden / Verordnungsverständnis

VKOrg UID0-CZ

UDDEHOLM AB  
 S-683 85 HAGFORS, SWEDEN  
 info@uddeholm.com

TELEFON  
 NAT 0303 170 00  
 INT +46 463 170 00





**Přidavné svařovací materiály a příslušenství  
pro údržbu, opravy a renovace**

**Systém řízení jakosti ČSN EN ISO 9001:2009**



WELCO spol. s r.o. 26. dubna 245 688 01 Uherský Brod tel./ fax: +420 572 637 924 e-mail : welco@welco.cz

## Technologický postup opravy

Firma :	PWO Czech Republic a.s.
Jméno :	P. Hrabovský *
Ulice :	Palackého 1261
Město, PSČ :	Valašské Meziříčí, 75701
Tel./fax/email :	571 612 924, 724 764 003

<p>Popis opravy, navržené řešení opravy, postup opravy, doporučený přidavný materiál</p> <p><b>Svařování oceli 1.2379 metodou WIG.</b></p> <p><b>Spojování - nezušlechtěný materiál :</b> Předehřev 650°C, přidavný materiál Croni WIG 220</p> <p><b>Spojování - zušlechtěný materiál :</b> V tomto stavu nedoporučujeme provádět spojování. ( Předehřev 250°C, přidavný materiál Croni WIG 220, výsledek nelze zaručit na 100%)</p> <p><b>Návar - nezušlechtěný materiál :</b> Předehřev 350°C, přidavný materiál Croni WIG Rc60 tvrdost po navaření 57-62 HRc (obrábění elektroerozivní nebo broušením) Předehřev 350°C, přidavný materiál Croni WIG Rc62 tvrdost po navaření 36-44 HRc (obrábění třískové)</p> <p><b>Navařování – zušlechtěný materiál (pořadí dle životnosti návaru):</b></p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Předehřev 250°C, přidavný materiál Croni WIG Rc 60, tvrdost po navaření 57-62 HRc</li> <li>2. Předehřev 250°C, přidavný materiál Croni WIG Rc 63, tvrdost po navaření 57-61 HRc</li> <li>3. Předehřev 250°C, přidavný materiál Croni WIG Rc 64, tvrdost po navaření 60-62 HRc</li> <li>4. Předehřev 250°C, přidavný materiál Croni WIG PM4, tvrdost po navaření 60-63 HRc</li> </ol>
--

Vypracoval :	Malík	Podpis :
Schválil :		Podpis :
Dne :	8.11.2016	Související číslo objednávky :

**Upozornění :** schválením technologického postupu opravy se zákazník zavazuje použít pro opravu přidavný svařovací materiál firmy WELCO. V případě realizace opravy jiným materiálem, bude zákazníkovi fakturována poradenská činnost ve výši 25% z hodnoty navržených materiálů WELCO. Při realizaci opravy navrženými produkty je poradenská činnost zahrnuta v ceně materiálu.

### Metallurgisch-technisches Datenblatt für CRONITEX - Schweißzusätze

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:

WIG-Stab

MIG-MAG-Draht

Laser-Draht

Stabelektrode

Füllstab/Fülldraht

**CRONITEX Bezeichnung: 220**

**Anwendung - Eigenschaften:**

Ferritisch-austenitische Sonderlegierung, nichtrostend (Naßkorrosion bis 300°C), sehr gute Zähigkeit und Warmrißsicherheit. Verbindung und Auftragung schwer schweißbarer ferritischer und martensitischer Chromstähle, Mischverbindungen mit austenitischen Stählen. Ideal für Pufferlagen, wenn anschließend Hartauftragungen mit mehr als 2 Lagen erfolgen.

**Richtanalyse % - Stähle**

C	Al	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Si	V	W	Stabilisierzusätze (Ce-Nb/Cb-B-Ti)	Su%
0,1			30,5		Rest	1,90	0,50	10,00	0,60	0,30		x	0,10

**Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle**

Ag	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Zulässige Zusätze (Be-Ti-Sb)	Su%

Die technischen Ergebniswerte sind von der Aufmischung zu den Grundwerkstoffen, sowie als Hinweis verfahrensabhängig. Die Richtwerte können den Katalogen entnommen werden.

Datum 06/1997

Qualitätswesen

CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH

# CRONITEX

## CRONITEX 220

### Vlastnosti

Vysoce legovaný přídavný svařovací materiál Cr-Mn-Mo-Ni-V. Houževnatý nekallitný svařový kov, dobře obrobitelný, netvoří trhliny. Nekorodující, odolný teplotám do +1350°C, snadno zpevnitelný za studena tlakem a rázy. Nelze chromovat.

### Použití - spojování, mezivrstvy a návary

Spojení těžce svařitelných ocelí, feritických a martensitických chromových ocelí, HSS a jiných vysoce legovaných nástrojových ocelí. U spojů ocelí pro práci za studena s 12% chrómu je u teplot pod 450°C možnost předehřátí, natavování s minimálním smícháním! Ideální pro vyrovnávání výše jmenovaných ocelí, pokud následuje nanášení více než 2 tvrdých vrstev.

### Základní materiál

Středně a vysoce legované chromové ocele, uhlíkové ocele.

### Mechanické parametry svařového kovu

Pevnost v tahu	840 N/mm <sup>2</sup>
Tažnost	25 - 33 %
Tvrdość po navaření	220 HB
Tvrdość po zpevnění	280 HB

Označení	Skladové číslo	Průměr mm	Balení kg
Croni WIG 220	07W10308	0,8	2,5
	07W10310	1,0	2,5
	07W10312	1,2	2,5
	07W10316	1,6	2,5
	07W10320	2,0	2,5
	07W10324	2,4	2,5
	07W10332	3,2	2,5
Croni-MAG 220	07M50308	0,8	15,0
	07M50310	1,0	15,0
	07M50312	1,2	15,0
Croni-MMA 220	07E30320	2,0	6,0
	07E30325	2,5	6,0
	07E30332	3,2	7,0
	07E30340	4,0	7,0
	07E30350	5,0	7,0
Laser 220	07L10303	0,3	cívka 150g
	07L10304	0,4	cívka 150g
	07L10305	0,5	cívka 150g
	07L10306	0,6	cívka 150g
	07X10303	0,3	cívka 20m
	07X10304	0,4	cívka 20m
	07X10305	0,5	cívka 20m
	07X10306	0,6	cívka 20m
	07S10303	0,3	tyčka 300mm/100g
	07S10304	0,4	tyčka 300mm/100g
	07S10305	0,5	tyčka 300mm/100g
	07S10306	0,6	tyčka 300mm/100g



WIG



MAG



MMA



LASER

### Metallurgisch-technisches Datenblatt für CRONITEX - Schweißzusätze

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:

WIG-Stab

MIG-MAG-Draht

Laser-Draht

Stabelektrode

Füllstab/Fülldraht

**CRONITEX Bezeichnung: Rc 60**

Anwendung - Eigenschaften:

Siehe CRONITEX Katalog "Produktgruppe 7", Seite 26

**Richtanalyse % - Stähle**

C	Al	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Si	V	W	Stabilisierzusätze (Ce-Nb/Cb-B-Ti) Su%	
0,4			7,20		Rest	1,30	1,80		0,40	0,30			0,3

**Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle**

Ag	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Zulässige Zusätze (Be-Ti-Sb) Su%	

Die technischen Ergebniswerte sind von der Aufmischung zu den Grundwerkstoffen, sowie als Hinweis verfahrensabhängig. Die Richtwerte können den Katalogen entnommen werden.

Datum 08/2002

Qualitätswesen

**CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH**

# CRONITEX

## CRONITEX Rc 60

### Vlastnosti

Speciální přídavný svařovací materiál s obsahem Cr, Mo a V a stabilizujícími prvky pro tvrdé povlaky na nástroje pro práci za studena a na tvářející nástroje, které obsahují více než 5% chromu. Vlastností zakalení na vzduchu po procesu svařování až do 61 HRc. Houževnatý svařový materiál pro stálost břitu. Lze tepelně zpracovávat stejně jako základní materiál. Je možná nitridace, hloubení, leštění a leptání. Možno pochromovat a povlakovat.

### Použití - návary

Opravy a úpravy nástrojů v kaleném stavu. U více než 3 vrstev by měla být 1.vrstva provedena WELCO 1660S nebo CRONITEX 220 za účelem vytvoření elastické mezivrstvy. Spoje do 3 vrstev před oblastí břitu svařovat také pomocí WELCO 1660S. Poslední vrstva CRONITEX Rc 60.

### Základní materiál

DIN : 1,2379 -1,2601-1,2436 -1,2080 -1,2363, SKD 11 a pod  
ČSN : 19 569 apod.

### Mechanické parametry svařového kovu

Tvrdost po navaření 2 vrstev : 59 HRc  
S mezivrstvou : 61 HRc

Označení	Skladové číslo	Průměr mm	Balení kg
Croni-WIG Rc 60	07W13410	1,0	2,5
	07W13412	1,2	2,5
	07W13416	1,6	2,5
	07W13424	2,4	2,5
Croni-MAG Rc 60	07M52510	1,0	15,0
	07M52512	1,2	15,0
Croni-MMA Rc 60	07E31925	2,5	7,0
	07E31932	3,2	7,0
Laser Rc 60	07L13502	0,2	cívka 50g
	07L13503	0,3	cívka 150g
	07L13504	0,4	cívka 150g
	07L13505	0,5	cívka 150g
	07L13506	0,6	cívka 150g
	07X13503	0,3	cívka 20m
	07X13504	0,4	cívka 20m
	07X13505	0,5	cívka 20m
	07X13506	0,6	cívka 20m
	07S13503	0,3	tyčky 100g
	07S13504	0,4	tyčky 100g
	07S13505	0,5	tyčky 100g
	07S13506	0,6	tyčky 100g



WIG



MAG



MMA



LASER

## Metallurgisch-technisches Datenblatt für CRONITEX - Schweißzusätze

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:

WIG-Stab

MIG-MAG-Draht

Laser-Draht

Stabelektrode

Füllstab/Fülldraht

**CRONITEX Bezeichnung: Rc 63**

**Anwendung - Eigenschaften:**

Siehe CRONITEX Katalog "Mit Erfolg Werkzeuge schweißen", Seite 22

**Richtanalyse % - Stähle**

C	Al	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Si	V	W	Stabilisierzusätze (Ce-Nb/Cb-B-Ti)		Su%
0,60			6,80		Rest	0,50	1,70		1,00	0,60		x	x	0,30

**Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle**

Ag	Al	Cr	Cu	Fe	Mg	Mn	Ni	Pb	Sn	Zn	Zulässige Zusätze (Be-Ti-Sb)		Su%

Die technischen Ergebniswerte sind von der Aufmischung zu den Grundwerkstoffen, sowie als Hinweis verfahrensabhängig. Die Richtwerte können den Katalogen entnommen werden.

**Datum** 12/2003

**Qualitätswesen**

**CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH**



# CRONITEX

## CRONITEX Rc 63

### Vlastnosti

Vysoce legovaný přídavný svařovací materiál Cr-W-V. Svarový kov je v martenzitické oblasti velmi houževnatý a dobře drží břit. Nitridovatelný.

### Použití - návary

Přednostně pro rychlé opravy kalených, vylomených střížných hran 12% chromových nástrojových ocelí při předehřátí cca 40°C pod popouštěcí teplotou základního materiálu. Břity, razníky, matrice, nože, vačky, sekací nástroje, šneky extruderů, formy pro plasty.

### Základní materiál

DIN: 1.2601 - 2080, 1.2201 - 2376 - 2379, 1.2362 - 2363 - 2436, 1.2880-2884, K360

ČSN: 19 436-19 569

### Mechanické parametry svarového kovu

Tvrdost po navaření WIG+MAG:

59-62 HRc

Tvrdost po navaření EL:

61-63 HRc

Po zakalení v oleji 1070°C:

60-63 HRc

Žihání 850°C/4 hod:

260 HB

Označení	Skladové číslo	Průměr mm	Balení kg
Croni-WIG Rc 63	07W12208	0,8	2,5
	07W12210	1,0	2,5
	07W12212	1,2	2,5
	07W12216	1,6	2,5
	07W12224	2,4	2,5
Croni-MAG Rc 63	07M52008	0,8	15,0
	07M52010	1,0	15,0
	07M52012	1,2	15,0
	07M52016	1,6	15,0
Croni-MMA Rc 63	07E32220	2,0	5,0
	07E32225	2,5	6,0
	07E32232	3,2	7,0
	07E32240	4,0	7,0
Laser Rc 63	07L12202	0,2	cívka 50g
	07L12203	0,3	cívka 150g
	07L12204	0,4	cívka 150g
	07L12205	0,5	cívka 150g
	07L12206	0,6	cívka 150g
	07X12203	0,3	cívka 20m
	07X12204	0,4	cívka 20m
	07X12205	0,5	cívka 20m
	07X12206	0,6	cívka 20m
	07S12203	0,3	tyčky 100g
	07S12204	0,4	tyčky 100g
	07S12205	0,5	tyčky 100g
07S12206	0,6	tyčky 100g	



WIG



MAG

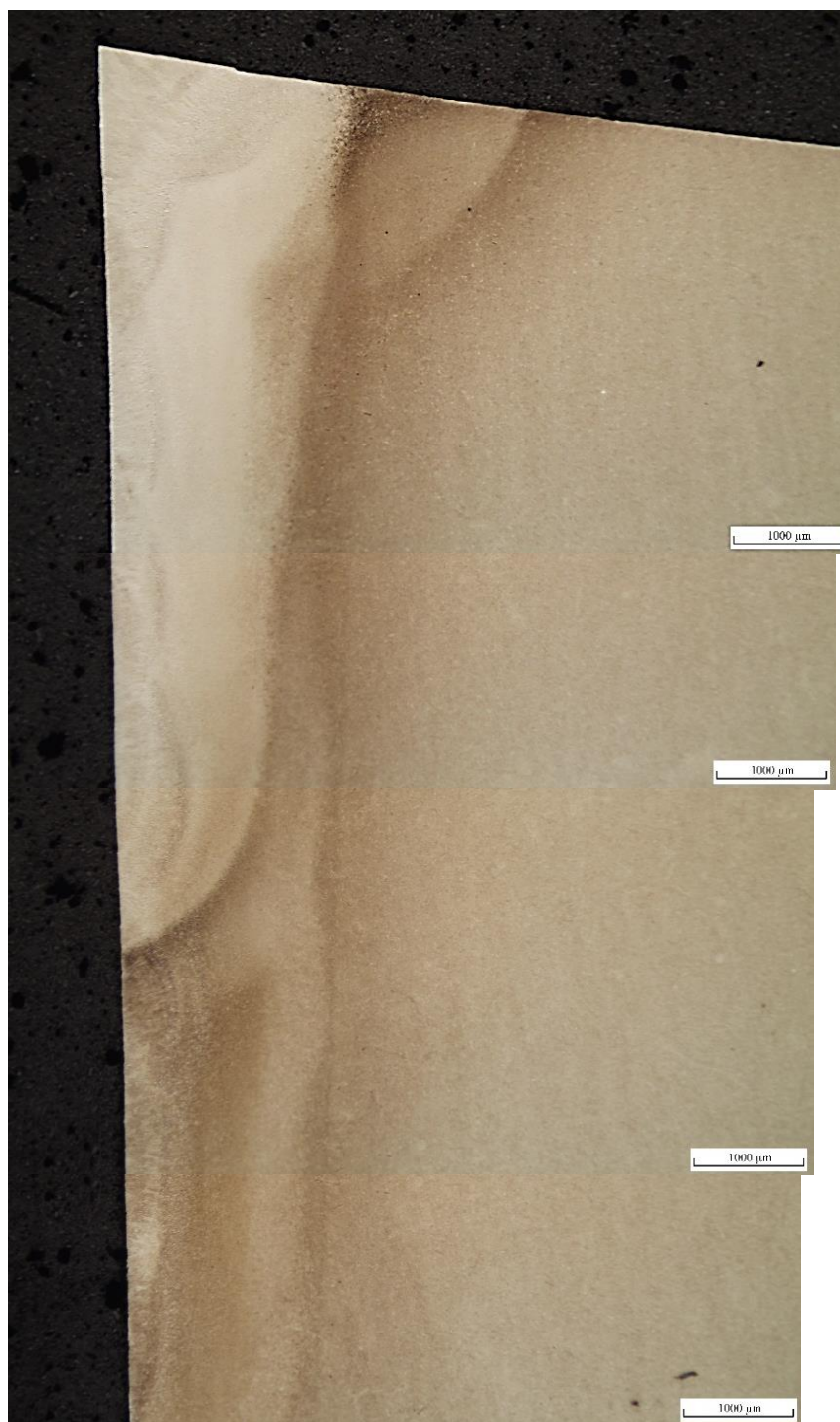


MMA

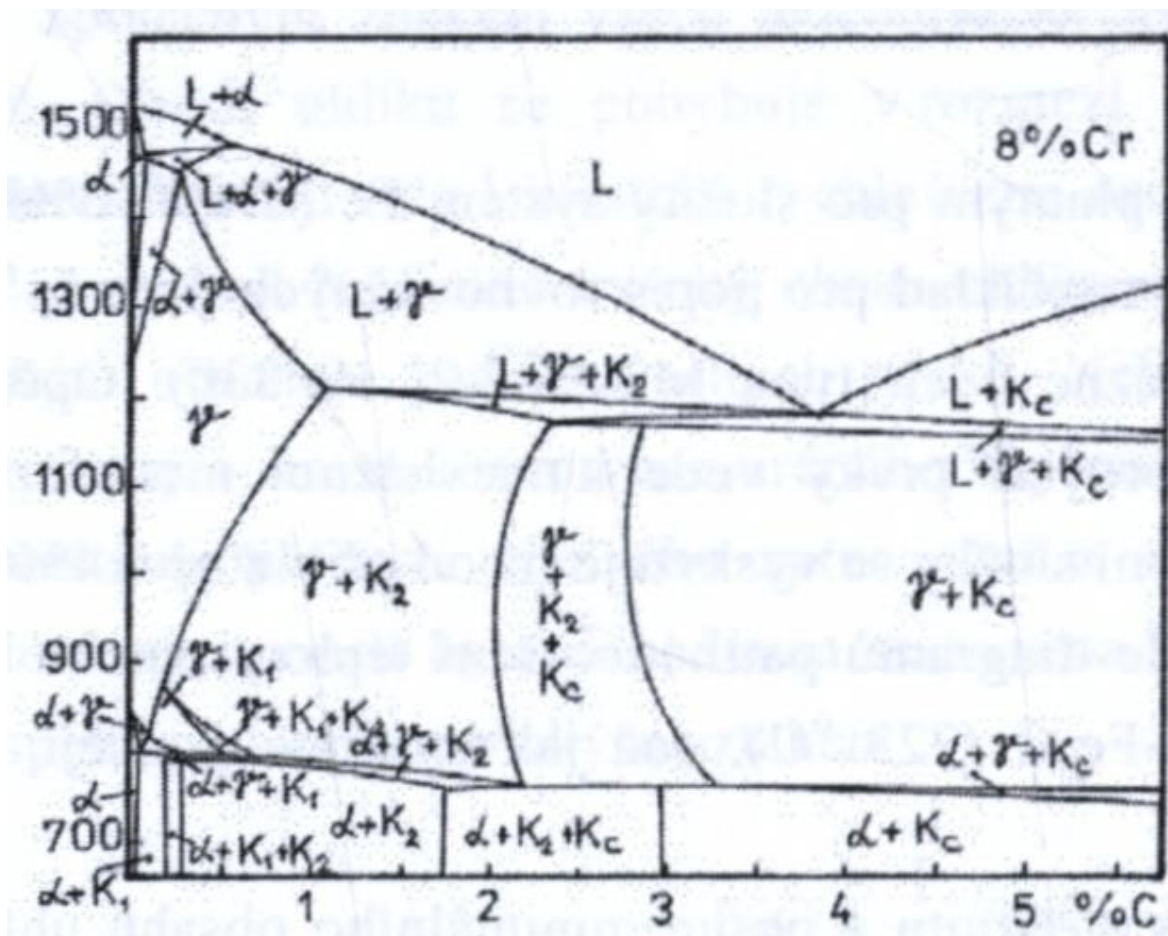


LASER

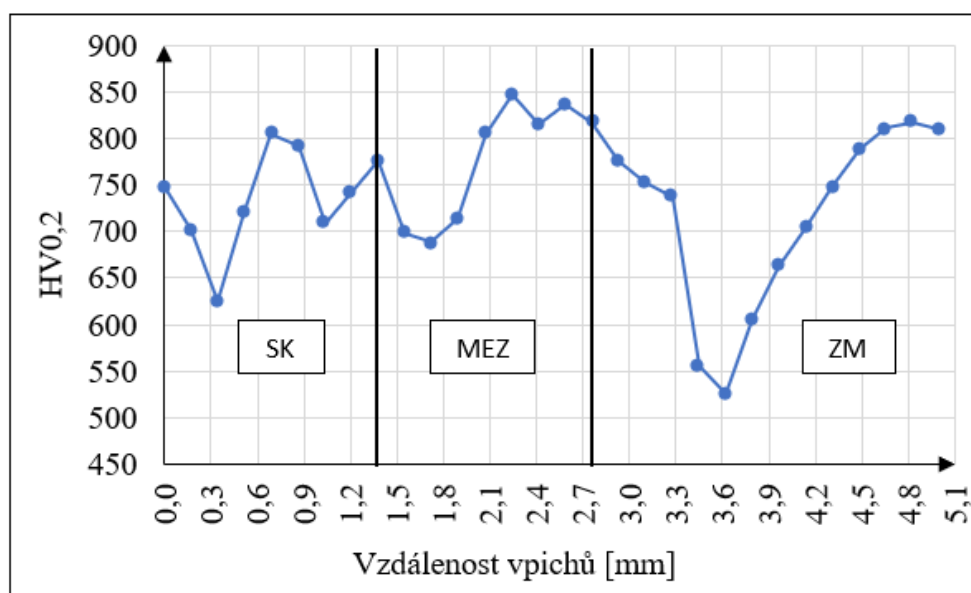








Číslo bodu	Vzdálenost vpichů [mm]	Linie [HV0,2]	Číslo bodu	Vzdálenost vpichů [mm]	Linie [HV0,2]
1	0,000	747	16	2,59	836
2	0,17	701	17	2,76	817
3	0,35	625	18	2,93	775
4	0,52	720	19	3,10	753
5	0,69	805	20	3,28	737
6	0,86	791	21	3,45	555
7	1,03	708	22	3,62	526
8	1,20	742	23	3,79	606
9	1,38	776	24	3,97	662
10	1,55	698	25	4,14	703
11	1,72	688	26	4,31	747
12	1,9	713	27	4,48	789
13	2,07	804	28	4,66	811
14	2,24	847	29	4,83	816
15	2,41	815	30	5,00	810



Číslo bodu	Vzdálenost vpichů [mm]	Linie [HV0,2]	Číslo bodu	Vzdálenost vpichů [mm]	Linie [HV0,2]
1	0	832	19	3,09	753
2	0,17	792	20	3,26	727
3	0,34	834	21	3,43	733
4	0,51	838	22	3,60	722
5	0,69	824	23	3,77	730
6	0,86	791	24	3,94	737
7	1,02	772	25	4,11	727
8	1,20	790	26	4,29	750
9	1,37	824	27	4,46	742
10	1,54	787	28	4,63	682
11	1,71	783	29	4,80	686
12	1,89	800	30	4,97	654
13	2,06	767	31	5,14	490
14	2,23	731	32	5,31	445
15	2,40	683	33	5,49	483
16	2,57	597	34	5,66	516
17	2,74	688	35	5,83	561
18	2,91	722	36	6,00	618

