



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POSOUZENÍ VHODNOSTI SVAŘOVACÍCH REŽIMŮ MIG PULSE A MIG DOUBLE PULSE NA OPRAVY KOVACÍCH ZÁPUSTEK

ASSESSMENT OF SUITABILITY WELDING MODES MIG PULSE AND MIG DOUBLE PULSE FOR REPAIRING OF FORGING DIE

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Vojtěch Sotolář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Josef Izák

BRNO 2023

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Vojtěch Sotolář**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Josef Izák**
Akademický rok: 2022/23

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

Posouzení vhodnosti svařovacích režimů MIG PULSE a MIG DOUBLE PULSE na opravy kovacích zápustek

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Zápustkové kování je proces tváření kovů, při němž dochází ke vtláčování polotovaru pomocí bucharu, nebo lisu do obvykle dvoudílné formy tzv. zápustky, za kovací teploty. Na materiál, ze kterého jsou vyrobeny zápustky jsou kladeny požadavky vysokých mechanických vlastností za zvýšených teplot. Z tohoto důvodu jsou zápustky vyrobeny z nástrojových ocelí pracujících za tepla. Zápustky se soustavným používáním opotřebují a je třeba jejich následná renovace.

Současně nejčastěji využívaná technologie pro opravy kovacích zápustek je technologie ruční obalované elektrody. Nevýhodou této metody je ovšem problém skladování, sušení elektrod aj. Jako vývojový stupeň pro nahrazení těchto metod navařování se nabízí technologie MIG.

Cíle bakalářské práce:

Vypracovat literární rešerši materiálů zápustek a vhodných technologií navařování.

Popsat a vyhodnotit podmínky a parametry navařování konkrétní zápustky.

Provést a kvalitativně, popřípadě i metalograficky, vyhodnotit struktury použitých návarů.

Zhodnotit vhodnost dané technologie k navařování kovacích zápustek.

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.

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

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

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2022/23

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zaměřuje na renovaci kovacích zápustek pomocí pulzních metod MIG pulse a MIG double pulse. Předmětem zkoumání byla část kovací zápustky z oceli Wr.Nr. 1.2343ESU (H11), avšak problém byl zjednodušen na navaření ploch 4 hranolů stejného typu materiálu. Hlavním cílem bylo zhodnotit, zdali lze tuto metodu využít k urychlení celého procesu renovace, jelikož rychlost navařování je její nespornou výhodou. Ke zkoumání vhodnosti renovace byly použity dva druhy přídavných materiálů. Pro tvrdý návar byl použit martenzitický materiál CRONITEX RC 58 a pro mezivrstvu austenito-feritický materiál WELCO A1660. Posouzení bylo zhotoveno na základě nedestruktivní vizuální zkoušky a pomocí destruktivních zkoušek makrostruktury, mikrostruktury a měření tvrdosti. Výsledky zkoušek zjistily, že konfigurace navařené kombinace tvrdého návaru a mezivrstvy je nevyhovující. Nejvhodnější se jeví navaření pouze tvrdého materiálu bez mezivrstvy.

Klíčová slova

MIG pulse, MIG double pulse, kovací zápustka, renovace, nástrojová ocel, Wr.Nr. 1.2343ESU

ABSTRACT

The bachelor thesis is focused on the renovation of forging dies by pulse methods, specifically MIG pulse and MIG double pulse. The subject of this research was a part of forging die made of steel Wr.Nr 1.2343ESU (H11), however the problem was simplified to the welding of four prisms with the same type of material. The main goal was to evaluate whether these methods can be utilized to speed up the entire renovation process as the welding speed is its undeniable advantage. There were used two types of welding materials to assess the suitability of the renovation. For the tough weld was used the martensitic material CRONITEX RC 58 and for the interlayer was used austenitic-feritic material WELCO A1660. The assessment was conducted based on the non-destructive visual test and also based on destructive tests of macrostructure, microstructure and hardness measurement. The experiment results showed that configuration of tough material with interlayer is inappropriate. The most suitable process seems to be the welding of only tough layer without any interlayer.

Keywords

MIG pulse, MIG double pulse, forging die, renovation, tool steel, Wr.Nr 1.2343ESU

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SOTOLÁŘ, Vojtěch. *Posouzení vhodnosti svařovacích režimů MIG PULSE a MIG DOUBLE PULSE na opravy kovacích zápustek* [online]. Brno, 2023. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/145843>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Josef Izák.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Posouzení vhodnosti svařovacích režimů MIG PULSE a MIG DOUBLE PULSE na opravy kovacích zápustek vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

.....
místo, datum

.....
Vojtěch Sotolář

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Josefu Izákovi za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat za spolupráci Ing. Václavu Kaňovi, Ph.D., Ing. Petru Bořilovi, Ing. Martinu Myškovi, Ing. Mariánu Sigmundovi, Ph.D., IWE, Ing. Karlu Němcovi, Ph.D. a panu Petru Malíkovi ze společnosti Welco s. r. o. Na závěr bych chtěl poděkovat rodině a přátelům za podporu během studia.

OBSAH

Zadání práce

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ.....	10
1.1 Varianty řešení	11
2 NAVAŘOVÁNÍ NÁSTROJOVÝCH OCELÍ	13
2.1 Technologie MIG	13
2.1.1 Příslušenství MIG technologie	14
2.1.2 Charakteristika MIG pulse a MIG double pulse.....	17
2.1.3 Řízení průběhu svařování	18
2.2 Nástrojové oceli.....	19
2.2.1 Výroba nástrojových ocelí.....	20
2.2.2 Struktura nástrojových ocelí	21
2.3 Svařitelnost nástrojových ocelí.....	23
2.3.1 Podíl vlivu chemického složení.....	24
2.3.2 Provedení návaru a příprava povrchu	24
2.3.3 Předehřev, interpass, chladnutí.....	25
2.3.4 Promíšení	25
2.3.5 Schaefflerův diagram.....	26
3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST	27
3.1 Základní materiál.....	27
3.1.1 Tepelné zpracování.....	27
3.2 Přídavné materiály.....	28
3.3 Provedení návarů technologií MIG	29
3.4 Provedení vizuální kontroly	32
3.5 Zhotovení metalografických vzorků.....	33
3.6 Výpočet promíšení	34
3.7 Zhodnocení makrostruktury	35
3.8 Provedení Schaefflerových diagramů.....	38
3.9 Zhodnocení mikrostruktury	39
3.10 Zhodnocení tvrdosti.....	43
ZÁVĚR.....	46

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

ÚVOD

V dnešní době je kladen velký důraz na efektivitu, kvalitu a ekonomičnost výroby v jakékoliv sféře průmyslu. Výdrž a životnost strojních součástí je velice sledovaný parametr ve všech odvětvích techniky. Poškozené, vyřazené, opotřebené součásti jsou již nepotřebné, ale koupě nových je značně finančně náročná. Kvůli financím jsou technologové stále více tlačeni vymýšlet, jak vyřazené součásti opravovat a vracet zpět do procesu s minimálně stejnou životností, jako nově vyrobené. Renovace bývají rychlejším řešením než výroba nové součásti, rovněž můžou sloužit ke zlepšení užitných vlastností. [1]

Součásti mají různé provozní podmínky, jsou namáhané přenášenými silami, působí na ně rázy, tlaky, tření, vysoké teploty (v případě rychlořezných nástrojů), nebo cyklicky se střídající teploty (v případě vstřikolisových nástrojů), rovněž vlivy prostředí. Ovlivňuje je též jejich chemické složení a způsob výroby. V praxi často dochází ke kombinovanému namáhání, což znamená více působivých vlivů najednou. Dochází k otlacení, trhlinám, lomům, deformacím, korozi atd. Renovace se provádí na základě výše zmíněných vlivů, které ji provázejí během provozních podmínek. Obnova geometrického tvaru a funkční vlastnosti změnou rozměru, nebo obnova původních rozměrů a geometrického tvaru funkčních ploch součástí. Původní tvar bývá obnoven pomocí nanášení materiálu. Nejčastějším způsobem je navařování. [1; 2]

Technologie svařování není využita jen na spojování součástí, ale i ke kladení speciálních vrstev materiálů s vysokým obsahem uhlíku a různých legur. Pomocí návarů se renovuje různá škála součástí jako jsou například ozubená kola, střižníky nebo kovací zápustky. Materiál zápustek musí splňovat vysoké požadavky, jako je rozměrová stálost, odolnost vůči popouštění, vysoká houževnatost aj. Z vyplývajících nároků roste počet využívaných materiálů. Příklad renovací je na obr. 1. [1; 2]



Obr. 1 Příklady renovovaných součástí [3; 4; 5].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Problematikou je renovace části kovací zápustky, která je ve stavu před renovací na obr. 2. Práce probíhá ve spolupráci s Firmou Welco spol. s.r.o. Firma sídlí v Uherském Brodě. Kovací zápustky jsou součástí procesu tváření kovů, při kterých je do zápustky pomocí bucharu, popřípadě lisu vtlačován polotovár. Kování probíhá za vysokých teplot. Materiál musí dodržovat přísné požadavky mechanických vlastností při vysokých teplotách, proto jsou vyráběny z nástrojových ocelí pracujících za tepla. [6]

Materiálem renovace je ocel Wr.Nr. 1.2343ESU (H11). Jedná se o chrom-molybden-vanadovou ocel s vysokou pevností za tepla a odolností vůči popouštění. Vykazuje velice dobrou rezistenci proti vzniku trhlinek způsobených tepelnou únavou. Disponuje houževnatostí, plastickými vlastnostmi, při zvýšených i pokojových teplotách. V zušlechťeném stavu byla tvrdost základního materiálu 57 HRC. [6; 7]

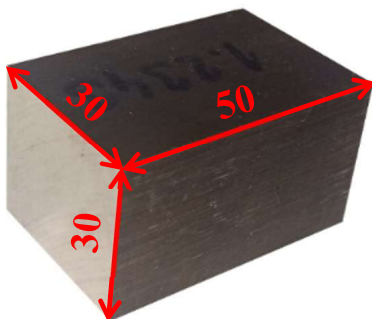
Opotřebovaná část bude renovována s mezivrstvou i bez využití mezivrstvy. Svařovací zdroj využit pro navařování byl iWELD 6253DP, který umožňuje využití režimů MIG pulse a MIG double pulse. Součást s mezivrstvou a tvrdým návarem lze vidět na obr. 3. Vzhledem k složitosti kovacích zápustek, možného tepelného ovlivnění a použití stejných parametrů pro porovnání, bude řešený problém zjednodušen na navaření čtyř hranolů. Rozměry každého hranolu jsou 30 x 50 x 30 mm, viz obr. 4. Příklad takto navařeného hranolu lze vidět obr. 5. Mezivrstva je navařena austeniticko-feritickým drátem WELCO A1660 a finální tvrdý návar drátem CRONITEX RC 58, který je po navaření samokalitelný. Oba materiály jsou dodávány firmou Welco spol s.r.o. Konfigurace těchto materiálů by měla zajistit dobré metalurgické spojení, zamezit difúzi mezi základním materiálem a tvrdou finální vrstvou, znemožnit tvorbu, iniciaci a šíření trhlin, díky samokalitelnosti tvrdé vrstvy návaru dosahovat potřebných mechanických vlastností pro danou aplikaci. Nespornou výhodou metody je rychlost navařování proti běžně užívaným technologiím. [8; 9; 10]



Obr. 2 Část zápustky před navařením.



Obr. 3 Část zápustky po navaření.



Obr. 4 Hranol před navařením.



Obr. 5 Hranol po navaření.

1.1 Varianty řešení

V průmyslu je mnoho metod využívaných za účelem renovací kovacích zápustek. Vytvoření návarové housenky lze v jiné kvalitě za jiných podmínek provést různě. Rozdíly budou ve velikostech návarů, oblasti vneseného tepla do svaru a s tím spojené větší, či menší tepelné ovlivnění v renovovaném místě. Změna se projeví také ve velikosti zrn v tepelně ovlivněné oblasti a tvrdosti materiálu v místě návaru. Metody využívané za účelem renovací jsou: [2]

- Renovace metodou WIG/TIG na obr. 6. Proces navařování je proveden v ochranné atmosféře inertního plynu netavící wolframovou elektrodou. Oblouk hoří mezi netavící se elektrodou a základním materiálem. Využívaný plyn je čistý argon nebo jeho směsi s jinými plyny. Výhodou této metody je provedení kvalitních návarů, modelovatelnost housenky a návarové plochy i návar je čistý bez rozstříku a zápalů kovu. Metoda je však pomalá a vyžaduje kvalifikovanou obsluhu. [11; 12]



Obr. 6 Renovace metodou TIG/WIG [13].

- Renovace metodou MMA na obr. 7. Návary prováděné elektrickým obloukem. Vzniká mezi základním materiálem a obalenou elektrodou, při jejich vzájemném dotyku. Elektroda se skládá z jádra, které má podobné složení jako svářený materiál. Důležitý je také obal sloužící k ochraně svarové lázně pomocí vzniku strusky. U renovací nástrojových ocelí se do obalu přidávají přísady ve formě kovových prášků pro dosažení požadovaného chemického složení a požadovaných vlastností. Hlavní výhodou metody je možnost navařovat v těžce přístupných místech a minimální vnesené teplo. Hlavní nevýhodou je nesporně vlhkost, která ovlivňuje kvalitu elektrod a následného navařování. Proto je nutnost vysoušet elektrody v pecích, což je v dnešní době z energetických a časových důvodů náročné. Není možná robotizace. Na návarech se také tvoří struska, která zůstává v návaru a následně vzniká nutnost strusku odstranit. [2; 14; 15]



Obr. 7 Renovace metodou MMA [16].

- Renovace pomocí laseru, který je vidět na obr. 8. Přídavný materiál (prášek, drát) je do místa návaru přiváděn pod mikroskopickým přístrojem přímo do místa oprav. Laserový paprsek je vysoce koncentrovaný a tenký, díky čemuž dochází k natavení přesně definovaného množství materiálu bez výraznějšího tepelného ovlivnění, ovšem metoda je drahá a pomalá. Kvůli pórovitosti musí být do svaru dodáván ochranný plyn, většinou argon, ale i jeho kombinace s heliem a oxidem uhličitým. Výhodou je, že paprsek neobsahuje boční vyzařování, což nám umožňuje navařovat velmi malé detaily, jako jsou například hrany a různé zakřivené tvary. Další výhodou je robotizace, která je v dnešní době dále více využívána. Nevýhodné je využití pro návary kovacích zápustek, jelikož je nutnost vyvařit velké plochy, což by bylo drahé a hůře dostupné pro firmy. [2; 17; 18; 19]



Obr. 8 Renovace pomocí laseru [19].

Zvolená byla metoda renovace pomocí metody MIG. Konkrétněji metod MIG pulse a MIG double pulse. Klasická metoda MIG se při návarech nevyužívá kvůli velkému množství vneseného tepla do základního materiálu a tím způsobující trhlinky v návarech. Oproti tomu pulsní metoda nabízí menší vnesené teplo a kvalitnější návary. Rovněž skladování materiálu není náročné jako například u metody MMA. Nabízí možnost robotizace renovací. Výhodou je také významně větší rychlost renovace oproti ostatním metodám. Na tento způsob renovace bude zaměřená teoretická a praktická část. [20; 21]

2 NAVAŘOVÁNÍ NÁSTROJOVÝCH OCELÍ

Nástroje tvořené z nástrojových ocelí, tvoří specifickou skupinu se speciálními požadavky na tepelné zpracování, navařování a celkové renovace opotřebovaných součástí. Hlavními požadavky jsou tvrdost, houževnatost, kalitelnost, prokalitelnost a odolnost vůči popouštění, které jsou často protichůdné. Těchto vlastností se dosahuje již při výrobě nástrojů. Při renovacích záleží na volbě navařovacího materiálu, posouzení rozsahu renovace a druhu mechanického namáhání, kterým daný nástroj odolává. [22; 23; 24]

2.1 Technologie MIG

Technologií MIG (Metal Inert Gas) na obr. 9 se rozumí nanášení kovové tavicí se elektrody ve formě drátu, který je navinutý na cívce. Drát je většinou podáván pomocí kladkového mechanismu přes vodící hadici, hořák až do lázně návaru. Oblouk hoří mezi základním materiálem a elektrodou v uzavřeném elektrickém obvodu řízeném zdrojem. Během navařování se tvoří tavná lázeň, ve které dochází k přenosu materiálu pomocí elektromagnetických sil. Její ochrana se zajišťuje pomocí plynů. Hojně je používán argon, nebo také jako směs s heliem. Takové plyny jsou inertní, což znamená, že plyn se nepodílí na formování a přístupu atmosféry do tavné lázně, a proto je vhodný k použití sváření neželezných kovů, hliníku, titanu a k návarům nástrojových ocelí. [2; 25]



Obr. 9 Obloukové svařování MIG [26].

Hlavní předností renovací metodou MIG je zvýšená produktivita, nízké náklady a nenáročnost práce se zařízením. Nízké náklady jsou dány převážně uskladněním materiálu a plynů. Na rozdíl od metody MMA, kdy je zapotřebí elektrody před použitím nechávat dlouhou dobu ve vysoušecích pecích, které mnohdy bývají energeticky náročné. Nevýhodou oproti jiným metodám však bývá velké množství vneseného tepla do svaru, což způsobuje výrazné zhoršení jeho kvality. Teploty oblouků jiných metod, pro orientaci společně s metodou MIG jsou vypsány v tab.1. [2; 14; 25]

Tab. 1 Teplota sloupce oblouku jednotlivých svářecích metod [27].

Metoda	Teplota oblouku [°C]
MMA	4200–6400
WIG	6200-9000
MIG/MAG	8000-15000

2.1.1 Příslušenství MIG technologie

K eliminaci vneseného tepla do svarů došlo díky zdokonalení zdrojů na obr. 10, tj. charakteristikám využívaným ke svařování, můžeme modulovat proud, napětí během navařování (svařování), jenž se s výhodou používá k pulznímu navařování (svařování). [2; 21]

Zdroje jsou významnou částí při pulzní metodě svařování MIG. Klademe na ně vysoké požadavky hlavně kvůli efektivitě výroby a kvalitě návarů. Rovněž musí dodržovat přísné bezpečnostní předpisy. [2]

Odborníci uvádějí požadavky na svařovací zdroje následovně:

- stabilita oblouku a dobrý zápal,
- jednoduchá regulovatelnost svařovacího proudu, dle druhu svařování i regulace napětí,
- konstantní výkon a vysoká efektivita,
- druhu proudu, způsobu svařování odpovídá napětí naprázdno, které nesmí přesáhnout přípustné hodnoty,
- způsobu sváření musí odpovídat statická charakteristika,
- odolnost vůči krátkodobým zkratům při přenosech kovu z elektrody,
- po zkratu musí být zabezpečen rychlý nárůst svařovacího napětí dynamickou charakteristikou,
- konstrukce zajišťuje bezpečnost provozu dle platných norem a předpisů,
- obsluha musí být jednoduchá a nenáročná,
- jednoduchá detekce závad a odstranění, vysoce kvalitní provozní spolehlivost,
- dostupné ceny a energetická nenáročnost provozu. [2]

Dalšími funkcemi zdrojů využívaných pro pulzní svařování by měla být dobrá modulace výstupních proudů. Musí být zajištěna nastavitelnost, aby šlo vhodně volit hladiny základního proudu, měnit poměr impulzního proudu k proudu základnímu. Buďto stupňovitě, plynule nebo může být změna poměru šířek impulzů k periodě mezery daného proudu. Dále by zdroje měly zajišťovat skokovou, strmou, případně sestupnou změnu proudu. [2; 21; 28]

Nejvyužívanější jsou právě invertorové zdroje a jejich digitalizace. Invertorové zdroje usměrňují vstupní střídavé napětí sítě a pomocí měniče jej mění na střídavé napětí o vysoké frekvenci. Vysokou frekvencí získáváme rovnoměrné využití napětí ze sítě. Zároveň snižujeme hmotnost transformátoru a jeho náklady na výrobu. Zdroje jsou v dnešní době digitalizovány, což umožňuje zvýšení jejich využitelnosti. Pomocí programu je možné nastavit optimální parametry pro svařování, kombinovat tyto parametry a vytvářet vhodné pracovní podmínky pro svářeče. [2; 21; 28]



Obr. 10 Svářecí zdroje [29; 30].

K zařízení na obr. 10 jsou přiřazeny další důležité části, buďto externě, nebo interně, mezi které patří:

- Hořák pro navařování na obr. 11 zajišťuje přivedení drátu do svarové lázně. Rovněž zajišťuje přenos elektrického proudu na drát (elektrodu) a proud inertního ochranného plynu. Pro MIG se využívají hořáky chlazené přiváděným plynem, avšak u vyšších výkonů je potřeba chlazení pomocí uzavřeného chladicího okruhu destilovanou vodou. Každý hořák obsahuje tzv. strojní a ruční část. Ruční je opatřena rukojetí a spínačem pro ovládání svářecem. Strojní část má více částí. Tvarovou trubku zakončenou kontaktním průvlakem sloužící jakožto napáječ proudu drátu, ústí trubice pro přivádění ochranného plynu a plynovou trysku. Průvlak sloužící pro přívod proudu do drátu je vyroben kvůli dobré vodivosti z mědi a ošetřen proti opotřebení pomocí legur chromu. V místě otvoru pro vedení je průměr díry o 0,2 mm větší než průměr drátu. Tryska pro přívod plynu musí zajistit do určité vzdálenosti laminární proudění z důvodu rovnoměrného pokrytí lázně a tím zabránit vzniku nežádoucích vlivů na kvalitu svaru. [2; 28]



Obr. 11 Svářecí hořáky [31].

- Ochranné svářecí plyny zajišťující ochranu tavné lázně jsou jednou z nejdůležitějších součástí metody MIG. Mají významnou zásluhu na přenosu tepelné energie do návaru. Chrání lázeň před vlivy okolí, jelikož plyny okolní atmosféry mají nežádoucí účinek na navařovaný materiál. Způsobují oxidaci, nitridaci a tím zhoršují mechanické vlastnosti návarů a svařovaných kovů. Fyzikální vlastnosti jsou uvedeny v tab.2. Skladován a čerpán je z tlakových nádob. V případě metody MIG je využíván Argon 4.6 hlavně kvůli jeho dostupnosti a ceně. Číslo plynu značí čistotu, udává, kolik O₂, vlhkosti se v plynu vyskytuje. Značení bývá na kolku víka zelené tlakové láhve. [2; 20; 28]

Tab. 2 Fyzikální vlastnosti Argonu [32].

Název plynu	Argon
Chemický vzorec	Ar
Hustota [kg/m ³] plynu při 15 °C	1,691
Bod varu [°C]	-185,9
Kritická teplota [°C]	-122,3
Kritický tlak [kPa]	4898
Tepelná vodivost [mW/mK]	16,36

- K renovacím se využívají různé pojivové materiály na obr. 12. Každý druh pojivového materiálu zlepšuje jiné mechanické vlastnosti dané dle potřeby součástky. MIG se využívá především u větších renovačních prací. Kombinací přídavných materiálů a plynů, lze vytvořit vhodné podmínky pro vznik požadovaných návarů. [2; 20]



Obr. 12 Cívky s 5 kg a 10 kg přídavného materiálu [33].

- Podavač drátu na obr. 13 zařizuje rovnoměrné podávání drátu z cívky umístěné většinou uvnitř zdroje přes bowden až do hořáku bez poškození a deformace jeho povrchu. Většinou je podávání zajištěno pomocí kladkového mechanismu. Ten je realizovaný jednou, dvěma, čtyřmi kladkami s různými typy drážek. Podavače jsou umístěny rovněž v těle svářecího zdroje. Kladky jsou poháněny elektromotorem ovládaným systémem zdroje, aby byl zajištěn konstantní posuv drátu. Začne-li rychlost kolísat, okamžitě se to negativně projeví na kvalitě svarů a bude docházet k chybám, jako je propálení materiálu, špatná kresba housenky atd. [2; 28; 34]

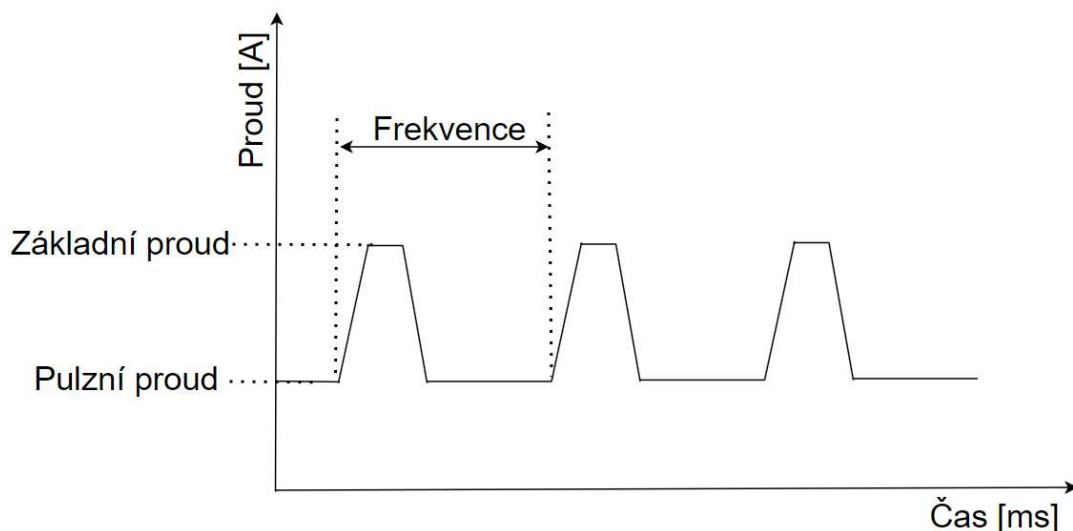


Obr. 13 Čtyřkladkový podavač drátu [35].

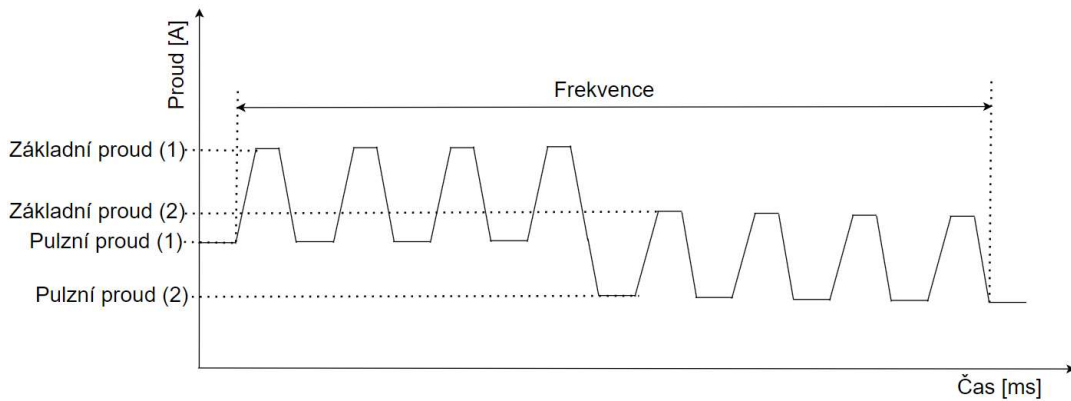
2.1.2 Charakteristika MIG pulse a MIG double pulse

Základním principem svařování metodou MIG je pulzní přenos. Ten je možný díky novodobým inverterovým zdrojům, dovolující řízení elektrických veličin podílejících se na svařovacím procesu. K přenosu dochází mezi základním materiálem a elektrodou (drát). Pulzní oblouk je ideálně bezrozstříkový a nedochází ke styku elektrody s tavnou lázní. Trik je ve střídání základního proudu a pulzního proudu zdroje. [2; 21; 36]

U „Pulse“, viz obr. 14 je hodnota proudu základního, oproti pulznímu výrazně vyšší. Má za úkol generovat teplo k přenosu kapky z elektrody a tvorbě průvaru. Oproti tomu proud pulzní pouze udržuje elektrický oblouk a tavnou lázeň kapalnou. U „Double Pulse“, viz obr. 15 přenosu můžeme laicky říct, že dochází ke střídání dvou pulzních přenosů, vyššího a nižšího proudu. [2; 21; 36]



Obr. 14 Schéma pulzního přenosu v závislosti proudu na čase [21].



Obr. 15 Schéma Double Pulse přenosu v závislosti proudu na čase [21].

Během přenosu dochází k tzv. „pinch“ efektu, což je seškrčení odtavujícího se materiálu a vzniku kapky. Zvláštností je, že kapka se neuvolňuje během intervalu vysokého proudu, ale až na jeho konci těsně poté, než se kapka uvolní a sprchovým proudem se dostane do tavné lázně pulzního proudu. Pozitivitou pulzního přenosu jsou malé kapky stejně v celé oblasti výkonu a menší vnesené teplo do svařovaného kovu než u klasického zkratového přenosu. Ke změně dochází pouze u pulzů. Počty pulzů ovlivňují počet kapek. [21; 36]

2.1.3 Řízení průběhu svařování

Svařovací přístroje obsahují zabudovanou řídicí jednotku ve zdroji. Ovládání jednotky je převážně realizováno na zdroji. Využity jsou tyto druhy řízení: [2; 28]

- dvoutaktní režim, kde se po sepnutí spínače spustí plyn a následně posuv drátu se svařovacím proudem. Po dobu sepnutí spínače svařujeme a po uvolnění spínače vypneme posuv, přívod proudu a plyn. Režim je vhodný na stehování a krátké svary,
- čtyřtaktní režim používáme při delších návarech. Nejprve stiskneme spínač a pustíme plyn, posléze se po uvolnění spustí posuv drátu a plyn. Po opětovném sepnutí spínače vypneme posuv, přívod proudu a uvolněním vypneme plyn,
- speciální čtyřtaktní režim je vylepšen horkým startem po sepnutí a uvolněním proud klesne na přednastavenou hodnotu. [2; 28]

Obsluha zdroje si následně může nastavovat další parametry, viz obr. 16, které přístroj umí vyhodnotit a pomocí programu vylepšit podmínky pro svářeče. Jelikož stroj reguluje automaticky posuv drátu můžeme navolit jeho tloušťku a typ. Abychom zajistili lepší zapalování oblouku, můžeme nastavit tzv. „hot start“, který nám dodá více proudu do elektrody při zahájení svařování. Při pulzním svařování regulujeme frekvenci pulzů, délku a rozdíl proudů. K ochraně svarové lázně nastavujeme „předfuk“ k zajištění proudu plynu ještě před zahájením svařování a „dofuk“ k proudu plynu po oddálení elektrody do tuhajícího kovu a zabránění vzniku pórů. [2; 28; 36]



Obr. 16 Nastavení parametrů na svářecím zdroji.

2.2 Nástrojové oceli

Za nástrojové oceli jsou považovány velice ušlechtilé materiály. Na tyto materiály jsou kladeny vysoké požadavky, často až protichůdné. Musí mít vysokou tvrdost a pevnost, některé naopak mají snížené mechanické vlastnosti, aby se dosáhlo houževnatosti. Nástroje také musí pracovat za zvýšených teplot, proto je v těchto tepelných podmínkách nutné zachovat mechanické vlastnosti. Ocele pro práci za tepla se nejčastěji využívají jako kovací zápustky, nebo u extrémních případů rychlořezných ocelí. Žádanou je také odolnost proti abrazivnímu a adhezivnímu opotřebení. Nástrojové oceli jsou velmi specifické a při výrobě je kladen důraz na snížení obsahu vměstků a nečistot. Mimo jiné je důležité rovnoměrné rozložení karbidů v matici kvůli zajištění homogenních mechanických vlastností v celém průřezu nástroje a aby během navařování nebyla karbidická řádkovitost iniciátorem trhlin. U nástrojových ocelí s větší tloušťkou stěny, složitými tvary je potřebné dosáhnout velké prokalitelnosti, odolnosti proti korozi. Když je požadována vysoká tvrdost povrchu a houževnaté jádro, využívají se nízkolegované nebo nelegované cementační oceli. Může se také provádět speciální tepelné zpracování. V důsledku rozmanitosti použití, vyžaduje každá aplikace různé specifikace nástroje. Kvůli protichůdnosti je správnost volby mnohdy velmi komplikovaná a důležitá. Proto jsou oceli děleny do různých kategorií (dle chemického složení, užitných vlastností apod.). Dle normy AISI v tab. 3. [22; 24; 37] Podle chemického složení lze oceli rozdělit na:

- nelegované,
- legované,
- rychlořezné. [24]

Dle druhu ochlazovacího média:

- ochlazované na vzduchu,
- kalené do oleje,
- kalené do vody. [24]

Dělení dle využití:

- NA – ocele na řezné nástroje,
- NB – ocele na nástroje pro stříhání,
- NC – ocele na nástroje pro tváření,
- ND – ocele na formy,
- NE – ocele na nástroje pro mletí a drcení,
- NF – ocele na ruční nástroje a nářadí,
- NG – ocele na měřidla,
- NH – ocele na upínací nářadí. [24]

Klasifikace nástrojové oceli, která je předmětem práce má označení dle normy ČSN 19 552, W.Nr. 1.2343ESU a AISI H11. [7]

Tab. 3 Klasifikace dle normy AISI [38].

Skupina	Značka AISI	Charakteristika
NO kaleny ve vodě	W	
NO pracující za studena	O	Kalené v oleji
	A	Kalené na vzduchu
	D	Velký obsah C a Cr
Odolné proti rázům	S	
Rychlořezné NO	T	Na bázi W
	M	Na bázi Mo
NO pracující za tepla	H	Na bázi Cr, W, Mo
NO pro formy	P	
Speciální NO	L	
	F	

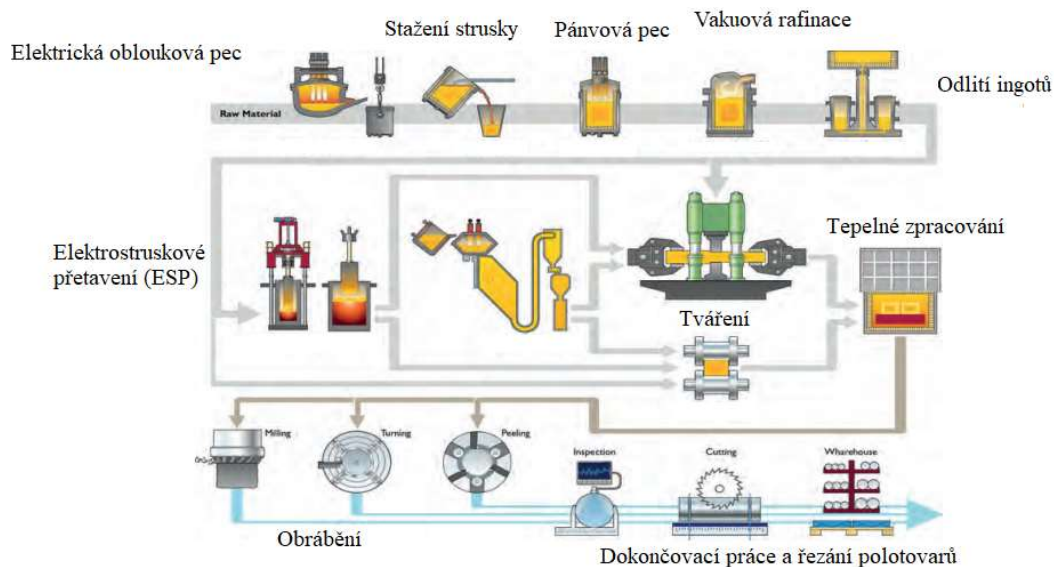
2.2.1 Výroba nástrojových ocelí

Kladené požadavky na výrobu nástrojových ocelí jsou vysoké z důvodu výsledných vlastností. Procesy zhotovování ocelí mají přísné postupy k dosažení vysoké jakosti produktů, jako je trvanlivost během extrémního zatěžování, spolehlivost, odolnost vůči opotřebení atd. V dnešní době je mnoho způsobů, jak nástrojové oceli vyrábět, tepelně zpracovávat a zvyšovat mechanické vlastnosti pomocí například povlaků. U metod záleží převážně na chemickém složení dané oceli a z tohoto důvodu není jednotný postup pro výrobu. [22; 24; 37; 39]

Využívány jsou především technologie s procesy tuhnutí taveniny. Základním faktorem je postup primárního procesu krystalizace, jelikož při vzniku nerovností a vad nelze tyto problémy během dalšího průběhu výroby odstranit. [24; 39]

Ke konvenčním způsobům výroby patří primární metalurgické tavení v elektrických obloukových pecích nebo indukčních pecích, elektrostruskové sekundární přetavování elektronovým paprskem, vakuové přetavování, odlévání do kokil a tuhnutí ingotu. Dále také procesy tváření (válcování za tepla, za studena, kování) a finální tepelné zpracování pro získání požadovaných mechanických vlastností výrobku, viz obr. 17. [22; 24; 37; 39]

Jak už bylo řečeno, primární fází je tavení šrotu (výběr dle chemického složení) v elektrických obloukových pecích pro zajištění čistoty oceli a tím rovnoměrné chemické složení. Natavená ocel se posléze slévá do pánvové pece, aby byly provedeny sekundární rafinační operace, jako je AOD (argon oxygen decarburization), což je průběžné míchání v argonu k deoxidaci a odsíření nebo VOD (vakuum oxygen decarburization) dojde při stálém míchání k odvodu oxidu uhelnatého a ostatních nežádoucích prvků, jako je dusík, síra aj. Po dosažení žádaných vlastností je tavenina slita do odlévací stanice, kde tuhne. Ztuhnutá ocel je následně elektrostruskově přetavena z důvodu odstranění škodlivin v podobě síry a fosforu na hodnotu pod 0,001 % a dosažení stejného chemického složení konečné struktury. Rovněž dosáhneme rovnoměrného rozložení karbidů ve struktuře nástrojové oceli. [22; 24; 37; 39]



Obr. 17 Postup konvenční výroby nástrojových ocelí [40].

Po odlití následuje proces tuhnutí. Během procesu tuhnutí by se s nádobou nemělo jakkoliv manipulovat, aby došlo k rovnoměrnému tuhnutí, neboť by procesy v sekundární fázi zpracování nedokázaly odstranit vzniklé chyby v primární fázi. Čas tuhnutí závisí na velikosti ingotu. Následně by se ze ztuhlého ingotu měly co nejdříve odstranit nálitky. Podle výrobního postupu se ingoty nechají ztuhnout na vzduchu, za tepla kovají, nebo se vkládají do válcovací stolice. Doba ochlazení závisí na obsahu uhlíku. Polotovar se také může ochlazovat v izolovaných boxech, nebo být žhán a následně ochlazen. Výsledný ingot je po ztuhnutí připraven na další procesy. [22; 24; 39]

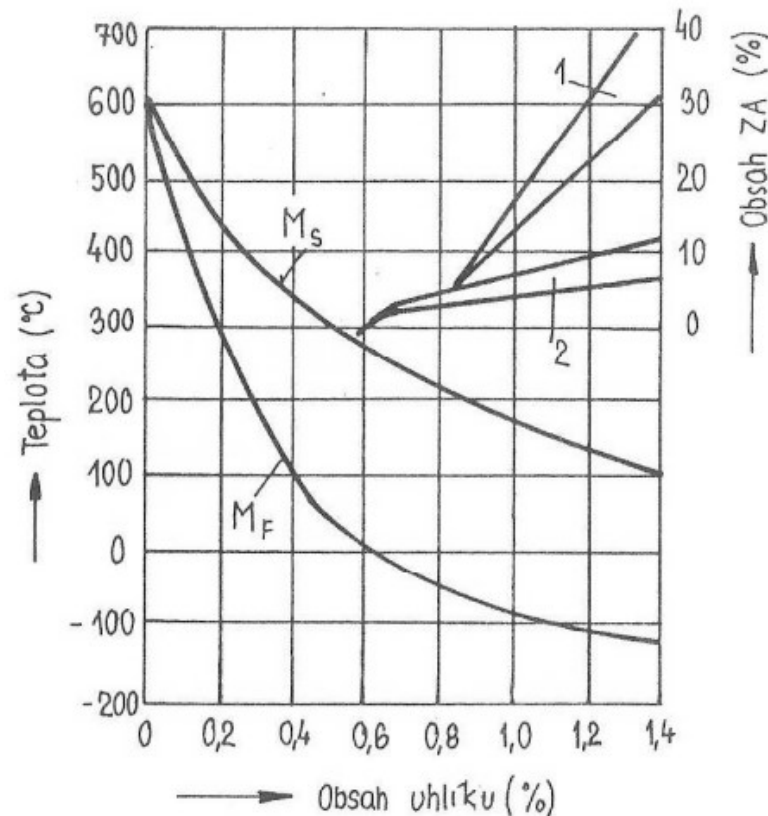
Tváření za tepla je proces následující po ztuhnutí ingotu. Hlavními výstupy tváření za tepla by měla být eliminace mikro a makro pórovitosti, zjemnění struktury a dosažení lepších mechanických vlastností materiálu k snazšímu vytvarování finálního tvaru výrobku. Využívá se především kování, válcování, tažení. [22; 24; 39]

Pro nástrojové oceli pracující za tepla je požadována velmi jemná mikrostruktura po celém průřezu. Této mikrostruktury se dosahuje přísným řízením precipitace karbidů a deformací ke konci formovacího procesu. Omezení tepelné vodivosti je významný úkol pro řízení procesu hlavně pro větší průměry, jelikož jsou typické pro tento druh ocelí. [22; 24; 39]

Po tvářecích procesech přichází na řadu tepelné zpracování nástrojových ocelí. Zlepšuje se živostnost, jakost a spolehlivost nástroje. Zpravidla se ocel ohřívá na určité teploty, výdrží na této teplotě a ochlazení. Při zpracování je kladen velký důraz na technologické postupy žhání, popouštění, austenitizaci aj. [22; 24]

2.2.2 Struktura nástrojových ocelí

Nástrojové oceli jsou tvořeny strukturálními složkami různého typu podle bodu výroby, ve kterém je daná ocel zpracovávána. Celek tvořený těmito složkami ovlivňuje mechanické vlastnosti ocelí. Špatný stav jedné ze složek může způsobit poruchu nástroje. Složkami jsou zpravidla martenzit, zbytkový austenit a především karbidy. Karbidy jsou keramické částice disperzně (karbidicky) rozptýlené ve struktuře s vysokou tvrdostí (vyšší než matrice). [22; 24]



Obr. 18 Vliv uhlíku na teplotu M_s a M_f a vliv kalících teplot na obsah zbytkového austenitu [24].

Martenzitická struktura je u ocelí vyžadována, je to tvrdá, avšak křehká struktura. Její vznik je při martenzitickém kalení (transformace z přechlazeného austenitu bez difuze). Uhlík je v roztoku alfa železa přesycený a jeho následky jsou vysoká pnutí v mřížkách způsobující pevnost a velkou tvrdost martenzitu. Vyžadována je struktura s jemnými jehlicemi oproti struktuře s hrubými zrny. Nevýhodou však je rostoucí napětí potřebné pro posun dislokací a díky tomu martenzit nezpůsobuje okem pozorovatelnou plastickou deformaci. [22; 24; 39]

Oceli také obsahují zbytkový austenit, který může být při určitém procentuálním zastoupení brán jako nežádoucí struktura. Způsobuje, že materiál je měkký, ztrácí tvrdost a brusitelnost. Na druhou stranu však zvyšuje houževnatost. Jeho zastoupení je dáno množstvím uhlíku. Navyšování uhlíku vede ke snížení teploty pro začátek a konec martenzitické přeměny, viz obr. 18. Materiál obsahující 0,6 % uhlíku a víc ve své struktuře má konec martenzitické přeměny pod teplotou 0 °C. Tento fakt vede k tomu, že přeměna martenzitu neproběhne až do konce a v matici zůstane zbytkový austenit. Obsah austenitu v oceli okolo 6 až 8 % snižuje tvrdost v průměru o 0,5 HRC a u 10 až 18 % o 1 až 2 HRC. [22; 24]

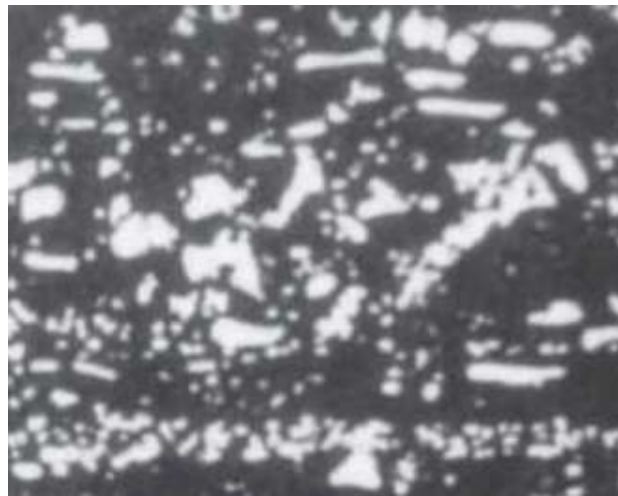
Nástroje vyžadující snížení množství zbytkového austenitu jsou zmrazovány okamžitě po zakalení, nebo jsou popouštěny. Popouštění je potřeba vícenásobné pro téměř úplnou eliminaci zbytkového austenitu a popouštění temperovaného martenzitu. Dosáhneme toho, že přeměna martenzitu se nezastaví a probíhá nadále. [24; 39]

Karbidy jsou naopak od zbytkového austenitu ve strukturách velice žádoucí. Mají za následek zvýšení tvrdosti a odolnosti proti opotřebení. Nejčastěji jsou tvořeny prvky: molybden, chrom, vanad, wolfram. Vždy jsou tvrdší než matrice. Na rozdíl od zbytkového austenitu jejich tvrdost se rostoucím obsahem uhlíku zvyšuje. Stechiometrické vzorce pro určení karbidů jsou: manganové M_3C , chromové M_7C_3 , $M_{23}C_6$, molybdenové M_2C , wolframové M_6C , nejtvrďší vanadové M_4C_3 , MC . [22; 24; 37]

Karbidy v nástrojových ocelích vznikají různými způsoby, proto se dělí na:

- primární – vyloučení během tuhnutí,
- eutektické – vznikají eutektickou přeměnou,
- sekundární – vznikají změnou rozpustnosti uhlíku v austenitu pod teplotou A_1 ,
- eutektoidní – vznik eutektoidní přeměnou,
- terciální – vznikají změnou rozpustnosti uhlíku ve feritu pod teplotou A_1 . [24; 37; 39]

Při tváření dochází u karbidů ve směru tváření k řádkovitosti na obr. 19, která má nežádoucí vlivy na vlastnosti ocelí. Ve směru kolmém na řádkovitost klesají mechanické vlastnosti. K eliminaci se nutně analyzovat výrobek a zvolit vhodnou metodu tváření. [24; 39]



Obr. 19 Hrubá struktura s karbidickou řádkovitostí u PM-oceli [41].

Další nežádoucí vliv karbidů je přerušované nebo souvislé síťové, které negativně ovlivňuje mechanické a plastické vlastnosti. Tvoří se v matici při pomalém ochlazování a vznik je hlavně u nelegovaných ocelích obsahujících víc než 1 % uhlíku [22; 24].

2.3 Svařitelnost nástrojových ocelí

Svařitelností se rozumí schopnost materiálu tvořit funkční svarové spoje s požadovanými chemickými, fyzikálními a mechanickými vlastnostmi. Snahou je dosáhnout kvalitních návarů s dlouhou životností, spolehlivostí a jakostí. Každý materiál má různé rysy a faktory ovlivňující svařitelnost, které jsou děleny následovně:

- materiálové (metalurgie výroby, tepelné zpracování, chemické složení, tváření),
- technologické (přídavný materiál, podmínky navařování, technologie navařování, ochranný plyn, předehřev, interpass),
- konstrukční (velikost základního materiálu, velikost a tvar návarů, rozložení návaru, příprava plochy na návar). [37; 42; 43; 44]

Provádění návarů legovaných nástrojových ocelí se liší od klasických konstrukčních nelegovaných nízkouhlíkových ocelí chemickým složením. Oceli na nástroje mají výrazně vyšší obsah uhlíku a legujících prvků. Z tohoto důvodu není určen žádný vztah, který by jasně udával předehřev, ovšem většinou se vychází z poslední popouštěcí teploty nástroje. Rovněž není znám uhlíkový ekvivalent k určení svařitelnosti oceli. Proto je nutné každou ocel posuzovat samostatně na základě procentuálního složení oceli a dopad jednotlivých prvků. [37; 42; 43; 44]

2.3.1 Podíl vlivu chemického složení

Uhlík je prvek zastoupený ve všech ocelích a ovlivňuje jejich svařitelnost. Podílí se na vzniku martenzitu ve struktuře při rychlém ochlazení. Zvyšováním obsahu uhlíku roste hodnota meze kluzu, meze pevnosti a tvrdosti materiálu. Vlastnosti způsobené uhlíkem ve struktuře způsobují velké pnutí a může docházet k tvorbě trhlin. Váže se s chromem, molybdenem, vanadem a tvoří karbidy. Jeho zastoupení se pohybuje v rozmezí od 0,2 – 2 %. [37; 45; 46]

Mangan je dalším prvkem vyskytujícím se v nástrojových ocelích. Využívá se k dezoxidaci, jelikož na sebe váže síru a vytváří MnS. Malé množství je žádané, ovšem vyšší obsah u oceli způsobuje stabilizaci zbytkového austenitu a snižuje tvrdost. Současně s uhlíkem usnadňuje prokalitelnost, což vede ke vzniku studených trhlin. [37; 45; 46]

Vanad je prvek vytvářející karbidy typu MC, které jsou charakteristické svou tvrdostí. Váží na sebe uhlík. Zvyšuje odolnost vůči opotřebení, pevnost za tepla, proti popouštění. [37; 45]

Chrom zvyšuje prokalitelnost nástrojových ocelí kvůli rozpouštění karbidů v austenitu, zlepšuje odolnost vůči opotřebení. Za pomoci uhlíku vytváří karbidy M_7C_3 a $M_{23}C_6$ s vysokou tvrdostí. Kvůli prokalitelnosti má však negativní dopad na svařování. [37; 45; 46]

Molybden, prvek v určité míře zaměnitelný s wolframem, jelikož má podobné vlastnosti. Zvyšuje jak prokalitelnost, tak odolnost vůči opotřebení a houževnatost tvorbou karbidů M_2C a M_6C . Přispívá k eliminaci vlivu tepelné únavy nejlépe v kombinaci s Cr. [37; 45; 46]

Křemík je prvek, který je pro navařování špatný z důvodu nepříznivého působení na hrubnutí zrna. Společně s manganem je využíván jako dezoxidační činidlo. Rovněž zvyšuje tvrdost, pevnost a mez kluzu. S rostoucím obsahem ovšem zvyšuje pravděpodobnost vzniku prasklin během navařování. [37; 45; 46]

Nikl přidáváme do oceli za účelem houževnatosti a prokalitelnosti. Kvůli dobré prokalitelnosti je využit jako přísada materiálů návarů mezivrstev. Kladné účinky na prokalitelnost a houževnatost. [37; 45; 46]

Síra je obsažena v oceli ve formě sulfidů a vměstků z primární výroby. Snižuje plastické vlastnosti. Při vyšším obsahu uhlíků v ocelích je nutno obsah síry omezit na nulu, jelikož roste riziko vzniku trhlin. [37; 45; 46]

Fosfor je jako síra nežádoucí prvek z primární výroby oceli. Má negativní vliv na svařitelnost. Zhoršuje vrubovou houževnatost. Vyšší obsah vede k zvýšení možnosti vzniku trhlin. [37; 45; 46]

Tyto prvky lze rozdělit na austenitotvorné (Ni, Mn, C) nebo feritotvorné (Cr, Si, Mo, V). Austenitotvorné prvky výskyt oblasti austenitické struktury rozšiřují v binárním systému. Při vyšším množství těchto prvků může teplota klesnout až na pokojovou. Ocel, která si zachová austenitickou strukturu při teplotě okolí se nazývá austenitickou. Feritotvorné prvky naopak tuto oblast uzavírají. Při chladnutí je pak ferit z taveniny zachován až do pokojové teploty. [47]

2.3.2 Provedení návaru a příprava povrchu

Pro vhodný postup přípravy je důležité určit, o jaký materiál se jedná. Určíme třídu, ale také tepelné zpracování. Jestliže známe základní materiál, můžeme zvolit postup, kterým budeme daný materiál navařovat. [20]

U renovací není vhodné použít stejnorodý přídavný materiál jako základní. Důvodem je vyšší obsah uhlíku v oceli a v přechodových oblastech dochází k velkému pnutí, což vede ke vzniku trhlin. Jako řešení se používají mezivrstvy z austeniticko-feritických materiálů, které disponují vysokou tažností a pevností. V případě, že bychom nepoužili předeřev, je nutné vždy zařadit

tyto materiály. Při navaření mezivrstvy dojde k zamezení difuze tvrdého návaru do základního materiálu. Návar horní vrstvy se volí s přihlédnutím na požadované vlastnosti po výsledném navaření a s ohledem na proces navařování. Použitím tvrdých materiálů s využitím mezivrstvy o vysoké tažnosti lze docílit elastické přechodové oblasti, která je schopna pohlcovat pnutí a sníží riziko vzniku trhlin. [20]

Povrch a jeho příprava jsou důležitou částí navařování. Opotřebovaný, poškozený nebo unavený materiál je nutno odstranit broušením či třískovým obráběním. V hranách dochází ke koncentraci tepla, proto musí být zbrušeny a zakulaceny. [20]

2.3.3 Předehřev, interpass, chladnutí

Předehřev je důležitý a zařazuje se vždy na jakoukoliv součást z nástrojové oceli, která má být navařována, z důvodu vysokého obsahu uhlíku společně s legurami. Díky novým inventurním zdrojům a využitím mezivrstev by se však teoreticky v rámci zrychlení postupu renovace mohl předehřev vynechat. Problémem je špatná tepelná vodivost, díky které je materiál náchylný na trhliny, protože nedochází k dobrému přenosu tepla z povrchu materiálu směrem do jádra. Vzrůstajícím vneseným teplem při pokračování svařování dojde k tepelnému šoku a tvorbě trhlinek, což může vést až k delaminaci návaru. Teplota předehřevu není dána normou, ale z praxe se udává 250 °C. Pod tuto hodnotu bychom neměli klesnout v průběhu celého svařování. Ohřev je zajištěn ve speciálních elektrických pecích s regulací vnitřní teploty nebo topných dečkách. [20; 48; 49]

Stejně podstatnou hodnotou je i teplota interpass, kterou nesmí materiál překročit, aby nedocházelo ke snížení tvrdosti a degradaci základního materiálu. Základní materiál by neměl dosáhnout teploty posledního popouštění. Během navařování je teplota kontrolována teploměrem a svářeč před dalším navařením housenky musí počkat, než teplota klesne ideálně k teplotě předehřevu. [20; 49]

Po navaření následuje chladnutí. Většinou se využívá chladnutí na vzduchu, ale můžeme zařadit i chlazení v různých prostředích. Například izolované zábaly, křemičité písky, nebo ochlazovací pece, ve kterých klesá teplota pomaleji a dochází ke vzniku rovnoměrnější struktury návaru. Zařazení ochlazovacích prostředí je záhodné, jelikož při nadměrně rychlém ochlazení mohou v nástroji vznikat pnutí vedoucí k trhlinám a destrukci návaru. [20; 48; 49]

2.3.4 Promíšení

K promíšení základního materiálu a svarového kovu dochází u tavného svařování. Přídavný materiál by měl být snadno mísitelný se základním materiálem, aby mohlo docházet k dobrému metalurgickému spojení a vytvoření tvárné fáze kovu. Promíšení musí probíhat bez vzniku struktur náchylných na praskání. Nový návar by měl zaručovat minimálně stejné nebo lepší mechanické vlastnosti než základní materiál. Při nanášení více housenek svářeč musí co nejlépe rovnoměrně rozložit jednotlivé housenky. [43] Výpočet promíšení je dán vzorcem [50]:

$$D = \frac{\text{Oblast A}}{\text{Oblast A} + \text{Oblast B}} \cdot 100, \quad (2.1)$$

kde: D – množství promíšení v [%]

Oblast A – plocha nataveného materiálu nad základním materiálem [mm²]

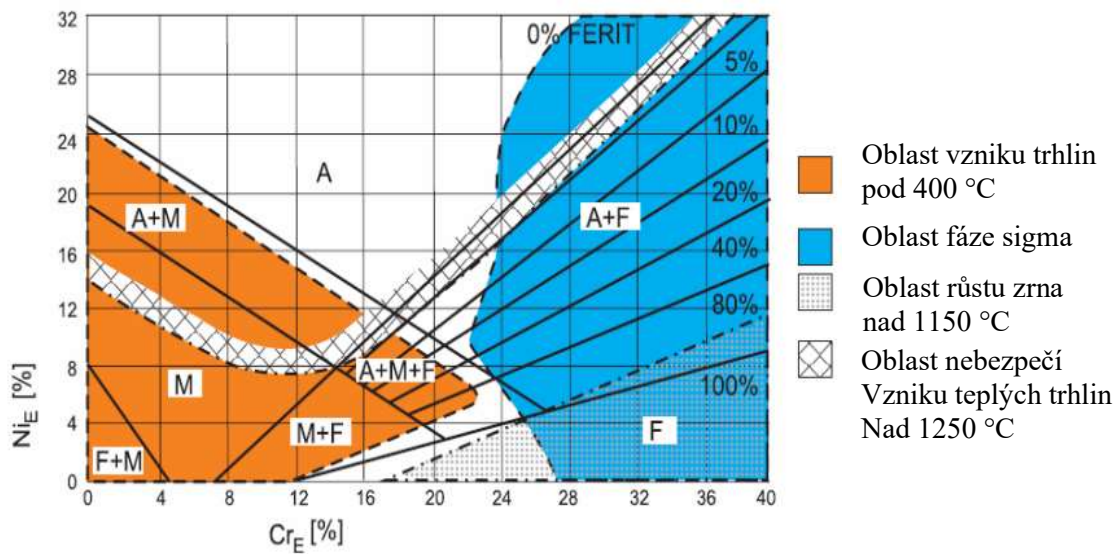
Oblast B – plocha nataveného materiálu po základním materiálem [mm²]

2.3.5 Schaefflerův diagram

Používá se k přibližnému určení výsledných struktur navařovaných materiálů, protože závisí na mnoha parametrech, jako je například rychlost ochlazování a ochlazovací médium. Diagram je založen na znázornění vlivu feritotvorných a austenitotvorných prvků. Kvůli zjednodušení byly zavedeny ekvivalenty. Pro feritotvorné prvky ekvivalent chromu (Cr_{ek}) a pro austenitotvorné prvky niklu (Ni_{ek}). Diagram je znázorněn na obr. 20. [51] Různé typy ocelí mají výpočet těchto ekvivalentů mírně odlišný, používají se vztahy [52]:

$$Cr_{ek} = \%Cr + \%Mo + 1,5 \cdot \%Si + 0,5 \cdot \%Nb + 2 \cdot \%Ti \quad (2.2)$$

$$Ni_{ek} = \%Ni + 0,5 \cdot \%Mn + 30 \cdot \%C \quad (2.3)$$



Obr. 20 Schaefflerův diagram [53].

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

Hlavním cílem experimentální části je posouzení a zhodnocení svařitelnosti nástrojových ocelí pomocí metody MIG pulse a MIG double pulse. Základním materiálem byla nástrojová ocel Wr.Nr. 1.2343ESU (H11) zušlechtěná na 57 HRC. Přídavné materiály pro renovaci byly zvoleny na základě struktury základního materiálu, požadavků potřebných pro navaření zápustky, jako je tvrdost, houževnatost, odolnost vůči dynamickým rázům, střídání teplot apod. Standardně se u navařování zařazuje předehřev, který ovšem v tomto případě nebyl využit, z důvodu posouzení, zda lze předehřev vynechat, bez tvorby trhlin, což by celý proces navařování mohlo značně urychlit. Pro dobré výsledky metalurgického spojení byla použita konfigurace základní materiál-mezivrstva-tvrký návar. Mezivrstva zajišťuje dobré metalurgické spojení se základním materiálem a zamezí možnosti difuze mezi základním materiálem a tvrdým martenzitickým návarem. Slouží jako elastický element, díky své tažnosti, tlumí rázy a v případě, že mezivrstva není navařeno dostatečné množství, dochází k jejímu zpevnění vlivem promíšení. Hlavním faktorem použití mezivrstva bylo nevyužití předehřevu, tudíž riziko iniciace a šíření trhlin bylo vysoké. Konkrétně byly využity přídavné materiály typu austeniticko-feritický přídavný materiál WELCO A1660 a martenzitický přídavný materiál CRONITEX RC 58. [7; 9; 10]

Pro zhodnocení požadované kvality návaru, tj. dobrého metalurgického spojení bez trhlin a dosažené tvrdosti, byly provedeny analýzy makrostruktury, mikrostruktury a měření tvrdosti dle Vickerse.

3.1 Základní materiál

Základním materiálem pro renovaci je chrom-molybden-křemík-vanadová WN.Nr. 1.2343 (AISI H11) s chemickým složením dle tab. 4. Ocel běžně využívána pro výrobu zápustek. Jedná se o základní materiál s vysokým obsahem legur, vhodný pro práci za tepla, odolností proti cyklicky proměnlivým teplotám s vlastnostmi dobré prokalitelnosti. Většinou se kalí do oleje, do vody nebo ochlazován na vzduchu v závislosti na požadované struktuře. Taktéž se vyznačuje velmi dobrou odolností vůči popuštění, značnou houževnatostí, dobrými plastickými vlastnostmi při normálních i větších teplotách, rezistencí vůči vzniku trhlinek tepelné únavy. Ve stavu po žhání na měkko velmi dobře tvárný, což je vhodné pro obrábění do požadovaného tvaru. Po stránce mechanických vlastností ocel může dosahovat tvrdosti po zušlechtění min. 50 HRC v závislosti na požadovaných vlastnostech. Její materiálový list lze nalézt v příloze 1. [7]

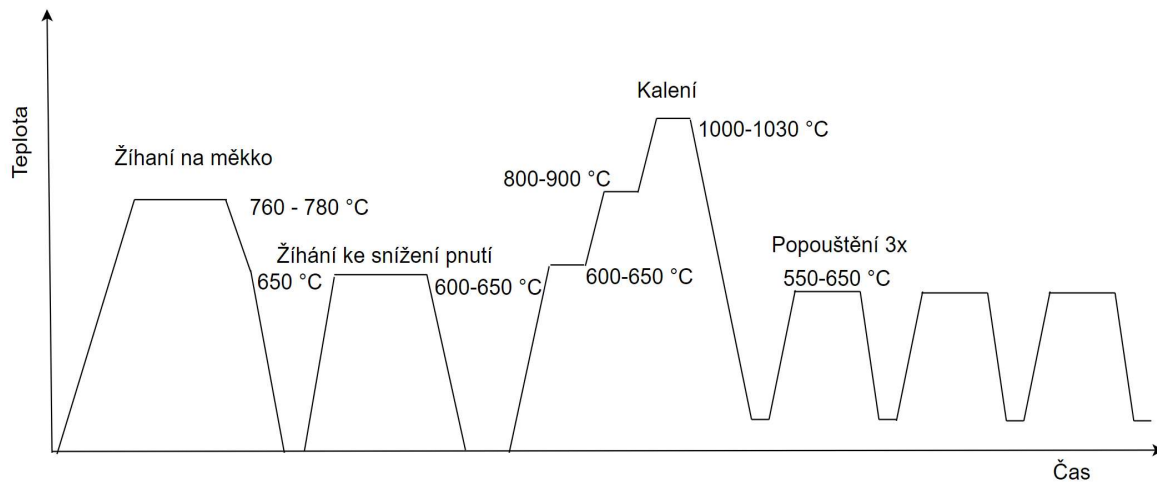
Využití není jen na kovací zápustky, rovněž je díky svým vlastnostem materiálem pro formy na tlakové lití slitin hliníku, zinku, hořčíku. Nástroje namáhané za tepla tj. trny, razníky, upínací čelisti apod. Vysoce namáhané průtláčnický, nástroje pro střih za tepla. [7]

Tab. 4 Chemické složení navařované oceli [7].

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]
0,42	0,50	1,20	5,50	1,60	0,60

3.1.1 Tepelné zpracování

Tepelné zpracování oceli bylo provedeno dle potřebných mechanických vlastností požadovaných při dané aplikaci zápustkového kování. Schéma postupu pro tepelné zpracování oceli, viz obr. 21. Zpravidla se jedná o úpravy po odlití polotovaru, popřípadě úpravy, jako je kování, tváření apod.



Obr. 21 Schéma tepelného zpracování oceli [7].

Primární proces je žihání na měkko, které probíhá v hutích a ocel je po tomto procesu dodávána. Jeho hlavním účelem je snížit tvrdost oceli, aby ji bylo možné dále zpracovávat obráběním a dosáhnout jejího výsledného tvaru. Ocel s vyšším obsahem legur se zpravidla ohřívá těsně nad teplotu A_{c1} . Doba výdrže pak závisí na obsahu legur, většinou je předepsána výrobcem. Ochlazování následně probíhá ve dvou fázích k eliminaci nežádoucích přeměn a dosažení nízké tvrdosti. Během první fáze se ochlazuje v pecích a následně v druhé fázi probíhá ochlazení vzduchem. [22; 24; 54]

Dále může být použito žihání ke snížení pnutí. Tento proces se využívá v případě, že docházelo při obrábění (hrubování) k velkému posuvu a k výrazné elasticko-plastické deformaci, kterou je nutné odstranit. Většinou se pohybuje v oblastech okolo 600-650 °C jednu až dvě hodiny. Význam spočívá ve snížení pnutí, jež vzniklo při obrábění. Může se taktéž využít jako mezioperace, při obrábění přesnějších výrobků a komplikovaných dílů. [22; 24; 54]

Po těchto žihacích operacích následuje kalení, k dosažení hlavních vlastností daného výrobku. Jedná se o nejdůležitější operaci. Ohřev je prováděn stupňovitě až na teplotu austenitizace (u této konkrétní oceli se teploty pohybují v rozsahu od 1000-1030 °C). Ochlazení (kalení) je do oleje (ocel Wr.Nr. 1.2343 ESU do 100 °C), některé se mohou ochlazovat na vzduchu, zpravidla větší součásti. U kalení musí být teplota vysoká z důvodu rozpuštění vhodného množství karbidů k obohacení austenitu uhlíkem a legujícími prvky podílející se na tvorbě karbidů. Kalení pak probíhá kritickou rychlostí, aby došlo ke tvorbě martenzitu. [7; 22; 24; 54]

Finální vlastnosti dosahujeme popouštěním, které se musí provést ihned po zakalení nástroje. Zpravidla jsou nástroje po zakalení křehké a náchylné na praskání. Nástroje z oceli (W.Nr. 1.2343 ESU) se popouští v rozmezí teplot 550-650°C. Popouští se dle popouštěcích diagramů v závislosti na požadované tvrdosti finálního produktu. Obvykle se popouští 3x pro transformaci zbytkového austenitu na martenzit. [7; 22; 24; 54]

3.2 Přídavné materiály

Použité přídavné materiály jsou dodány firmou Welco s.r.o. v 5 kg nebo 15 kg cívkách, jejich materiálové listy jsou v přílohách 2, 3. Dráty mají průměr v rozmezí od 0,8 do 1,2 mm. Průměr drátu volíme na základě velikosti renovované součásti. Cílem je dosáhnout co nejmenšího proudu, abychom dosáhli co nejmenšího vneseného tepla a tepelného ovlivnění. Zvolené dráty pro renovaci byly:

- Welco A1660 – přídavný materiál s vysokým obsahem legur, chemické složení lze vidět v tab. 5. Vhodný pro MIG svařování všech svařitelných a obtížně svařitelných ocelí. Disponuje vysokou pevností, tažností a dalšími mechanickými vlastnostmi v tab. 6. Výborné výsledky při svařování vysokouhlíkových ocelí, díky vysokému podílu feritu, má příznivý koeficient tažnosti a tvoří svary bez trhlin. Hlavní využití je jako elastická mezivrstva pro tvrdý návar. [9]

Tab. 5 Chemické složení WELCO A1660 [9].

C [%]	Mn [%]	Si [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	Cu [%]
0,12	2,5	0,4	32,0	12,0	0,1	0,1

Tab. 6 Mechanické vlastnosti WELCO A1660 [9].

Pevnost v tahu	840 MPa
Mez kluzu	640 MPa
Tažnost	25 %
Tvrдость	220 – 400 HB/231 – 423 HV

- Cronitex RC 58 – jedná se o vysoce legovaný přídavný svařovací materiál Cr-Mo-Si-V-W, chemické složení v tab. 7. Svou strukturou je svarový kov podobný ocelím pro práci za tepla. Disponuje odolností vůči střídavým teplotám. Materiál je po navaření samokalitelný, což znamená, že po ochlazení na vzduchu dosahuje požadované tvrdosti a mechanických vlastností (tab. 8). Pro případné zlepšení mechanických vlastností, především tvrdosti a homogennější struktury, lze kalit a popustit dle tab.8. [10]

Tab. 7 Chemické složení Cronitex RC 58 [10].

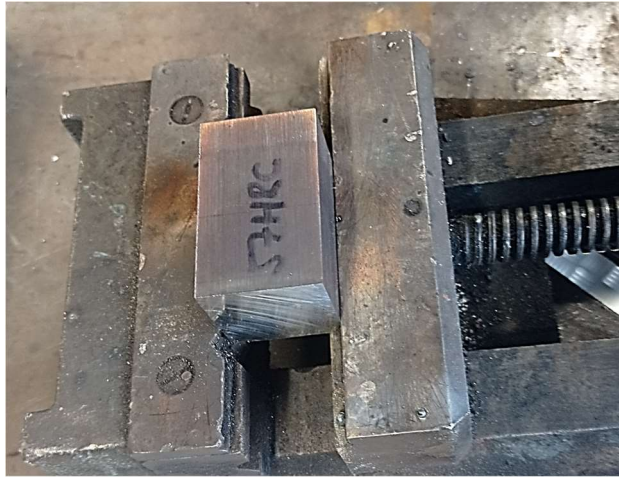
C [%]	Cr [%]	Mn [%]	Mo [%]	Si [%]	V [%]	W [%]
0,45	6,2	0,6	2,1	0,5	0,5	1,8

Tab. 8 Mechanické vlastnosti Cronitex RC 58 [10].

Tvrдость po navaření	54 – 58 HRC/576 – 653 HV
Žihání naměkko (760 – 800 °C)	230 HB
Ochlazení vodou	59 – 62 HRC
Popouštění	400 – 700 °C

3.3 Provedení návarů technologií MIG

Návary byly zhotoveny kvalifikovaným pracovníkem z firmy Welco. Důvodem bylo zajištění správnosti provedení a dodržení postupu navařování. Celkem byly zhotoveny čtyři vzorky s rozdílnými návary a režimy navařování. Pro navaření byla zvolena plocha hranolu, protože zápustky se navařují obvykle na rozsáhlých plochách (obr. 22).



Obr. 22 Přípravený hranol pro navaření plochy.

Na realizaci se použilo svařovací zařízení iWELD 6253DP na obr. 23 dodávané společností Welco. Jde o multifunkční invertorový zdroj určený pro pulzní svařování MIG. Zařízení je schopné pulzního a dvojpulzního režimu, kdy je možné si nastavit velikost základního proudu, plyn, průměr a typ drátu. Zařízení si hodnotu pulzního proudu reguluje synergicky. [8]

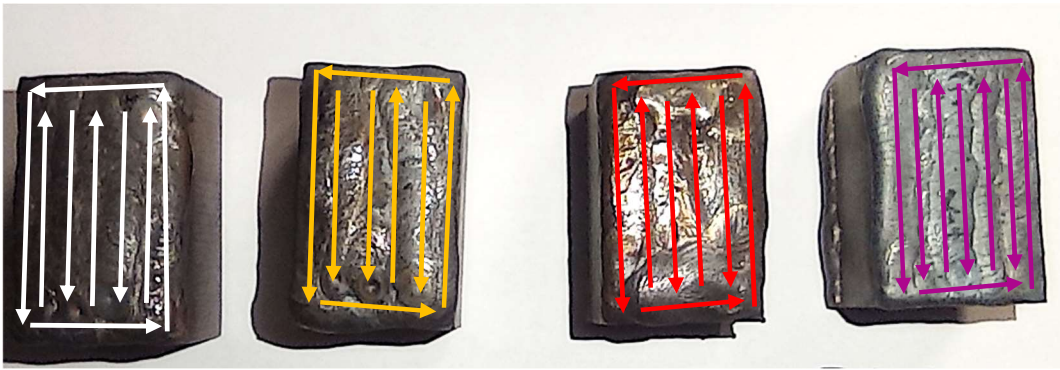


Obr. 23 Svářecí zdroj.

Součástí pracoviště byly ochranné pomůcky pro svářeče, svářečka iWELD 6253DP, svařovací hořák, láhev s argonem a bezdotykový i dotykový teploměr. Dále též vhodné příslušenství pro svařování.

Na zdroji byl nastaven posuv drátu 6,9 m/min. Plyn pro mezivrstvu byl využit argon 4.6 s čistotou 99,996 % a pro tvrdý návar směsný plyn M21 (Ar 82 % a CO₂ 18 %) [55]. Průtoky plynů byly nastaveny na 6 l/min. Na zařízení byl nastaven „předfuk“ a „dofuk“ na 1,5 s.

Postup kladení housenek byl u všech vzorků stejný. Nejdříve byl navařen obvod, následně byla navařena střední část. Na obr. 24 je vyznačen u všech vzorku postup kladení housenek. Během navařování byla hlídána teplota interpass. Teplota interpass byla stanovena na základě poslední popouštěcí teploty (obvykle 500 °C). Pokud se teplota již blížila k této hodnotě, navařování bylo pozastaveno a čekalo se, až teplota interpass klesne.



Obr. 24 Schémata směrů kladení housenek zleva vzorky A, B, C, D.

- Vzorek A – před navařováním nebyl zařazen předeheřev. Navařeny byly celkem 2 vrstvy. První austeniticko-feritická mezivrstva s počtem 7 housenek a druhá finální s počtem 9 housenek. Obě vrstvy byly navařeny pulzní metodou MIG. Poměr pulzů byl 50/50 %, frekvenci kmitání si odlaďuje dle průběhu svařování zdroj. Pro navařování byly využity dráty o průměrech $\varnothing 0,8$ mm. Mezi návary byly prodlevy kontrolovány teploměrem kvůli dodržení teploty interpass. Parametry navařování jsou v tab. 9.

Tab. 9 Parametry navařování vzorku A.

Druh vrstvy	Mezivrstva	Finální vrstva
Materiál	WELCO A1660	CRONITEX RC 58
Střední proud [A]	120	120
Napětí [V]	21,1	20,2
Čas navařování [s]	68,2	72,5
Teplota po navaření [°C]	390	420

- Vzorek B – postup probíhal stejně jako u vzorku A, avšak rozdílné bylo navaření mezivrstvy, kde bylo 8 housenek. Finální vrstva měla opět 8 housenek. Materiály byly stejné. Na návar byl použit dvojitý pulz. Poměr pulzů byl opět 50/50 % a frekvence mezi pulzy byla 3 Hz. Parametry použité při navařování jsou v tab. 10.

Tab. 10 Parametry navařování vzorku B.

Druh vrstvy	Mezivrstva	Finální vrstva
Materiál	WELCO A1660	CRONITEX RC 58
Pulzní/základní proud [A]	120/160	120/160
Pulzní/základní napětí [V]	21,1/22,8	21,1/22,8
Čas navařování [s]	52,5	56,5
Teplota po navaření [°C]	360	500

- Vzorek C – navařena byla pouze mezivrstva bez předeřevu. Celkem bylo navařeno 8 housenek dvojpulzní metodou. Frekvence a poměr pulzů stejný jako u vzorku B. Parametry navařování jsou v tab. 11.

Tab. 11 Parametry navařování vzorku C.

Druh vrstvy	Mezivrstva	Finální vrstva
Materiál	WELCO A1660	X
Pulzní/základní proud [A]	120/160	X
Pulzní/základní napětí [V]	21,1/22,8	X
Čas navařování [s]	54,2	X
Teplota po navaření [°C]	480	X

- Vzorek D – jako u vzorku C byla navařena pouze jedna vrstva dvojpulzem. Byl použit tvrdý materiál CORONITEX RC 58. Kladeno bylo 9 housenek. Hodnoty parametrů jsou v tab. 12.

Tab. 12 Parametry navařování vzorku D.

Druh vrstvy	Mezivrstva	Finální vrstva
Materiál	X	CRONITEX RC 58
Pulzní/základní proud [A]	X	120/160
Pulzní/základní napětí [V]	X	21,1/22,8
Čas navařování [s]	X	81,3
Teplota po navaření [°C]	X	530

Ke zhotoveným návarům nebylo možné spočítat vnesené teplo. Známa je sice velikost hodnot základních proudů, avšak hodnota pulzních proudů je regulována synergicky svařovacím zdrojem. Svářecí zdroj neumožňuje tento parametr dohledat, proto by výpočet mohl být nepřesný, a tudíž mít zavádějící hodnoty.

3.4 Provedení vizuální kontroly

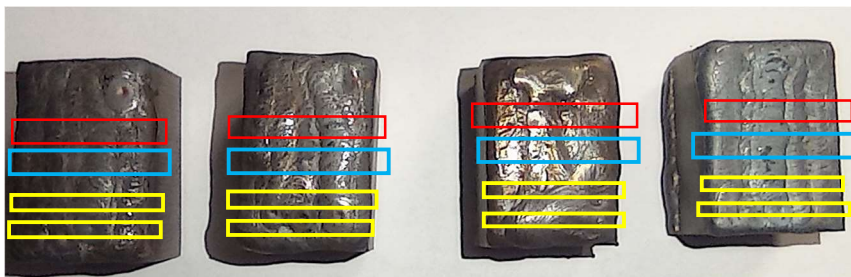
Při navařování vzorků byla u housenek prováděna nedestruktivní vizuální zkouška. U každého vzorku byly vizuálně kontrolovány pouhým okem pouze finální navařené vrstvy, viz obr. 25. Každý svár/návar by měl být po svařování/navarování podroben vizuální zkoušce. Důvodem zde byly možné indikace trhlin na povrchu vzhledem k aplikaci návaru na nástrojové oceli. Vzorky A/B navařené s mezivrstvou prošly vizuální kontrolou. Zjištěny nebyly žádné indikace trhlin, nerovnoměrnosti v návarech nebo nevhodně stečený materiál. Vzorek C obsahuje pouze mezivrstvu s charakterem podobným jako u vzorků A/B. Nebyla zjištěna žádná trhlina, nerovnost ani přetečený materiál a vizuální zkouška byla úspěšná. Vzorek D byl navařen pouze tvrdou vrstvou a byl předpoklad, že by se mohly objevit trhliny, avšak vizuální kontrola je nepotvrdila.



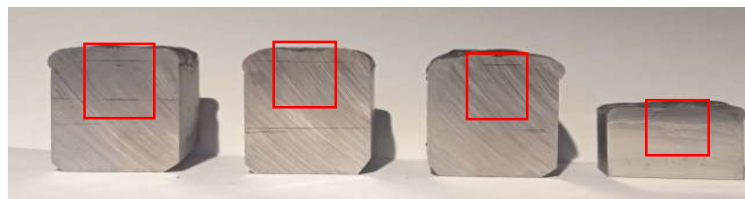
Obr. 25 Fotky vzorků zleva A, B, C, D.

3.5 Zhotovení metalografických vzorků

Samotné provedení vzorků je důležitým procesem z hlediska správnosti provedení zkoušek makrostruktury a mikrostruktury. Nesprávným postupem může dojít k znehodnocení a ovlivnění správnosti výsledků. [56] Začíná se řezáním vzorku na metalografické pile Struers labotom 5 za použití kotouče Struers 50A25 s rozměry $\text{Ø}250 \times 1,5 \times 32$ mm. Vzorek je odebírán z místa, ve kterém jsou všechny části nutné k pozorování (finální návar, mezivrstva, tepelně ovlivněná oblast, základní materiál). Kvůli možnému tepelnému ovlivnění během řezání byl vzorek chlazen emulzí. Místa odběru vzorků pro zhodnocení makrostruktury na obr. 26 červený rámeček a mikrostruktury obr. 26 místo odběru vzorku (modrý rámeček) a obr. 27 průřez velikosti vzorku. Žlutě označené rámečky jsou místa řezu, kde byly ověřovány trhliny na jednotlivých vzorcích A, B, C, D (příloha 4, 5, 6, 7).



Obr. 26 Místa pro odběr vzorků makrostruktury, zleva vzorky A, B, C, D.



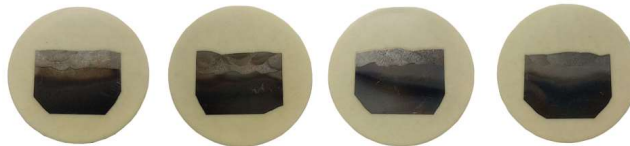
Obr. 27 Místa pro odběr vzorků mikrostruktury, zleva vzorky A, B, C, D.

- Pro zhodnocení makrostruktury byl vzorek po nařezání z místa odběru následně broušen na ruční brusce Saphir 330. K dosažení hladkého povrchu byly použity brusné papíry o zrnitostech #80 až #1200. Během celého procesu byl vzorek ochlazován vodou. Nakonec byly vzorky naleptány ke vzniku reliéfu. Bylo použito leptadlo Villela - 1 g kyselina pikrová ($\text{C}_6\text{H}_3\text{N}_3\text{O}_7$), 5 ml kyselina chlorovodíková HCl , 100 ml ethanolu ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) a Beraha – 25 g thiosíran sodný ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3$), disiřičitan draselný ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$), destilovaná voda 250 ml. [57]
- Kvůli průměru komory během lisování mohl být vzorek o maximálních rozměrech 20 x 20 mm. Nařezané vzorky se následně zalisují do pryskyřice za tlaku 250 MPa a teploty 190 °C přístrojem Metkon Ecompress 100 na obr. 28. Postup přípravy začíná natřením válce a lisovacího pístu separátorem. Vložil se vzorek, zasypal se pryskyřicí a následuje lisování. Byla využita pryskyřice LevoFast.



Obr. 28 Metkon Ecopress 100 [58].

Vzniklé zalisované tablety na obr. 29 byly následně broušeny na zařízení Struers LaboPol 5. Na broušení byly využity různé kotouče v kombinaci s vodou, suspenzemi a pastami. Podle druhu kotouče byla použita přítlačná síla a otáčky upínací hlavy. Byly využity kotouče o zrnitosti #80, #220, #800, #1200.



Obr. 29 Zalisované tablety zleva vzorky A, B, C, D.

Po broušení následovalo leštění. Byly použity kotouče v kombinaci s pastami a suspenzemi, které se nanášely pomocí dávkovačů. Kotouč slouží jako unašeč suspenze. Byl využit kotouč DAC a suspenze s diamantovými zrní o zrnitosti 3 μm .

Konečný proces v přípravě bylo leptání. V Petriho misce s leptadlem Villela byly ponořeny vzorky po dobu 5-7 sekund. Naleptáním vzniká reliéf struktury, který je pozorovatelný mikroskopem. Pro možnosti dalšího hodnocení byly po nafocení vzorky přešetřeny a znovu leptány Berahou. Ještě před leptáním se však pod mikroskopem pozorují trhliny, vměstky, bubliny, staženiny.

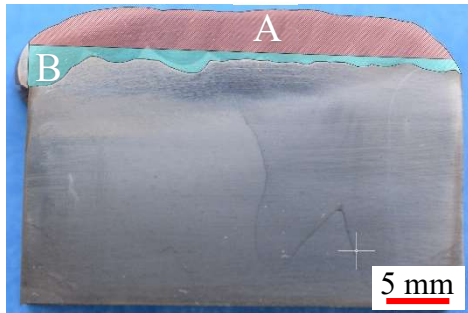
3.6 Výpočet promíšení

Hodnoty promíšení byly spočítány pro vzorky na obr. 30, 31, 32 a 33. Výsledky pro vzorek A jsou vzorově spočítány dle (2.1). Obsahy ploch byly měřeny pomocí programu AutoCAD. Všechny obsahy jsou vypočteny v tab. 13 dle stejného vzorce (2.1).

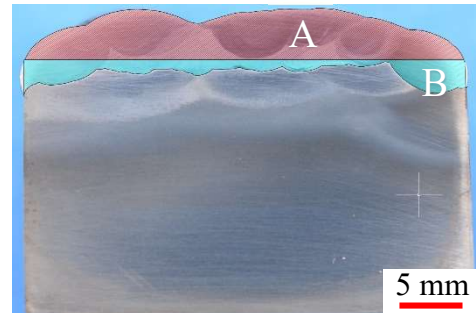
$$D = \frac{\text{Oblast } B}{\text{Oblast } A + \text{Oblast } B} \cdot 100 = \frac{31,48}{83,05 + 31,48} = 27,49 \%$$

Tab. 13 Výsledky promíšení daných oblastí.

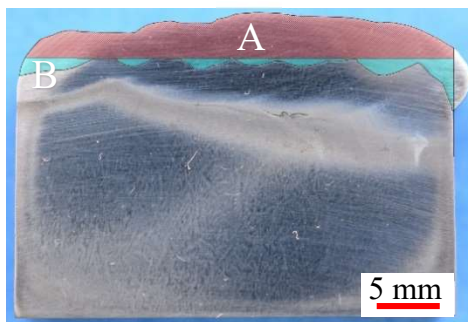
Vzorek	Oblast A [mm ²]	Oblast B [mm ²]	Promíšení [%]
A	83,05	31,48	27,5
B	90,58	33,56	27,0
C	75,31	18,52	19,7
D	44,02	20,61	31,9



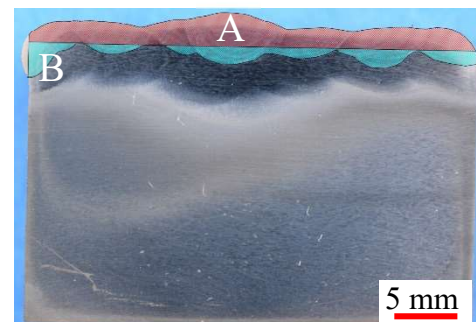
Obr. 30 Oblast promíšení vzorek A.



Obr. 31 Oblast promíšení vzorek B.



Obr. 32 Oblast promíšení vzorek C.



Obr. 33 Oblast promíšení vzorek D.

3.7 Zhodnocení makrostruktury

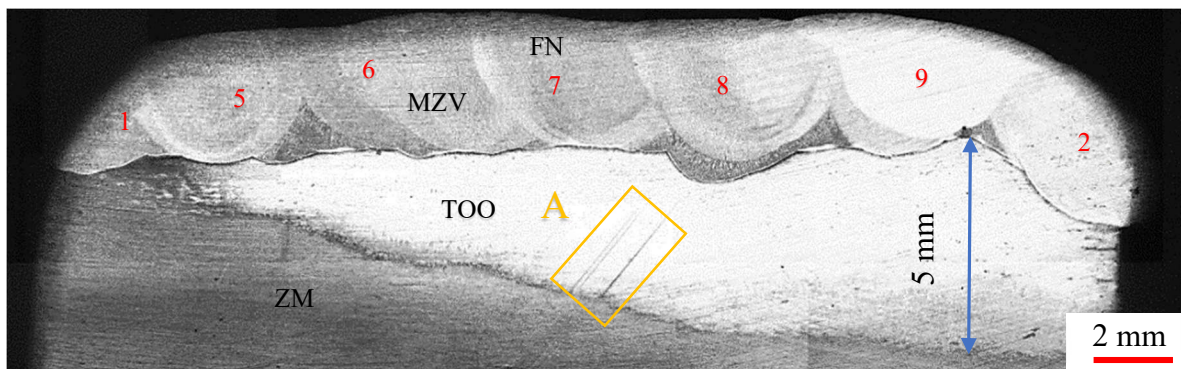
Makrostruktura byla pozorována pomocí mikroskopu Neophot 32 Carl Zeiss na obr. 34. Každá fotka byla zvětšena 25,6x a následně byly fotky složeny. Ve struktuře jsou vyznačeny čísla navařené housenky finální vrchní vrstvy. Výjimkou je vzorek C, jehož poslední housenka (9) byla navařena mimo směr kladení. U vzorků A, B vlivem vneseného tepla došlo k částečnému promíšení mezivrstvy a finální tvrdé vrstvy. Housenky 3, 4 se na snímků nenachází, jelikož jsou kladeny po obvodu. Pro orientaci ve struktuře byly využity zkratky:

- Základní materiál – ZM
- Tepelně ovlivněná oblast – TOO
- Mezivrstva – MZV
- Finální tvrdý návar – FN



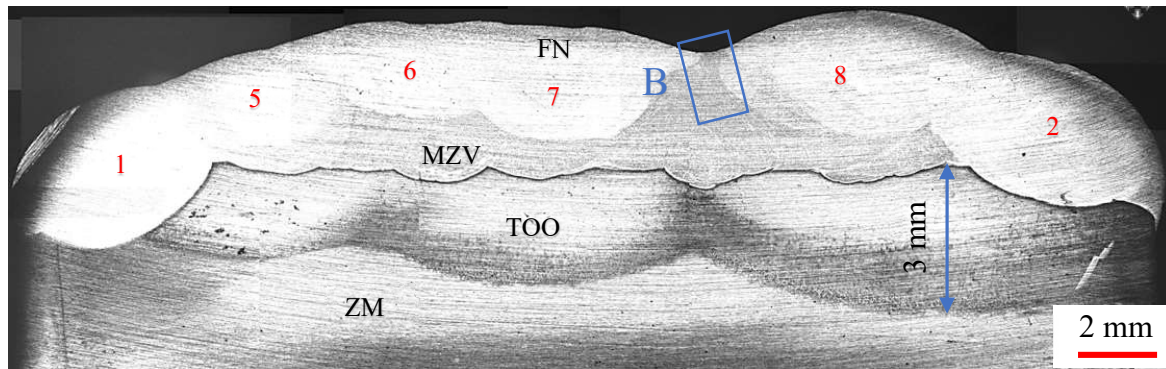
Obr. 34 Mikrostrop Neophot 32 Carl Zeiss.

Na obr. 35. je snímek makrostruktury vzorku A. Pulzní metodou byly navařeny celkem dvě vrstvy. První austenito-feritická ocel WELCO A1660 a vrchní návar RC 58. Lze pozorovat překrytí jednotlivě kladených housenek. Tepelně ovlivněná oblast je nepravidelná. Oblast roste ve směru kladení housenek dle čísel (1 až 9). Mezivrstva byla téměř celá natavena na rozdíl od vzorku B, důsledkem většího natavení je delší čas navařování, viz tab. 9 a více kladených housenek. V největším místě (modrá kóta) má TOO 5 mm, průměrná hodnota je pak 3 mm. Na stranách vzorku je vidět přetečení návarové housenky. Při zhotovování vzorku došlo v detailu A kvůli broušení ke škrábancům. Viditelné vady nebyly pozorovány. Nedošlo k trhlinám, studeným spojům, ani nebyly objeveny staženiny, nebo bubliny. Černé tečky vznikly špatným vysušením lihu.



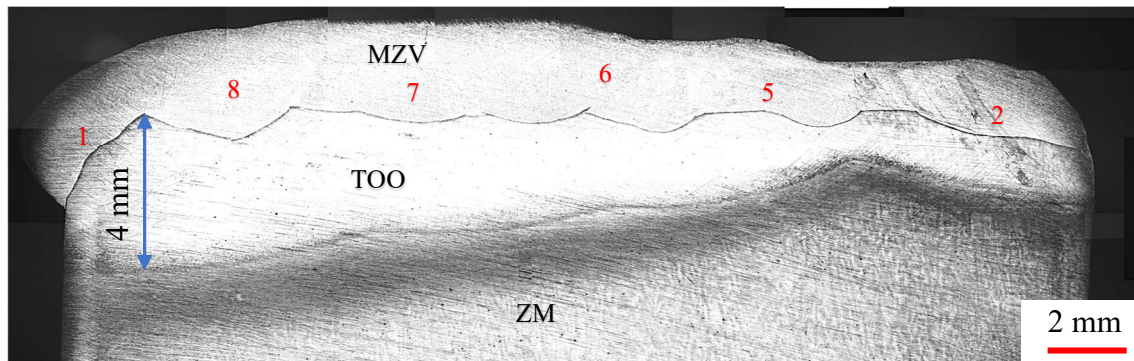
Obr. 35 Makrostruktura vzorku A v řezu, zvětšení 25,6x.

Na obr. 36 byly na vzorek B navařeny stejné materiály jako na vzorek A, avšak rozdílem bylo použití dvoupulzní metody. Opět lze pozorovat kladení housenek. V detailu B je vidět špatné překrytí mezivrstvy. Na obou hranách došlo k přetečení návaru. I když hodnoty proudu byly vyšší než u vzorku A, tepelně ovlivněná oblast je částečně rovnoměrná a menších rozměrů. Důvodem je kratší čas navařování, viz tab. 10 a lepší rozložení tepla vlivem střídání pulzů. Mezivrstva je méně natavena a lze lépe pozorovat. Velikost TOO je v průměru 2 mm a v největším místě dosahuje 3 mm. Oblast návaru nevykazuje žádné vady typu staženiny nebo trhliny.



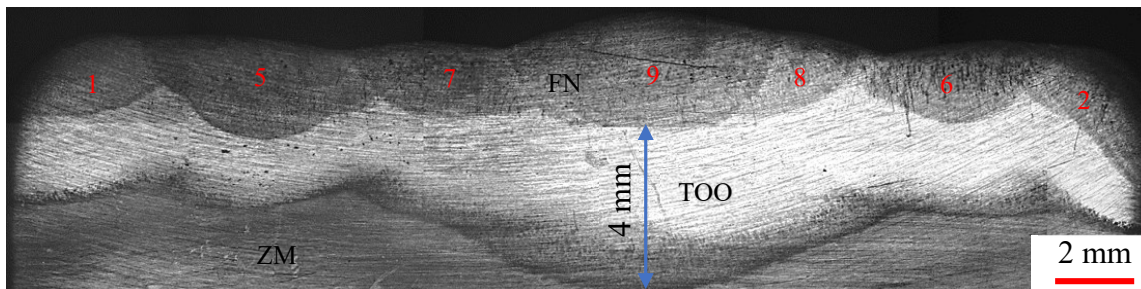
Obr. 36 Makrostruktura vzorku B v řezu, zvětšení 25,6x.

Na obr. 37 byla na vzorek C navařena pouze mezivrstva. Pozorování housenek je horší než u předešlých vzorků. Použita byla metoda dvoupulzní. Tepelně ovlivněná oblast je opět proměnlivá a v největším místě dosahuje 4 mm. Nerovnoměrnost je způsobena postupným navařováním housenek dle čísel v obrázku. Průměrná hodnota TOO má 2 mm. Žádné vady, které by měly ovlivnit pevnost návaru, nebyly pozorovány. Na jedné ze stran došlo k přetečení návaru.



Obr. 37 Makrostruktura vzorku C v řezu, zvětšení 25,6x.

Na obr. 38. lze pozorovat vzorek D. Dvoupulzem byla navařena pouze tvrdá vrstva RC 58. Tepelně ovlivněná oblast v největším místě dosahuje tloušťky 4 mm. Oblast je proměnlivá a roste ve směru navařování. Housenky jsou rovnoměrně rozloženy a nedošlo k výraznému přetečení návaru. Čas navařování byl delší a došlo k vyššímu promíšení než u předešlých vzorků vlivem natavení. Díky nevyužití předehřevu zde byly očekávány trhliny, které ovšem nakonec nebyly indikovány (obr. 38).



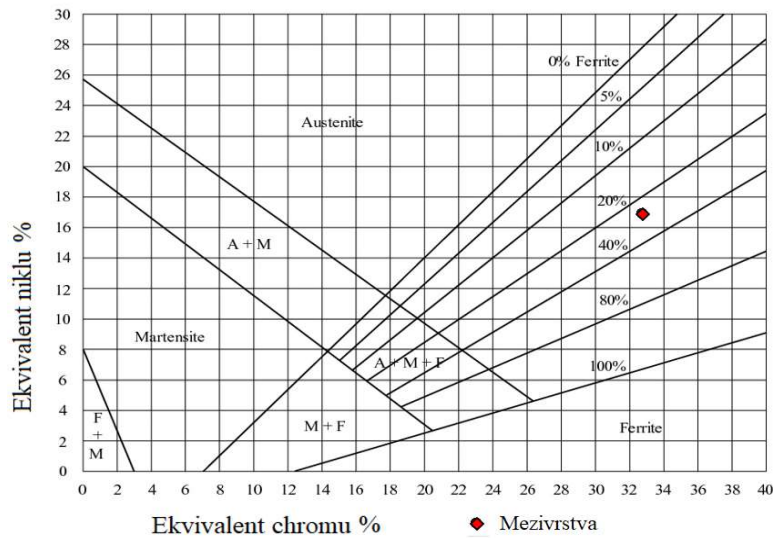
Obr. 38 Makrostruktura vzorku D v řezu, zvětšení 25,6x.

V přílohách 4, 5, 6, 7 byly zhotoveny další vzorky pro zhodnocení, zdali se neobjevily trhliny ve vzorcích. Trhliny nebyly na vzorcích objeveny.

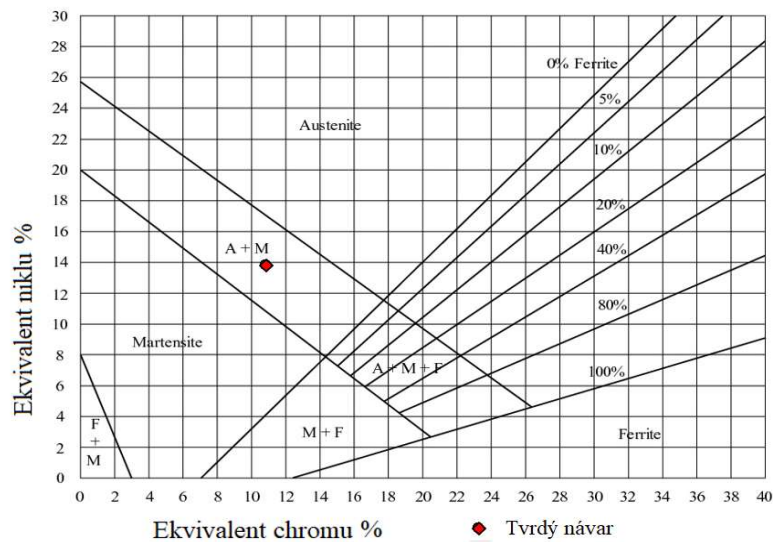
Vzhledem k tomu, že není možné nafotit fotky makrostruktury s barevným leptáním, byly do příloh 13, 14, 15, 16 přiloženy další snímky makrostruktur pro lepší orientaci v jednotlivých návarech.

3.8 Provedení Schaefflerových diagramů

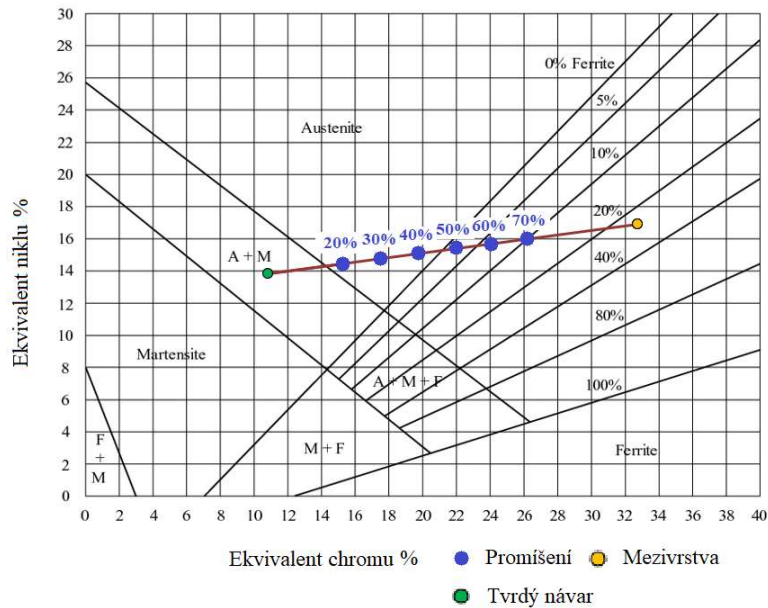
K přibližnému určení výsledných struktur po navaření byl použit Schaefflerův diagram, který bude v následující kapitole 3.9 sloužit pro porovnání s výslednými mikrostrukturami. Schaefflerovy diagramy zobrazují navařovanou mezivrstvu WELCO A1660 (obr. 39), tvrdý návar CRONITEX RC 58 (obr. 40) a jejich vzájemné promíšení mezivrstvy a finálního tvrdého návaru v procentech (obr. 41). Vzhledem k tomu, že promíšení se může lišit, proto bylo zahrnuto v obr. 41 promíšení, při různém procentuálním zastoupení. Diagramy byly vytvořeny v programu excel dle vzorců (2.2) a (2.3).



Obr. 39 Schaefflerův diagram návaru WELCO A1660 mezivrstva.



Obr. 40 Schaefflerův diagram tvrdého návaru CRONITEX RC 58.



Obr. 41 Schaefflerův diagram promíšení mezivrstva WELCO A1660 a tvrdá vrstva CRONITEX RC 58 v procentech (20 až 70 %).

3.9 Zhodnocení mikrostruktury

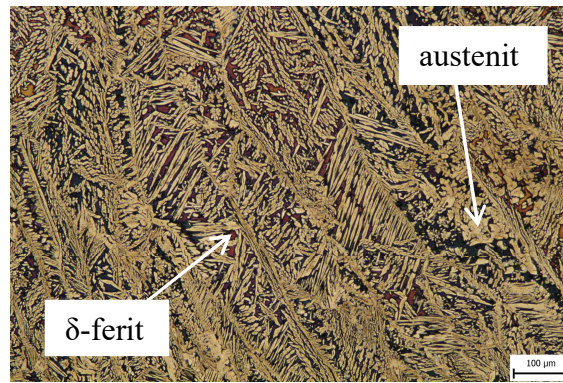
Na obr. 42 je snímek mikrostruktury základního materiálu (takto vypadala vzorově struktura ZM u všech vzorků). Jedná se o martenzitickou strukturu s malým podílem zbytkového austenitu a disperzně rozptýlenými karbidy. Karbidy, které se budou pravděpodobně ve struktuře nacházet na základě chemického složení, jsou chromového typu M_7C_3 , $M_{23}C_6$, molybdenového typu M_2C , M_6C a wolframového (vanadového) typu MC . Ve struktuře by měly být disperzně rozptýleny a tvořit karbidickou řádkovitost, která by měla za následek zhoršení mechanických vlastností. Na obr. 43 lze vidět tepelně ovlivněnou oblast. Při navařování došlo vlivem poměrně vysokého vneseného tepla ke zhrubnutí zrna.



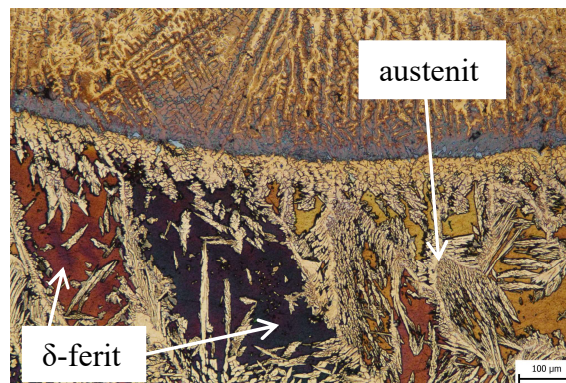
Obr. 42 Mikrostruktura ZM, zvětšení 400x, leptadlo Villela.



Obr. 43 Mikrostruktura TOO, zvětšení 400x, leptadlo Villela.

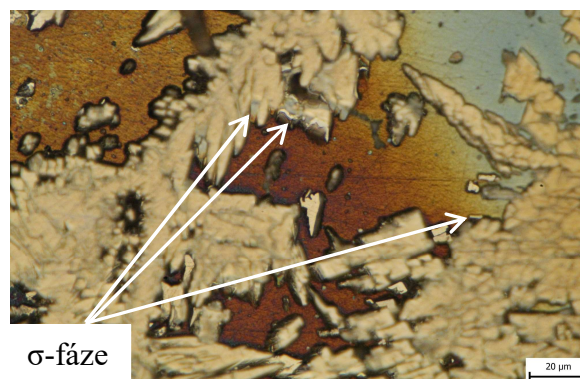


Obr. 44 Mikrostruktura MZV, vzorek A, zvětšení 200x, leptadlo Beraha.



Obr. 45 Mikrostruktura rozhraní MZV a FN, vzorek A, zvětšení 200x, letadlo Beraha.

Mezivrstva vzorku A je tvořena duplexní feritickou – austenitickou strukturou na obr. 44. Oblast mezivrstvy je mimo promíšení, díky čemuž může být pro zhodnocení struktury využit Schaefflerův diagram (obr. 39) a lze konstatovat, že výsledná struktura koresponduje. Naleptáním barehou došlo k zvýraznění zrn δ -feritu, která jsou zbarvena do červena, fialova, žluta, oranžova dle orientace zrna. Světle modré oblasti jsou špatně naleptaná zrna δ -feritu. V mezivrstvě jsou žádoucí z důvodu zvýšení tažnosti a houževnatosti. Na hranicích zrn δ -feritu dochází k vyloučení struktury austenitu. Díky přesycení struktury chromem vznikají na hranicích zrn austenitu tzv. σ -fáze (obr. 46). Sigma fáze jsou nebezpečné především za zvýšených teplot, které vznikají i při zápusťkovém kování. Snižují plasticitu a jedná se o křehké fáze. Rozhraní mezivrstvy a navařeného tvrdého materiálu lze vidět na obr. 45, vykazuje výrazné zvětšení zrn δ -feritu. Vlivem zvýšeného vneseného tepla, natavení a promíšení mezivrstvy a tvrdého návaru, dochází k difuzi chromu do delta feritických zrn a jejich následné zhrubnutí.



Obr. 46 Mikrostruktura MZV, vzorek A, zvětšení 200x, leptadlo Beraha.

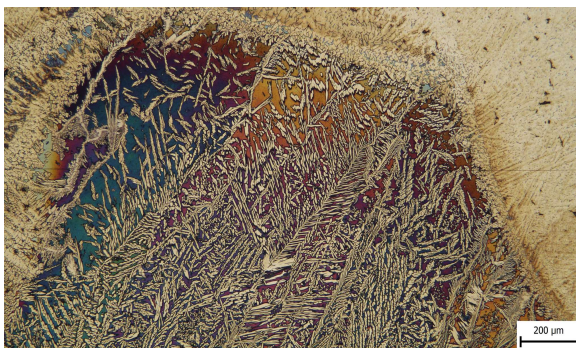


Obr. 47 struktura FN, vzorek A, zvětšení 200x, leptadlo Beraha.

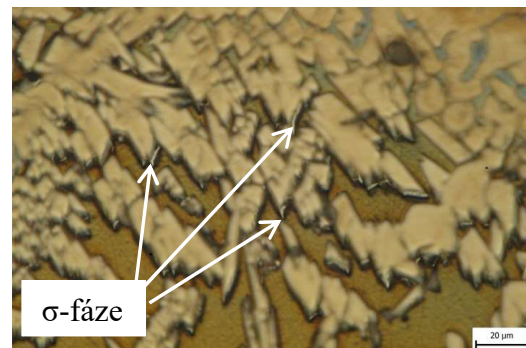


Obr. 48 struktura FN, vzorek A, zvětšení 1000x, leptadlo Beraha.

Na obr. 47, 48 je vidět mikrostruktura finálního tvrdého návaru vzorku A. Dle vyloučené struktury by měla pravděpodobně tvořit austenitickou strukturu, což potvrzuje částečně Schaefflerův diagram na obr. 41. Pro aplikaci byla ovšem očekávána struktura martenzitu, která se zde nevyloučila. Stabilizace austenitické struktury je pravděpodobně zapříčiněna vlivem vysokého promíšení finálního návaru-mezivrstvy a pro tuto konfiguraci nedostatečné rychlosti ochlazování. Teploty při navařování MIG jsou vysoké a to znamená, že dochází k ochlazování z vyšší teploty a je zde dostatek času pro stabilizaci austenitu. V případě konfigurace bez mezivrstvy (obr. 55) došlo k vyloučení předpokládané struktury, takže pravděpodobnou příčinou vzniku této struktury je mezivrstva. Vlivem rychlého tuhnutí návarů lze pozorovat mikrostaženiny, které jsou při dynamicky namáhaných součástech nežádoucí a mohou způsobovat iniciaci a šíření trhlin vedoucím až k delaminaci návaru. Průměrná velikost mikrostaženin je v případě vzorku A 16 μm .



Obr. 49 Mikrostruktura rozhraní MZV a FN, vzorek B, zvětšení 200x, leptadlo Beraha.



Obr. 50 Mikrostruktura rozhraní MZV a FN, vzorek B, zvětšení 1000x, leptadlo Beraha.

Vzorek B na obr. 49 byl navařen metodou double pulse. Struktura mezivrstvy je podobná jako u vzorku A. Velká feritická zrna na rozhraní mezivrstvy a tvrdého návaru. Na hranicích zrn vznik σ -fáze (obr. 50). Dochází ke stejnému procesu zhrubnutí delta feritických zrn vlivem tepelného ovlivnění a promíšení, jako v případě vzorku A.

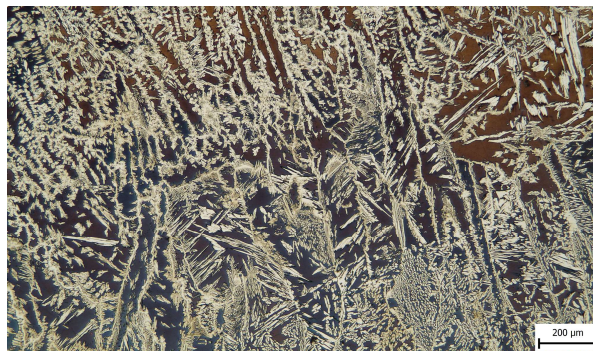


Obr. 51 Mikrostruktura FN, vzorek B, zvětšení 200x, leptadlo Beraha.



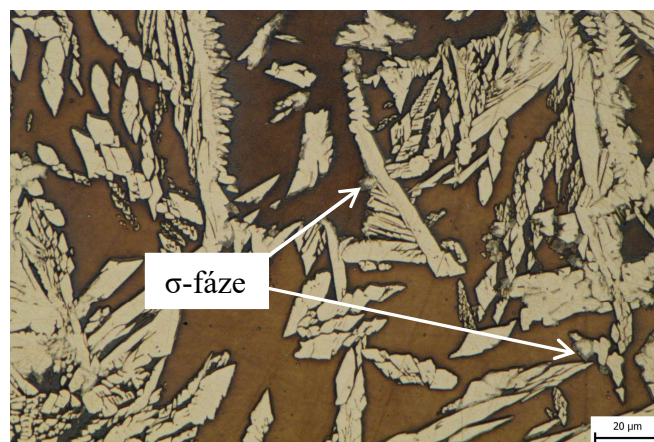
Obr. 52 Mikrostruktura FN, vzorek B, zvětšení 500x, leptadlo Beraha.

Zásadní rozdíl je mezi navařovanými tvrdými vrstvami. Na rozdíl od struktury na obr. 47, 48 je struktura vzorku B na obr. 51, 52 jemnější. Vyloučená struktura by měla být podobná tj. austenitická, dle velikosti promísení s obsahem δ -feritu, viz obr. 41. Jemnější struktura by měla být zapříčiněna menším vneseným teplem metodou MIG double pulse a rychlejším ochlazením návaru. Opět se však vyskytují mikrostaženiny. Mikrostaženiny jsou ostrohranné a vzhledem k vyloučené struktuře zde může docházet k iniciaci trhlin. Průměrná velikost mikrostaženin je v případě vzorku B 18 μm a je větší, než u vzorku A.

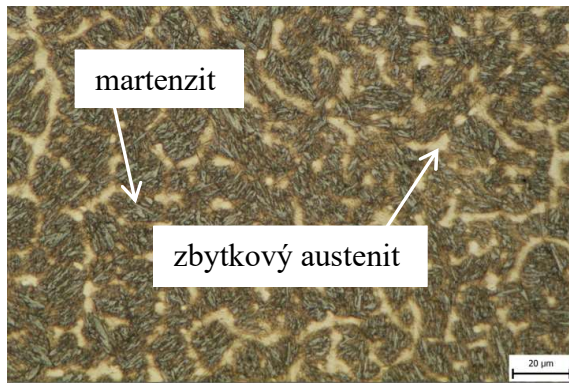


Obr. 53 Mikrostruktura MZV, vzorek C, zvětšení 200x, leptadlo Beraha.

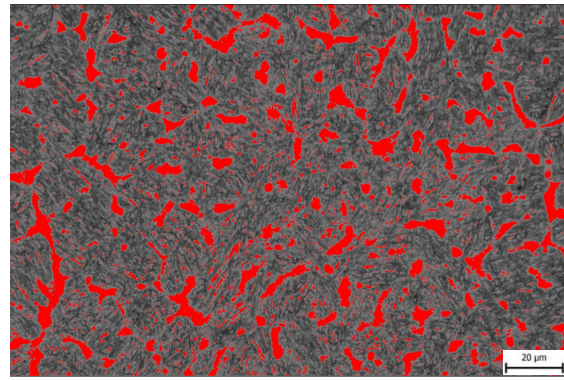
Na obr. 53 je struktura promísení dvou housenek mezivrstvy vzorku C. Navařený byl materiál WELCO A1660. Rozhraní obsahuje větší zrna δ -feritu, která vznikla promísením a vneseným teplem během překrytí housenek. Opět se na hranicích zrn austenitu tvoří tzv. σ -fáze, viz obr. 54.



Obr. 54 Mikrostruktura MZV, vzorek C, zvětšení 1000x, leptadlo Beraha.



Obr. 55 Mikrostruktura FN, vzorek D, zvětšení 1000x, leptadlo Beraha.



Obr. 56 Vyhodnocení podílu zbytkového austenitu pomocí ImageJ.

Na rozdíl od vzorků A, B byl vzorek D navařen pouze CRONICEX RC 58. Tvrdý návar lze vidět na obr. 55. Jelikož nebyla použita mezivrstva, vznikl po navaření jehlicový martenzit se zbytkovým austenitem, což potvrzuje Schaefflerův diagram na obr. 40. Zbytkový austenit ve struktuře tvoří přibližně $15\% \pm 2\%$ na základě obrazové analýzy (obr. 56) pomocí programu ImageJ. Nebyly nalezeny mikrostaženiny, jako u předešlých tvrdých návarů v kombinaci s mezivrstvou.

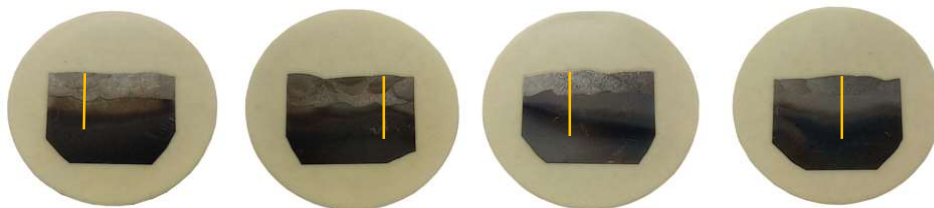
3.10 Zhodnocení tvrdosti

Mikrotvrdost byla zhotovena pomocí automatického tvrdoměru Qness Q10A na obr. 57. Zařízení má objektivy a tvrdoměry v otočné hlavě na provedení vpichů a jejich následného měření, celý postup je plně automatizovaný. Pro zhodnocení tvrdosti byla využita metoda mikrotvrdosti dle Vickerse. Zvolené zatížení bylo voleno 200 g (HV 0,2). Výsledné tvrdosti návaru byly porovnány s materiálový listem mezivrstvy WELCO A1660 v tab. 5, 6 (eventuálně příloha 2) a finálním tvrdým návarem CRONITEX RC 58 v tab. 7, 8 (příloha 3).



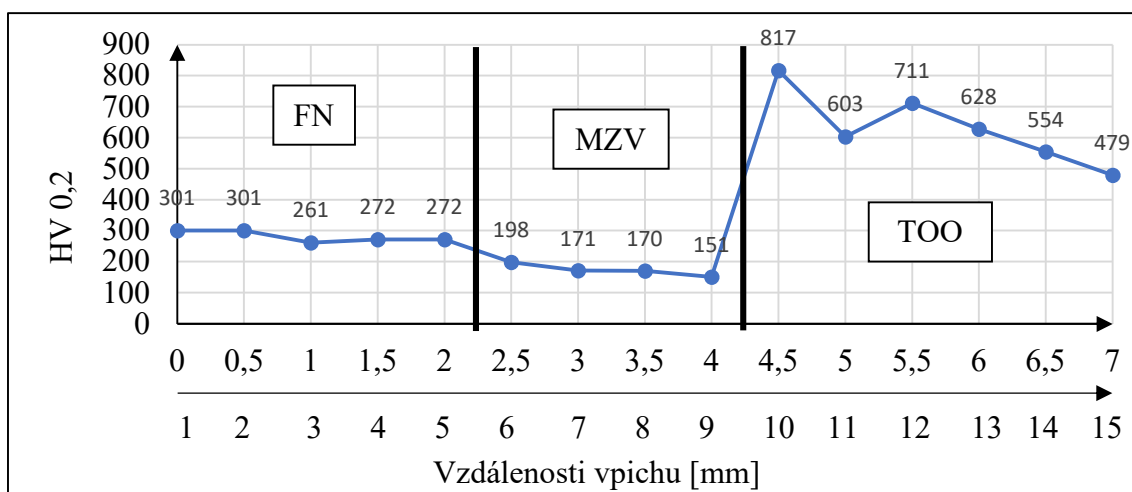
Obr. 57 Tvrdoměr Qness Q10A.

Tvrdosti byly měřeny v jednotlivých liniích na obr. 58. Jednotlivé umístění vpichů ve struktuře je součástí příloh 8, 9, 10, 11. Celkem na každé linii bylo provedeno 15 vpichů a vzdálenost mezi jednotlivými měřeními byla přibližně 0,5 mm. Fotky míst vpichů jednotlivých vzorků jsou v přílohách 17, 18, 19, 20.



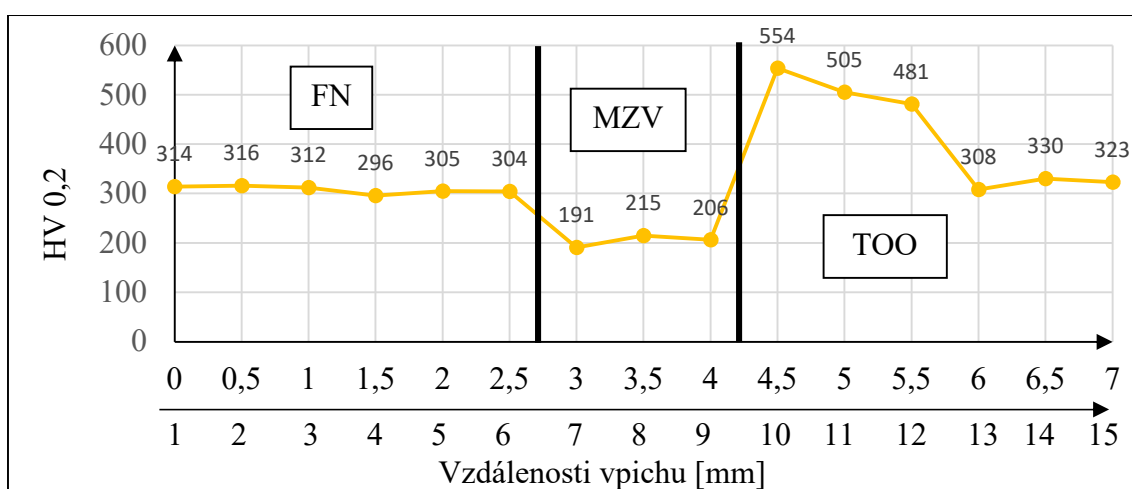
Obr. 58 Vyznačené místo linie vpichů, vzorek A, B, C, D (zleva).

Na obr. 59 je graf měření tvrdosti vzorku A navařeným metodou MIG pulse. Hodnota finálního návaru nedosahuje požadované tvrdosti, která se udává v materiálovém listu dle tab. 8. Při použití konfigurace mezivrstva a tvrdý návar došlo k výraznému promíšení a vlivem pomalého ochlazení došlo ke stabilizaci austenitické struktury (nebylo dosaženo kritické rychlosti ochlazování pro vytvoření martenzitické struktury). Průměrná hodnota v oblasti finálního návaru je 281,5 HV, což odpovídá tvrdosti austenitu.



Obr. 59 Graf průběhu tvrdosti v závislosti na vzdálenosti vpichů, vzorek A.

Graf vzorku B, kde byl využit režim MIG double pulse je na obr. 60. Vzhledem ke stejné konfiguraci přídavných materiálů jako u vzorku A, lze předpokládat stejnou tvrdost. Průměrná hodnota byla 308 HV. Hodnota opět neodpovídá materiálovému listu v tab. 8.

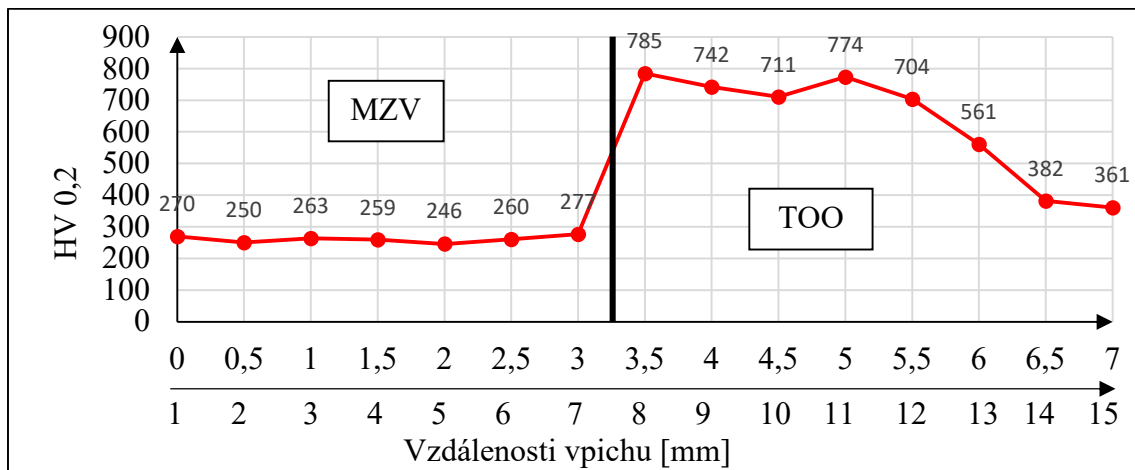


Obr. 60 Graf průběhu tvrdosti v závislosti na vzdálenosti vpichů, vzorek B.

Hodnoty tvrdostí vzorků A, B na obr. 59, 60 v oblastech mezivrstvy dosahovaly v průměru podobné hodnoty 172,5 HV a 204 HV, což dosahuje spodní hodnoty tvrdosti v tab. 6.

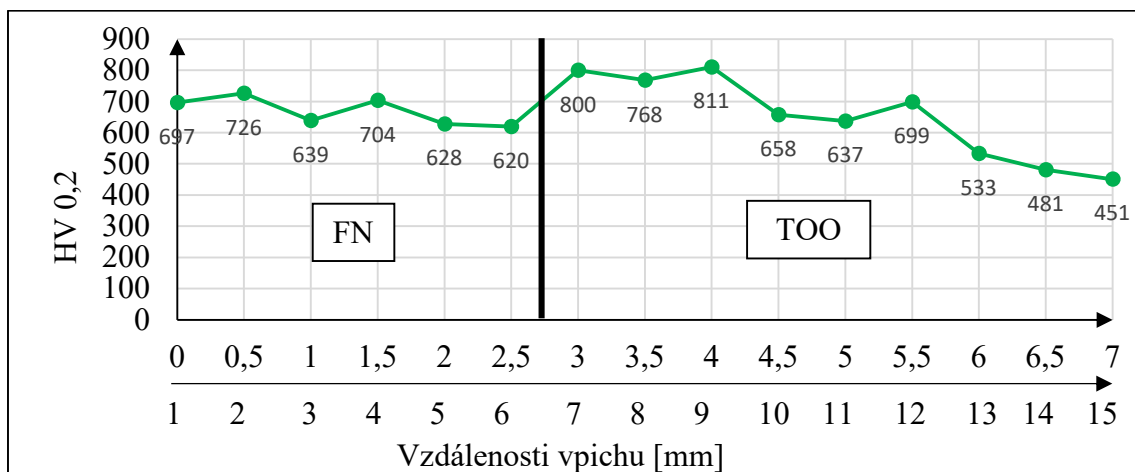
Tepelně ovlivněná oblast lze rozdělit na několik oblastí (tavenina, částečné natavení, přehřátá oblast, normalizace, částečná překrystalizace, vyžíhaná oblast a neovlivněný ZM). V tomto případě lze na základě tvrdosti obr. 59, 60 a příloze 12 sledovat, že v TOO dochází ke zvýšení tvrdosti a následnému snižování směrem k základnímu materiálu, což zapříčiňuje vnesené teplo, které ovlivňuje ZM během navařování a vznikají právě výše zmíněné oblasti. V příloze 12 lze sledovat dvě tyto oblasti, tj. oblast vysokého přehřátí a žihání. Oblast vysokého přehřátí se nachází v oblasti austenitu a dochází ke zhrubnutí zrna (obr. 43) vůči základnímu materiálu (obr. 42) a následnému zvýšení tvrdosti. V oblasti žihání dochází vlivem teplot naopak ke snížení tvrdosti. Kromě tvrdosti to potvrzují přílohy 12, 18, kde jsou snímky jednotlivých vpichů ve struktuře.

Na obr. 61 je graf vzorku C. Byla navařena pouze mezivrstva metodou MIG double pulse. Hodnota tvrdosti mezivrstvy odpovídá přibližně vzorkům A, B. Průměrná hodnota 260 HV odpovídá opět dolní hodnotě tvrdosti v tab. 6.



Obr. 61 Graf průběhu tvrdosti v závislosti na vzdálenosti vpichů, vzorek C.

Poslední vzorek D, graf na obr. 62, byl navařen pouze tvrdou vrstvou v režimu MIG double pulse. Hodnota tvrdosti odpovídá materiálovému listu, viz tab. 8. Průměrná hodnota byla 669 HV. Vzhledem k tomu, že se nevyskytly žádné trhliny a v konfiguraci s mezivrstvou nedošlo k dosažení martenzitické struktury a požadované tvrdosti, je vhodné využít pouze tvrdý návar.



Obr. 62 Graf průběhu tvrdosti v závislosti na vzdálenosti vpichů, vzorek D.

ZÁVĚR

Hlavním cílem práce bylo posouzení vhodnosti využití metod MIG pulse a MIG double pulse na renovace kovacích zápustek. Problém byl zjednodušen na navaření 4 vzorků pro lepší porovnání. První dva vzorky A, B byly navařeny standardní konfigurací mezivrstva a tvrdý návar běžně využívanou v praxi, vzorek C pouze s mezivrstvou a vzorek D jen tvrdým návarem. Vzorek A byl navařen metodou MIG pulse a vzorky B, C, D, metodou MIG double pulse. Důvodem navaření C, D bylo porovnání výsledných struktur bez promíšení pro zhodnocení mikrostruktur. Základním materiálem byla ocel pro práci za tepla Wr.Nr 1.2343ESU (AISI H11). Na návar mezivrstev byl využit drát WELCO A1660 a pro finální tvrdé návary CRONITEX RC 58. Jakost vzorků byla hodnocena pomocí nedestruktivní zkoušky (vizuální kontrola) a destruktivními zkouškami (makrostruktura, mikrostruktura a měření tvrdosti dle Vickerse) ke zhodnocení kvality návarů.

Před provedením destruktivních zkoušek byla provedena vizuální zkouška za účelem zjištění indikací trhlin. Při pozorování nebyly na návarech nalezeny žádné okem viditelné trhliny. Rovněž nebyly nalezeny póry nebo jiné vady znehodnocující kvalitu návaru.

Jako první realizovanou destruktivní zkouškou bylo zhodnocení makrostruktury. V naleptaných vzorcích A, B byly vidět na finálním návarech mikrostaženiny. U dynamicky namáhaných součástí mohly být iniciátorem trhlin. Vznikly v důsledku rychlého ochlazení kvůli odvodu tepla mezivrstvou, která má dobrou tepelnou vodivost. Mikrostaženiny se dají odstranit pomalejším ochlazením, například v pecích, křemičitých píscích nebo využitím předehřevu, avšak v důsledku využití konfigurace mezivrstva – tvrdý materiál, která vedla ke vzniku austenitické struktury finální vrstvy, by bylo záhodné využít rychlejší ochlazení návarů. Zhodnocením vzorků C, D nebyly objeveny žádné vady v návarech, znevažující jejich kvalitu. Na vzorcích A, C byla pozorována nepravidelnost tepelně ovlivněné oblasti. Eliminovat by se dala změnou postupu kladení housenek střídáním stran navařování, jako je to realizováno u vzorku D.

Posledními zkouškami, které byly provedeny na vzorcích, bylo vyhodnocení mikrostruktury a měření mikrotvrdosti dle Vickerse. Při pozorování mikrostruktur bylo zjištěno, že finální tvrdý návar vzorků A, B není tvořen martenzitem, ale austenitem a možným podílem ještě jiné struktury. Výskyt austenitu byl potvrzen měřením mikrotvrdosti, u které vyšly hodnoty tvrdosti odpovídající struktuře austenitu. Nástroj by byl tudíž po renovaci měkký a do praxe nepoužitelný. Vzorek C byl navařen pouze mezivrstvou, tvořenou duplexní strukturou. Po změření tvrdosti bylo zjištěno, že tvrdost odpovídá dolní hranici uvedené v materiálovém listu. Poslední vzorek D byl navařen pouze tvrdou vrstvou. Jelikož nebyl použit předehřev tak jako u předešlých vzorků, očekávalo se, že by v návarech mohlo docházet k iniciaci trhlin. Nebyly objeveny žádné vady, struktura byla tvořena martenzitem a 15 % ± 2 % zbytkového austenitu. Změřená tvrdost dosahovala parametrů udávaných v materiálovém listu. Zbytkový austenit propůjčuje struktuře houževnatost a zabraňuje vzniku trhlin. V případě kovacích zápustek není příznivý, jelikož během kovacích teplot může transformovat a způsobovat změnu rozměrů zápustky vedoucím ke vzniku trhlin. Všechny výsledné struktury byly také potvrzeny pomocí Schaefflerových diagramů.

Z porovnání MIG pulse a MIG double pulse pro standardní konfiguraci s mezivrstvou vyplývá, že nelze použít, protože nedosahují potřebné tvrdosti. I když nebyl vzorek D předmětem porovnání a tvrdá vrstva byla navařena pouze metodou MIG double pulse, ukázal se jako nejvhodnější k aplikaci. Nespornou výhodou bylo nezařazení předehřevu, což je v praxi v rámci úspory času velmi žádoucí. Vhodné by bylo navařit větší plochu, nejlépe skutečnou zápustku pro ověření možnosti využití v praxi.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [59]

1. KULOVANÁ, Eliška. Renovace strojních součástí. In: *Mechanizace zemědělství* [online]. Praha: Profi Press, 2001 [cit. 2023-05-19]. Dostupné z: <https://mechanizaceweb.cz/renovace-strojnich-soucasti/>
 2. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. VYDÁNÍ. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
 3. Renovace střížníku. In: *Hauk* [online]. Police nad Metují [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://hauk.cz/kooperace>
 4. Návar zápusťky. In: *KSK* [online]. Česká Třebová, 2020 [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.kskct.cz/cs/aktuality/navar-zapusťky>
 5. Opravy hřídelí a ozubených kol. In: *SVAROVANI HLAVAC* [online]. Mikulčice [cit. 2023-05-11]. Dostupné z: <https://www.svarovani-hlavac.cz/renovace-a-opravy-ozubenych-kol/#gallery-5>
 6. JZK BUČOVICE. Speciální nástrojové oceli pro Zápusťkové kování. In: *JKZ* [online]. Bučovice [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: https://www.jkz.cz/fileadmin/user_upload/190313_Kind-Co_Forging_Dies_CZ_WEB.pdf
 7. JZK BUČOVICE. W. NR. 1.2343 ESU. In: *JKZ* [online]. Bučovice [cit. 2023-02-15]. Dostupné z: <https://www.jkz.cz/cs/produkty/nastrojove-oceli/na-vyrobu-forem/w-nr-12343-esu/>
 8. IWELD 6253DP. In: *Welco* [online]. Uherský brod [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.welco.cz/file/download?id=1902&route_url_id=2801
 9. WELCO A1660. In: *Welco* [online]. Uherský brod [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: https://www.welco.cz/file/download?id=1557&route_url_id=95
 10. CRONITEX Rc 58. In: *Welco* [online]. Uherský brod [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://www.welco.cz/file/download?id=891&route_url_id=328
 11. Svařování metodou TIG. In: *KT MetSteel* [online]. Praha [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.ktmetsteel.cz/tig-svarovani>
 12. TIG svařování I - základní principy. In: *SVARINFO* [online]. 2009 [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2008011702>
 13. Svařování metodou TIG. In: *KT MetSteel* [online]. Praha [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.ktmetsteel.cz/tig-svarovani>
 14. Obaly obalených elektrod. In: *SVARINFO* [online]. 2007 [cit. 2023-05-22]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007080501>
 15. MMA (Manual Metal Arc Welding). In: *Automig* [online]. Teplice [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://automig.cz/o-svarovani/metody/obalena-elektroda-mma/index.html>
 16. Opravy a renovace svařováním a navařováním při těžbě, úpravě a přesunu surovin a výrobě stavebních hmot. In: *UTP maintenace* [online]. Vyškov [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: https://www.svarecky-elektrody.cz/user/documents/upload/files_utp_opravy_a_renovace_svarovanim_a_navarovanim.pdf?1676641774
 17. Laserové svařování a navařování. In: *Lintech* [online]. Domažlice [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: https://www.lintech.cz/zakazkova-vyroba/laserove-svarovani-a-navarovani/?gclid=CjwKCAjwpayjBhAnEiWA-7ena-vHP6wBpAaeGosTjnhRRHMOCA42emdZD14lBmFAw9OggQVOGkpicRoCbIQQA vD_BwE
-

18. Laserové navařování. In: *Průmyslové spektrum* [online]. Praha, 2001 [cit. 2023-03-18]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/laserove-navarovani>
19. Laserové navařování. In: *Laser Therm* [online]. Praha [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <https://www.lasertherm.cz/technologie/svarovani-navarovani-kaleni-laserem/laserove-navarovani-kovu>
20. WELCO. *Postup při svařování nástrojových ocelí metodou WIG*. Uherský brod, 2.
21. WELCO. *Pulzní Svařování MIG/MAG*. Uherský Brod, 2023.
22. MESQUITA, Rafael Agnelli. *TOOL STEELS Properties and Performance*. 1. vyd. Boca Raton: CRC Press, 2016. ISBN 978-1-4398-8171-2.
23. HERMAN, Petr. Renovace nástrojových ocelí navařováním. In: *Průmyslové spektrum* [online]. Praha: MM publishing, 2006, [cit. 2023-01-14]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/renovace-nastrojovych-oceli-navarovanim>
24. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. 1. VYDÁNÍ. Brno: Dům techniky, 1994.
25. Co je vlastně... svařování MIG/MAG?. In: *Fronius Perfect Welding Blog* [online]. 2020 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://blog.perfectwelding.fronius.com/cs/co-je-svarovani-mig-mag/>
26. Sváření. In: *Proze* [online]. Praha [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: <http://www.proze.cz/>
27. Obloukové svařování. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Obloukov%C3%A9_sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AAD
28. KUBÍČEK, Jaroslav. TECHNOLOGIE II ČÁST SVAŘOVÁNÍ: Díl 1 ZÁKLADNÍ METODY TAVNÉHO SVAŘOVÁNÍ. In: *Fakulta strojního inženýrství: ústav strojírenské technologie* [online]. Brno, 2006 [cit. 2022-11-22]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/img/opory/5te_technologie_2_svarovani_tavne_kubic_ek.pdf
29. IWELD 6201PFC. In: *Welco* [online]. Uherský brod [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.welco-shop.cz/iWELD-6201PFC-d290.htm>
30. IWELD 6303DP. In: *Welco* [online]. Uherský brod [cit. 2023-02-17]. Dostupné z: <https://www.welco-shop.cz/iWELD-6303DP-d287.htm>
31. Příslušenství MIG. In: *Welco-shop* [online]. Uherský brod [cit. 2023-02-18]. Dostupné z: https://www.welco-shop.cz/Prislusenstvi-MIG-c8_16_3.htm
32. Periodická tabulka: Argon. In: *Prvky* [online]. [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/18.html>
33. MAG DRÁTY. In: *Welco* [online]. Uherský brod [cit. 2023-02-27]. Dostupné z: <https://www.welco.cz/cs/welco-atc-1770>
34. Mechanismy podávání drátu u MIG/MAG svařeček. In: *SVARINFO* [online]. 2008 [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2008020702>
35. PODAVAČ DRÁTU 4RA 4X4 24V PROFI. In: *NARADITECHNIK* [online]. Buchlovice [cit. 2023-02-25]. Dostupné z: <https://www.naraditechnik.cz/PODAVAC-DRATU-4RA-4X4-24V-PROFI-d52.htm>
36. Pulzní svařování MIG/MAG – proč vlastně. In: *Fronius Perfect Welding Blog* [online]. 2021 [cit. 2023-03-11]. Dostupné z: <https://blog.perfectwelding.fronius.com/cs/pulzni-svarovani-mig-mag/>

-
37. IZÁK, Josef. *Posouzení degradace opakovaně opravovaných střížných a tvářecích nástrojů* [online]. Brno, 2021 [cit. 2023-05-23]. 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.
 38. Tool steel. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: https://en.wikipedia.org/wiki/Tool_steel
 39. JURČI, Peter. *Nástrojové oceli ledeburitického typu*. 1. VYDÁNÍ. Praha: České vysoké učení technické v Praze, 2009. ISBN 978-80-01-04439-1.
 40. HIGH PERFORMANCE STEELS: MEDICAL INDUSTRY SOLUTIONS. In: *UDDEHOLM* [online]. Oldbury [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/31/2019/06/UDDEHOLM-UK-Medical-Brochure.pdf>
 41. Rychlořezné nástrojové oceli. In: *Bohdan Bolzano* [online]. Kladno [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: https://bolzano.cz/wp-content/uploads/2020/01/bolzano_web_listy_nastrojove_oceli_rychlorezne_nastrojove_oceli.pdf
 42. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. 1. vyd. Bratislava: Citadella, 2013. ISBN 978-80-89628-18-6.
 43. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vyd. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
 44. NEUMANN, Heinz. *Teorie svařování a pájení*. 1. VYDÁNÍ. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-171-9.
 45. Vliv prvků na vlastnosti ocelí. In: *Kovintrade* [online]. Praha [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://www.kovintrade.cz/vliv-prvku-na-vlastnosti-oceli/>
 46. Vliv jednotlivých prvků na vlastnosti ocelí. In: *TumliKOVO* [online]. 2011 [cit. 2023-04-16]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/vliv-jednotlivych-prvku-na-vlastnosti-oceli/>
 47. VOJTĚCH, Dalibor. *Kovové materiály*. 1. VYDÁNÍ. Praha: Vydavatelství VŠCHT, 2006. ISBN 80-708-0600-1.
 48. Welding of Uddeholm tool steels. In: *UDDEHOLM* [online]. [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/41/2017/12/welding-eng-1710-e7.pdf>
 49. WELCO. *Technologický postup opravy*. Uherský Brod, 2016.
 50. PKNANAVATI. Importance of Dilution in Dissimilar metal welding and calculations of weld metal compositions. In: *Welding Knowledge* [online]. 2020 [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://weldingknowledge.co.in/2020/07/03/importance-of-dilution-in-dissimilar-metal-welding-and-calculations-of-weld-metal-compositions/>
 51. AMBROŽ, Oldřich. SVAŘITELNOST MATERIÁLU: UČEBNÍ TEXTY KOMBINOVANÉHO BAKALÁŘSKÉHO STUDIA. In: *Odbor technologie svařování a povrchových úprav* [online]. Brno, 2002 [cit. 2023-04-23]. Dostupné z: http://ust.fime.vutbr.cz/svarovani/img/opory/fsm_svaritelnost_materialu_ambroz.pdf
 52. Svařování nerezavějících ocelí. In: *ESAB* [online]. Vamberk [cit. 2023-04-27]. Dostupné z: <http://products.esab.com/ESABImages/nerezy2012.pdf>
-

53. MATĚJČEK, Josef. *Obloukové svařování korozivzdorných ocelí pro náročné pracovní podmínky* [online]. Brno, 2015 [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=104467.
Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.
 54. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 1. Brno: CERM, 1999. ISBN 80-720-4130-4.
 55. Ochranné plyny pro svařování MIG / MAG. In: *Vlaho: svařovací technika* [online]. Benešov [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <http://www.vlaho.cz/files/stargasmig.pdf>
 56. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003. ISBN 80-720-4283-1.
 57. Metallographic Etchants. In: *PACE TECHNOLOGIES* [online]. Tucson [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <https://www.metallographic.com/Metallographic-Etchants/Metallography-Etchants.htm>
 58. Metalografická laboratoř. In: *Odbor slévárenství: Ústav strojírenské technologie* [online]. Brno [cit. 2023-04-28]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/slevarenstvi/laboratore-a-vybaveni/metalograficka-laborator-0>
 59. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. In: . 2013 [cit. 2022-11-18]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/info>
 60. 19552-1.2343-H11. In: *Knife: vše o nožích* [online]. 2014 [cit. 2023-05-17]. Dostupné z: <https://www.knife.cz/Default.aspx?tabid=53&g=posts&t=38347>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbole

Označení	Legenda	Jednotka
D	množství promíšení	[%]
Oblast A	plocha nataveného materiálu nad základním materiálem	[mm ²]
Oblast B	plocha nataveného materiálu pod základním materiálem	[mm ²]
Cr _{ek}	ekvivalent chromu	[%]
Ni _{ek}	ekvivalent niklu	[%]

Zkratky

Označení	Legenda
AISI	american iron and steel institute
ESU	electro slug upset
HRC	tvrdost dle Rockwella
HB	tvrdost dle Brinella
HV	tvrdost dle Vickerse
AOD	argon oxygen decarburization
VOD	vakuum oxygen decarburization
ZM	základní materiál
TOO	tepelně ovlivněná oblast
MZV	mezivrstva
FN	finální návar

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list Wr.Nr. 1.2343ESU (AISI H11) [60]
 - Příloha 2 Materiálový list WELCO A1660 [9]
 - Příloha 3 Materiálový list CRONITEX RC 58 [10]
 - Příloha 4 Fotky makrostruktury vzorek A
 - Příloha 5 Fotky makrostruktury vzorek B
 - Příloha 6 Fotky makrostruktury vzorek C
 - Příloha 7 Fotky makrostruktury vzorek D
 - Příloha 8 Linie pro měření mikrotvrdosti, vzorek A
 - Příloha 9 Linie pro měření mikrotvrdosti, vzorek B
 - Příloha 10 Linie pro měření mikrotvrdosti, vzorek C
 - Příloha 11 Linie pro měření mikrotvrdosti, vzorek D
 - Příloha 12 Vliv vneseného tepla na tepelně ovlivněnou oblast a na tvrdost
 - Příloha 13 Fotky makrostruktury, leptání Beraha, vzorek A
 - Příloha 14 Fotky makrostruktury, leptání Beraha, vzorek B
 - Příloha 15 Fotky makrostruktury, leptání Beraha, vzorek C
 - Příloha 16 Fotky makrostruktury, leptání Beraha, vzorek D
 - Příloha 17 Místa vpichů pro měření tvrdosti vzorek A
 - Příloha 18 Místa vpichů pro měření tvrdosti vzorek B
 - Příloha 19 Místa vpichů pro měření tvrdosti vzorek C
 - Příloha 20 Místa vpichů pro měření tvrdosti vzorek D
-