



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

STUDIUM PROVEDITELNOSTI NAVAŘOVÁNÍ LITIN POMOCÍ OBLOUKOVÝCH METOD SVAŘOVÁNÍ

FEASIBILITY STUDY OF WELDING CAST IRON USING ARC WELDING METHODS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Vojtěch Sotolář

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Václav Kaňa, Ph.D.

BRNO 2025

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Vojtěch Sotolář**
Studijní program: Strojírenská technologie
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Václav Kaňa, Ph.D.**
Akademický rok: 2024/25

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.1111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma diplomové práce:

Studium proveditelnosti navařování litin pomocí obloukových metod svařování

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce se zabývá postupem renovace (opravy) litin. Velmi problematickou záležitostí z pohledu svařitelnosti je svařování/ navařování litin, díky poměrně vysokému obsahu uhlíku, křehkosti a poměrně malé tepelné vodivosti. Pro renovaci byly vybrány technologie TIG, MMA a MA(I)G. Technologie MA(I)G není standardně využívána pro opravy litin z důvodu velkého vneseného tepla do návaru a bude pro snížení přenosu tepla použit tzv. pulzní režim. Práce bude realizována s předeřevem a bez předeřevu.

Práce by se měla zabývat literární rešerší typu litin. Popisem, principem a porovnáním jednotlivých technologií. Dále zhodnocením svařitelnosti litin. Následně by jednotlivé vzorky měly být hodnoceny metalograficky a provedeno makroskopické sledování z důvodu možného vzniku trhlin. Závěrem práce by mělo být posouzení a následné doporučení nejvhodnější technologie, nebo jejich kombinace pro renovaci konkrétní litiny.

Cíle diplomové práce:

Literární rešerše litin a jejich svařitelnosti.

Popis, princip a porovnání jednotlivých technologií svařování.

Vyhodnocení svařování a svařitelnosti konkrétní litiny.

Metalografické vyhodnocení dodaných vzorků.

Doporučení technologie, nebo jejich kombinace pro renovaci konkrétní litiny.

Seznam doporučené literatury:

KOVAŘÍK, Rudolf; ČERNÝ, František. Technologie svařování. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, s. 185. ISBN 80-7082-697-5.

ROUČKA, Jaromír. Metalurgie litin. Brno: PC-DIR, 1998, s. 166. : il. ISBN 80-214-1263-1.

ELBEL, Tomáš. Diagnostika a řízení kvality odlitků: studijní opora. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, Fakulta metalurgie a materiálového inženýrství, 2014. ISBN 978-80-248-3584-6.

ELLIOTT, Roy. Cast Iron Technology. London: Butterworths, 1988, s. 244. ISBN 1-48-317649-5.

VONDRÁK, Vladimír. Metalurgie litin: mimopecní zpracování roztavené litiny (očkování, modifikace). 2. vydání. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2011, s. 133. ISBN 978-80-248-2415-4.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2024/25

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jiří Hlinka, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá posouzením vhodnosti metod obloukového svařování MMA, TIG, a MIG/MAG v režimu CMT pro navařování litiny s kuličkovým grafitem GJS 700-2. Práce byla rozdělena na dvě fáze vstupního a finálního experimentu. Cílem vstupního experimentu bylo navařením 4 vzorků ověřit technologickou proveditelnost a případně optimalizovat navařovací parametry pro následující experiment. V rámci finálního experimentu byly zhotoveny opět 4 vzorky v konfiguraci jedné mezivrstvy a dvou tvrdých návarů s optimalizovanými parametry. Vzorky byly podrobeny penetračním a metalografickým zkouškám. Nejlepších výsledků dosáhla metoda MMA, která zajistila požadovanou tvrdost ve finálním návaru. TIG dosahoval požadovaných výsledků jen v omezené části návaru, a proto je nutná další optimalizace. Režim CMT nevyhověl kvůli nedostatku chemického složení navařovaného drátu. Výsledky ukázaly, že metoda MMA je pro danou aplikaci nejvhodnější, avšak CMT nevykazoval ve finálním návaru trhliny, proto by bylo vhodné provést další výzkumy.

Klíčová slova

MMA, TIG, CMT, litina s kuličkovým grafitem, GJS 700-2, navařování litiny

ABSTRACT

The final thesis focuses on assessing the suitability of arc welding methods MMA, TIG, and MIG/MAG in CMT mode for hardfacing cast iron GJS 700-2. The research was performed in two phases as an initial experiment and the final experiment. The purpose of the initial experiment was to verify the technological feasibility of hardfacing by producing four samples and optimize the hardfacing parameters for the next phase of experiment. In the final experiment, it was produced four samples by technology MMA, TIG and MAG/MIG in CMT mode. This consists of one intermediate layer and two hardfacing layers, all with optimised parameters. The samples we subjected to penetration and metallographic testing. Among the tested technology, MMA produced best results by achieving the required hardness in the final layer. The TIG method only reached the required hardness in a limited area of the hardfacing, suggesting need for further optimization. The CMT process proved unsuitable due to the inadequate chemical composition of the welding wire. Nevertheless, since the CMT method did not cause cracking in the final hardfacing layer, further research is recommended. Overall, the results indicate that the MMA method is the most suitable for this application.

Keywords

MMA, TIG, CMT, nodular cast iron, GJS 700-2, welding of cast iron

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SOTOLÁŘ, Vojtěch. *Studium proveditelnosti navařování litin pomocí obloukových metod svařování*. Online, diplomová práce. Václav KAŇA (vedoucí práce). Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2025. Dostupné z: <https://www.vut.cz/studenti/zav-prace/detail/162391>.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Studium proveditelnosti navařování litin pomocí obloukových metod svařování vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

.....
místo, datum

.....
Bc. Vojtěch Sotolář

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Václavu Kaňovi, Ph.D., IWE a Ing. Josefu Izákovi, IWE za cenné připomínky a rady, které mi poskytli při vypracování diplomové práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Karlu Němcovi, Ph.D. a Ing. Petru Bořilovi, Ph.D. za spolupráci. 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
2 Litiny	11
2.1 Značení litin.....	12
2.2 Dělení litin a druhy	14
2.2.1 Legované litiny	15
2.2.2 Bílá litina	15
2.3 Grafitické litiny	16
2.3.1 Litina s lupínkovým grafitem	17
2.3.2 Litina s červíkovitým grafitem	17
2.3.3 Temperovaná litina	18
2.3.4 Litina s kuličkovým grafitem	19
2.3.5 Výroba tvárné litiny	20
2.3.6 Vliv některých chemických prvků.....	21
2.4 Očkování	22
2.4.1 Druhy očkovadel.....	23
2.4.2 Způsob očkování.....	23
2.5 Modifikace.....	23
2.6 Tepelné zpracování.....	24
2.6.1 Žihání.....	25
2.6.2 Kalení a zušlechťování	26
2.7 Svařitelnost litin	27
2.7.1 Předehřev a interpass	28
2.7.2 Čistota návarové plochy	29
2.7.3 Požadavky na přídavný materiál.....	29
2.7.4 Vliv chemických prvků na výsledný návar	30
2.7.5 Požadavky na volbu metody.....	31
2.8 Vnesené teplo a promíšení	32
3 Technologie navařování litin	33
3.1 Technologie navařování MMA	34
3.2 Technologie navařování MIG/MAG	36
3.2.1 Charakteristika pulzních oblouků.....	37
3.2.2 Technologie CMT.....	39
3.3 Technologie TIG	40

4	Vyhodnocení.....	42
4.1	Navařované materiály, provedení návarů a příprava vzorků.....	42
4.1.1	Provedení návarů	44
4.1.2	Zhotovení metalografických vzorků.....	48
4.1.3	Penetrační zkoušky	49
4.1.4	Hodnocení tvrdostí a metalografických vzorků.....	49
4.2	Vstupní experiment	50
4.2.1	Zhodnocení makrostruktur	51
4.2.2	Vyhodnocení mikrostruktury a tvrdosti.....	53
4.3	Hlavní experiment	59
4.3.1	Vyhodnocení penetrační zkoušky.....	60
4.3.2	Zhodnocení makrostruktury	61
4.3.3	Mikrostruktury a tvrdosti finálních návarů.....	63
	ZÁVĚR.....	74

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam příloh

Seznam výkresů

ÚVOD

Litiny jsou velmi zastoupeným materiálem ve strojírenství, kde se uplatňují při výrobě tvarově komplikovaných součástí, jako jsou bloky motorů [2], převodovky, části větrných elektráren [3], ozubená kola apod. Díky velkému obsahu uhlíku je litina velmi dobře slévateľná, ale také disponuje vysokou tepelnou vodivostí, nízkou tažností, což společně s množstvím uhlíku výrazně ztěžuje svařování, popř. navařování [4], tudíž probíhá s předehřevem za účelem snížení rizik defektů.

Na trhu je několik druhů litin lišících se svým chemickým složením a strukturou ovlivňující svařitelnost. Mezi nejznámější patří litina s lupínkovým grafitem (LLG), která disponuje dobrou obrobiteľností [5], ale horšími mechanickými vlastnostmi, velmi složitou svařitelností. Litina s kuličkovým grafitem (LKG) vykazující dobrou tažnost a houževnatost [6], díky vhodným mechanickým vlastnostem se stává podmíněně svařitelnou. Bílá disponuje vysokou tvrdostí [7] a je křehká, což ji činí nesvařitelnou.

Svařování a navařování litin se provádí několika technologiemi. Nejčastěji jsou v praxi využívány metoda MMA a TIG [8; 9]. Ruční obalovaná elektroda nachází zastoupení díky dobrému řízení tepelného vstupu, relativně jednoduchému provedení a dostupnosti [10]. Oproti tomu svařování wolframovou elektrodou v ochranném plynu umožňuje tvorbu precizních čistých svarů s nízkým vneseným teplem [11].

Volba jakékoliv metody vyžaduje preciznost v řízení procesu. Nastavení parametrů a řízení tepelného vstupu hraje roli v tvorbě trhlin, deformací a degradaci mechanických vlastností převážně v tepelně ovlivněné oblasti [12]. Jde o pevnost, tvrdost, houževnatost, které by měly po svařování dosahovat stejných i lepších výsledků, aby díl stále mohl plnit svou funkci.

V současné době se stále více využívá LKG na výrobu dílů s nároky na kombinaci pevnosti a houževnatosti [6; 13]. Jako jsou komponenty automobilových podvozků, hydraulických systémů, díly v energetice, příklady jsou na obr. 1 [3]. Díky kuličkovému grafitu ve struktuře se nabízí možnost součástí renovovat a opravovat právě svařováním [13]. Studie publikovaná Bleicher a kol. ukázala, že vybrané druhy tvárné litiny jsou svařitelné bez výrazného vzniku vad [14].

Nové progresivní technologie, jako je CMT, pulzní svařovací režimy, způsoby příprav vzorků apod. umožňují další možnosti svařování litin se sníženým vneseným teplem, menším tepelným ovlivněním a větší kvalitou návarů [15; 16]. Díky předešlým studiím a novým možnostem technologických procesů je vhodné se touto problematikou zabývat.



Obr. 1 Příklady litinových součástí [17; 18; 19].

1 ROZBOR ZADÁNÍ

Řešená problematika se týká navařování litinových nástrojů, znázorněných na obr. 2, které nacházejí uplatnění v automobilovém průmyslu. Z důvodu potřeby úprav tvaru vyráběných komponentů se z ekonomických důvodů namísto výroby nových odlitků přistupuje k lokálnímu navařování a následnému obrábění návarů, čímž je dosaženo požadovaných rozměrů a geometrie nástroje. [2; 4]

Litiny jsou hojně využívány ve strojírenském průmyslu díky jejich dobrým licím vlastnostem a možnosti vytvářet výrobky různých tvarů. Po odlití musí dosahovat požadovaných mechanických vlastností, proto je výsledný tvar grafitu a chemické složení důležité. [2; 4]

Materiálem pro návary je litina EN-GJS-700-2. Jedná se o litinu s kuličkovým grafitem charakteristickou svou kombinací pevnosti a houževnatosti. Využívá se pro konstrukční aplikace, kde je vyžadována vyšší pevnost než u běžných litin s lupínkovým grafitem. Charakteristický je tvar kuličkového grafitu ve struktuře dosahovaného modifikacemi. V případě potřeby je žíhána, kalena a popouštěna. [3; 4]

Součást bude navařována kombinací elastické mezivrstvy s tvrdým finálním návarem ve 2 až 3 vrstvách. Pro metodu MMA bude využit dnes již běžný invertorový zdroj díky snazšímu zapálení oblouku. U Metod TIG a MIG bude využit zdroj s možností nastavení pulsních režimů, návar režimem CMT se provede na robotickém pracovišti fakulty FSI, varianty řešení jsou rozebrány v kapitole 3. Vzhledem ke komplexnosti problematiky bude aplikace návarů provedena ve zjednodušené podobě navařením 4 vzorků stejných rozměrů. Rozměry vzorků jsou $95 \times 50 \times 20$ mm. Pro každou zvolenou technologii se pomocí metalografických vzorků vyhodnotí makrostruktury k posouzení výskytu trhlin, případně mikrostruktury a provede se měření tvrdosti k finálnímu zhodnocení výsledků. Následně se posoudí vhodnost jednotlivých technologií pro využití v praxi. [1]



Obr. 2 Řešené litinové komponenty.

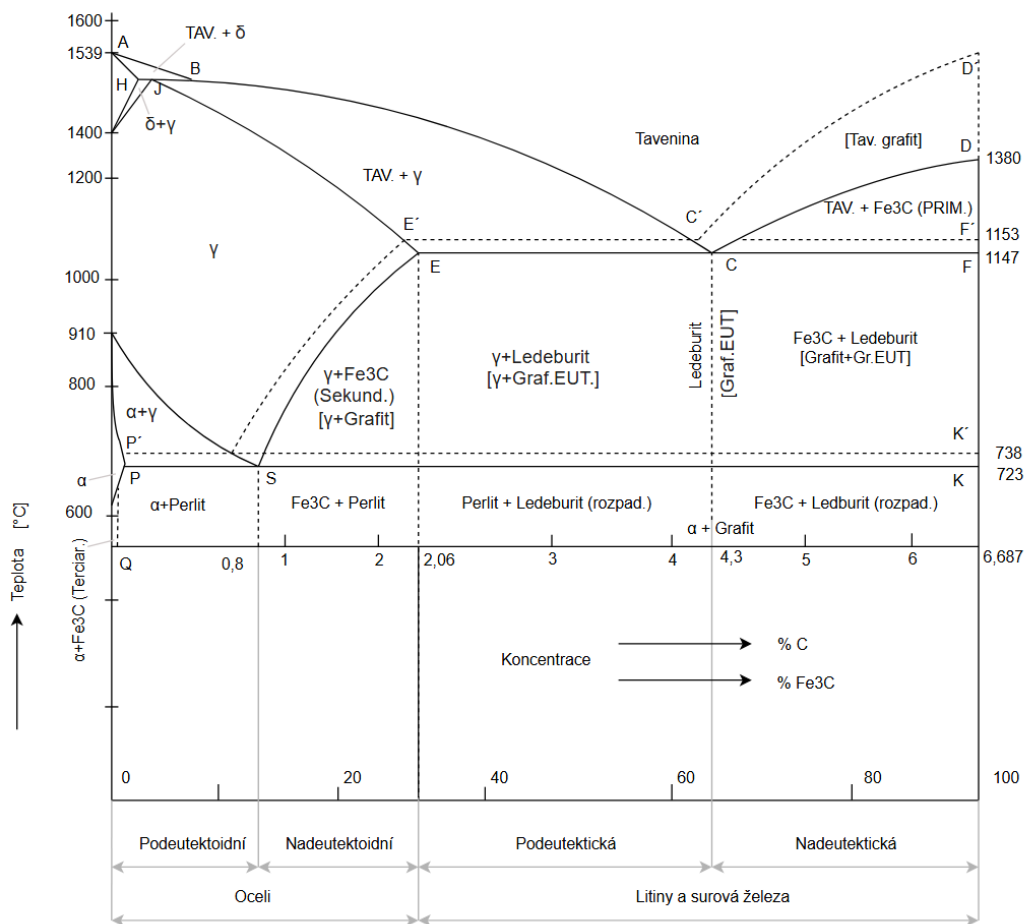


Obr. 3 Navařovaný dílec s rozměry.

2 LITINY

Litiny patří mezi jedny z nejrozšířenějších kovových materiálů, jež jsou známé svou pevností v tlaku, odolností a schopností absorbovat vibrace. Z hlediska chemického složení je řadíme mezi slitiny železa a uhlíku, kde obsah C přesahuje ve struktuře hodnotu 2,1 %. Vysoký obsah uhlíku sice zapříčiňuje křehkost, avšak v kombinaci společně s křemíkem zajišťuje výborné slévárenské vlastnosti. [20; 21]

Krystalizují podle stabilního diagramu železo-uhlík (Fe-C) nebo metastabilního diagramu železo-cementit (Fe-Fe₃C) obr. 4. Během tuhnutí litin se uplatňují oba systémy. Stabilní krystalizace vede ke vzniku tzv. grafitického eutektika, což je charakteristické pro litiny grafitického typu. Naopak metastabilní tuhnutí je typické pro bílé litiny a vede ke vzniku karbidického eutektika známého jako ledeburit. Tato rozmanitost krystalizačních mechanismů poskytuje litinám široké spektrum mechanických a strukturních vlastností a využití. [20; 21; 22]



Obr. 4 Rovnovázný diagram Fe-C (přerušovaná čára) a Fe-Fe₃C (plná čára) [20].

Díky svým mechanickým a technologickým vlastnostem nacházejí litiny uplatnění při výrobě součástí strojů, armatur, potrubí a dalších komponent. Odlévání umožňuje výrobu dílů velkých hmotností a geometrických tvarů, bez výrazného materiálového odpadu s dobrým poměrem ceny a užitných vlastností, čímž se těší hojnému využití. [20; 21; 22]

Z hlediska mechanických vlastností jsou litiny konstruovány na zatížení v tlaku, dosahují významných hodnot pevností v tlaku. Situace je odlišná v případě zatěžování v tahu, kde díky své vysoké křehkosti nedosahují tak vysoké pevnosti, jako např. oceli. [20; 21; 22]

Vývoj v oblasti litinových materiálů však umožnil výrobu moderních typů litin s vyššími mechanickými vlastnostmi než dříve používaná šedá litina neboli litina s lupínkovým grafitem. Moderní litinou dnes velmi zastoupenou na trhu je tvárná litina, také označována jako litina s kuličkovým grafitem. Tvárná litina nabízí vyšší houževnatost, lepší odolnost vůči korozi a vyšší houževnatost, díky čemuž konkuruje některým typům ocelí a rozšiřuje spektrum svého použití. Méně využívaná je bílá litina tuhnoucí dle metastabilního diagramu, která se využívá pro odlitky jednoduchých tvarů a pro výrobu litiny temperované. [20; 22; 23]

2.1 Značení litin

Značení slouží jako klíčový nástroj umožňující identifikaci vlastností litin a jejich vhodnost pro konkrétní aplikaci. Systém je založen na standardizovaných normách zajišťující jednotnou klasifikaci dle chemického složení, mechanických vlastností a mikrostruktury. Pro grafitické litiny je v Evropské Unii jednotný národní systém norem ČSN EN 1560. Tato standardizace je důležitá pro efektivní komunikaci mezi zákazníkem, výrobcem, technologem a uživatelem na mezinárodní úrovni. V praxi se využívají 2 způsoby a to: [24]

- Značení zkráceně dle chemického složení a mechanických vlastností
- Číselné značení

Značení dle mechanických vlastností je běžně používanou formou hlavně v dokumentacích grafitických litin. Označení obsahuje 5 až 6 znaků popisující typ grafitu, matrice, dále mechanické vlastnosti jako je mez kluzu, tažnost atd. Značení může být ještě doplněno o znak udávající způsob výroby zkušební vzorku, označení tvrdosti a nárazové práce apod. [24]

U legovaných litin je vhodné značení dle chemického složení, přičemž začíná značení písmenem X. Za tímto písmenem je uveden obsah uhlíku v setinách procent, následují chemické symboly legujících prvků a jejich hmotnostní koncentrace v procentech. Symboly značení jsou uvedeny v tab. 1 a pozice znamenají: [24]

- Pozice 1 obsahuje EN (musí se použít pro normované materiály, např. EN-GJL-150).
- Pozice 2 obsahuje symbol pro litinu GJ, G znamená odlévání, J železo.
- Pozice 3 pro symbol tvaru grafitu (povinná).
- Pozice 4 pro značení mikrostruktury nebo makrostruktury (volitelná).
- Pozice 5 značení mechanických vlastností nebo mechanické vlastnosti (povinná).
- Pozice 6 symbolu dodatečných požadavků (volitelná).

Tab. 1 Symboly jednotlivých pozic značení [24].

Tvar grafitu (pozice 3)					
L	Lupínkový	M	Vločkový	N	Bez grafitu (bílá)
S	Kuličkový	V	Červíkovitý	Y	Zvláštní tvar
Mikrostruktura a makrostruktura (pozice 4)					
A	Austenitická	M	Martenzitická	B	S černým lomem
R	Ausferitická	L	Ledeburitická	W	S bílým lomem
F	Feritická	Q	Kalená		
P	Perlitická	T	Zušlechtěná		
Mechanické vlastnosti a chemické značení (pozice 5,6)					
Značení pevnosti (udává se min. pevnost v tahu MPa)					
Značení tažnosti (udává se min. hodnota v %)					
Způsoby značení tvrdosti:					
HB	Dle Brinnela	HV	Dle Vickerse	HR	Dle Rockwella
Značení teploty při měření nárazové práce:					
RT	Teplota okolí	LT	Snížená teplota		
Chemické složení					
X					
Třímístná číslice (značení 100x % uhlíku)					
Značka legujícího prvku					
Procentuální množství se odděluje pomlčkami					

Druhým systémem vedle standartního značení litin, které je založené na kombinaci písmen a hodnot mechanických vlastností, je využíván systém značení pomocí 6 čísel. Systém slouží jako doplněk k běžnému značení a jeho hlavním cílem je zajistit jednoznačnou definici materiálu např. v důsledku hledání v rozsáhlých databázích, proto každý druh litin musí mít jedno číselné značení. Jednotlivé číslice jsou uvedeny v tab. 2 a význam jednotlivých pozic značení je následovný: [24]

- Pozice 1 obsahuje číslo skupiny materiálu, pro lité železo 5.
- Pozice 2 obsahuje tečku.
- Pozice 3 určuje druh grafitu.
- Pozice 4 značí strukturu matrice.
- Pozice 5 obsahuje dvoumístné charakteristické číslo od 00 do 99.
- Pozice 6 stejný jako pozice 5.

Tab. 2 Symboly jednotlivých pozic číselného značení [24].

Tvar grafitu (pozice 3)					
1	Lupínkový	3	Kuličkový	5	Bez grafitu
2	Červíkovitý	4	Vločkový	6/9	Jiné
Mikrostruktura a makrostruktura (pozice 4)					
1	Feritická	5	Austenitická	9	Jiné
2	Feriticko - perlitická	6	Ledeburitická		
3	Perlitická	7	Rezerva		
4	Ausferitická	8	Rezerva		
Mechanické vlastnosti a chemické značení (pozice 5,6)					
Čísla od 00 do 99, pracovní skupiny dle materiálových norem, např. EN 1654					

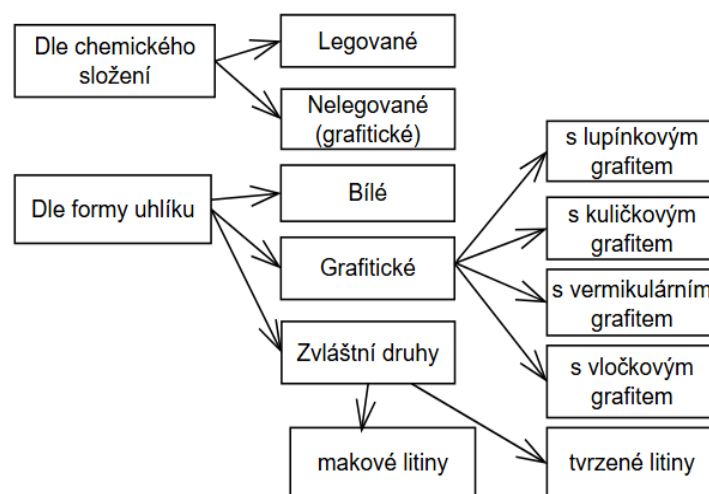
2.2 Dělení litin a druhy

Podle chemického složení lze litiny dělit na legované a nelegované obr. 5. Zjednodušeně lze říct, že nelegované jsou převážně grafitické, legované můžeme rozdělit podle podílu legujících prvků. Litiny z hlediska struktury jsou tvořeny eutektikem a primární fází. Při tuhnutí dle stabilního systému dochází k eutektické reakci, při níž se vylučuje austenit a grafit. Následným ochlazováním dochází k přeměně austenitu na ferit a perlit, přičemž grafit zůstává ve struktuře ve formě lupínků, kuliček nebo jiných tvarů v závislosti na chemickém složení a rychlosti ochlazování. Z tohoto hlediska se litiny dělí dle formy uhlíku viz obr. 5. [20; 21]

Austenit se podle rychlosti chladnutí v tuhé fázi mění na ferit, ferit a perlit, nebo jen perlit. Tyto litiny jsou značeny jako grafitické. Typičtí zástupci jsou šedá litina a litina s kuličkovým grafitem neboli tvárná litina. [20; 21]

Tuhnutím metastabilního eutektika vzniká ledeburit a nedochází k tvorbě grafitu ve struktuře. Složení je austenit a cementit. Litina je označována jako bílá. [20; 21; 23]

Přechodný typ mezi grafitickými a bílými litinami tvoří tzv. maková litina. Mikrostruktura je tvořena kombinací austenitu, grafitu a cementitu, což ji dodává specifické mechanické vlastnosti. Vyznačuje se tvrdostí, odolností proti opotřebení díky přítomnosti tvrdého cementitu, austenit a grafit litině dodávají jistou míru houževnatosti. K dosažení požadované struktury makové litiny je nutné řídit proces tuhnutí a chemické složení legujících prvků. Nachází využití tam, kde je materiál vystaven extrémnímu tření a abrazivnímu opotřebení. [20; 21; 22]



Obr. 5 Grafická tabulka rozdělení litin [20].

2.2.1 Legované litiny

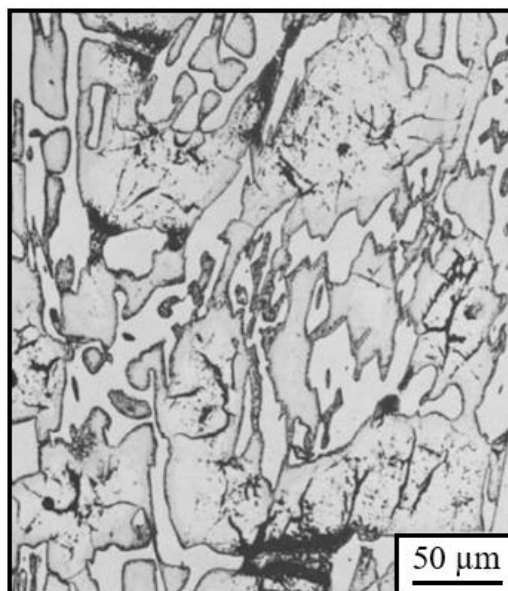
Z hlediska množství legujících prvků je lze rozdělit na nízkolegované a vysokolegované. Legování litin umožňuje zlepšit jejich mechanické, fyzikální a chemické vlastnosti, dle charakteru využití. Procento legujících prvků se pohybuje v řádu desetin až desítek procent. Nejpoužívanější jsou chrom, vanad, nikl, molybden, křemík, měď aj. Jejich vliv na vývoj mikrostruktury a mechanické vlastnosti je popsán v kapitole 2.3.6. [20; 21; 22]

V jednotkách až desítkách procent je obsah legujících prvků ve vysokolegovaných litinách. K legování dochází z mnoha důvodů, tj. k dosažení martenzitické mikrostruktury, tvorbu karbidů ve struktuře nebo kombinace, dále také zlepšení obrobitelnosti, odolnosti vůči opotřebení, zajištění specifických vlastností např. magnetických apod. Hlavním zástupcem legovaných litin jsou bílé. Vysokolegované litiny jsou důležité při aplikacích v agresivním prostředí, odolnost vůči vysokým teplotám, korozi a abrazi. Uplatnění v praxi získávají vysokolegované žáruvzdorné, korozivzdorné litiny v energetickém průmyslu nebo k výrobě odlitků, jako jsou ventily a čerpadla. [20; 21; 23]

2.2.2 Bílá litina

Na rozdíl od typických grafitických litin neobsahuje bílá litina, značená GJN, ve své struktuře grafit. Uhlík je převážně vázán ve formě cementitu (Fe_3C), který společně s perlitem tvoří základní strukturu, která je vyobrazena na obr. 6. Vzniká eutektoidní přeměnou austenitu ledeburitického při rychlém ochlazení. Díky tomuto procesu má litina své specifické a mechanické vlastnosti. [20; 22; 25]

Typicky lze tento druh litiny rozeznat podle lesklého bílého vzhledu na lomovém povrchu, od které je odvozen její název. Vyznačuje se vysokou tvrdostí, křehkostí, což omezuje její použití na specifické aplikace. Obsah uhlíku se pohybuje v rozmezí 2,5 až 3,5 %. Pro dosažení charakteristických vlastností je důležité snížit obsah křemíku pod 1 %. Snížení má za následek minimalizace tvorby grafitu a podpory vzniku karbidů zvyšující pevnost a tvrdost materiálu. [20; 21; 26; 25]



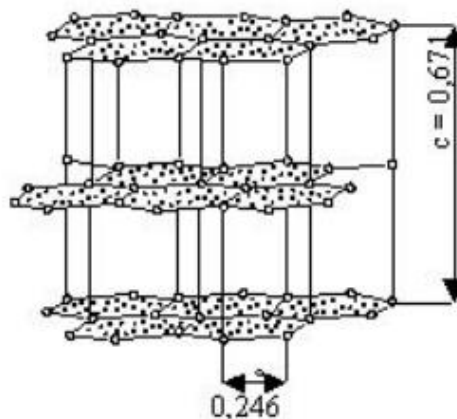
Obr. 6 Struktura bílé litiny [25].

Z důvodu zvyšování odolnosti vůči opotřebení litina obsahuje legující prvky jako jsou mangan, chrom, molybden. Díky těmto prvkům je možné využití pro odlitky vystavené extrémním zatížením, abrazi. [20; 26; 25]

2.3 Grafické litiny

Grafické litiny patří mezi nejpoužívanější litinové materiály. Obsah uhlíku se pohybuje v rozmezí 2,5 až 3,8 %, přičemž uhlík se vylučuje převážně ve formě grafitu. Struktura těchto materiálů je tedy tvořena grafitem a základní kovovou maticí, přičemž druh matrice i tvar grafitu určují finální mechanické vlastnosti materiálu. [21; 22; 27]

Typický lze grafickou litinu poznat na lomové ploše, jako šedý lom, který je způsoben přítomností grafitu v mikrostruktuře. Grafit hraje klíčovou roli ve výsledných mechanických a strukturních vlastnostech. Působí jako přirozený mazací prvek, zlepšuje obrobiteľnost a tlumí vibrace. Zároveň snižuje pevnost a houževnatost. Grafit je v litině jako čistá forma uhlíku, krystalizující v hexagonální soustavě viz. obr. 7. Za běžných podmínek chladnutí se vylučuje v podobě lupínků, což je jeho přirozený tvar. Pro zlepšení vlastností je nutné změnit tvar grafitu pomocí tzv. modifikátorů a zjemnění struktury za pomoci zvýšení počtu grafitotvorných zárodků pomocí očkovačel. [20; 21; 27]



Obr. 7 Schéma mřížky grafitu [26].

Ve struktuře je grafit vázán ve třech základních formách: [20]

- Eutektický – tvoří se tuhnutím eutektika a vytváří s austenitem grafické eutektikum. Řadíme zde grafit lupínkový, kuličkový, červíkovitý.
- Primární – má nepříznivý vliv na mechanické vlastnosti litin. Vzniká jako primární fáze tuhoucích nadeutektických grafických litin. Tvoří hrubé lupínky a při pomalém chladnutí odlitků vystupuje na hladinu kovu a tvoří tzv. grafický šum.
- Temperovaný – vzniká rozpadem karbidů u bílé litiny. Jedná se o rozpad metastabilních složek při tepelném zpracování (žihání na odstranění karbidů, temperování).

Matrice je u litin tvořena feritem, perlitem nebo jejich kombinací. Ve struktuře se také mohou vyskytovat karbidy ve formě cementitu. Každá fáze má své specifické mechanické vlastnosti a vzniká přeměnou austenitu. [20; 23; 27]

Perlit v matici litin tvoří lamely. S rostoucím obsahem perlitu ve struktuře se zvyšují mechanické vlastnosti jako je pevnost, tvrdost a odolnost vůči opotřebení, ale snižují se plastické vlastnosti. Ferit v mikrostruktuře litiny zvyšuje vrubovou houževnatost a tvárnost. Zhoršuje však pevnost a tvrdost. Karbidy jsou ve struktuře vázány převážně ve formě cementitu. Vznikají rozpadem ledeburitu, který se tvoří, při rychlém ochlazení. V litinách jsou karbidy nežádoucí, neboť zhoršují obrobiteľnost. Tvrdé částice se procesem odlamují. Zvyšují tvrdost a tím i křehkost, která vede k iniciaci a šíření trhlin. Díky variabilitám struktury a možností různých úprav výsledného tvaru grafitu lze litiny optimalizovat pro různou škálu aplikací. [20; 21; 27]

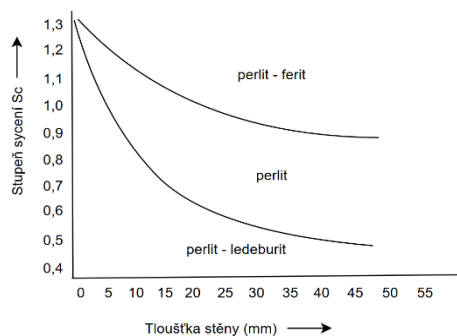
2.3.1 Litina s lupínkovým grafitem

Dříve byla tato litina značená GJL, nazývána jako šedá z důvodu jejího charakteristického lomového vzhledu. Její strukturu tvoří kovová matrice s obsahem grafitu ve tvaru lamelárních částic, tzv. lupínků (obr. 9). Matrice se skládá z feritu a perlitu v různém poměru, nebo jen čistě ferit, perlit. Obsah křemíku se v litině řídí dle požadavků na výslednou matici. Vyšší obsah křemíku zvyšuje podíl grafitu, konkrétně hrubšího lupínkového grafitu a dochází k poklesu podílu perlitu a zvýšení podílu feritu.[20; 23; 26; 27]

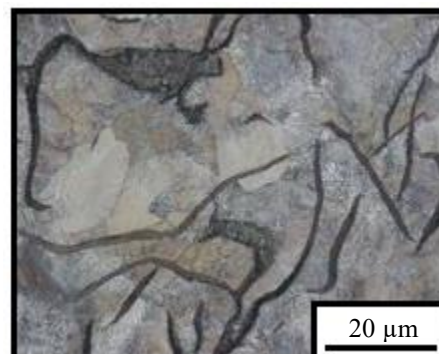
Obsah křemíku je ovlivněn ochlazovací rychlostí a tloušťkou stěny odlitků viz. graf na obr. 8. Tenké části odlitků, jakou jsou například žebra, tuhnou rychleji, což vede k tvorbě tzv. zákalky v podobě tvrdých karbidů. Tato oblast je charakteristická svou vysokou tvrdostí a křehkostí vedoucí k tvorbě nežádoucích jevů během provozu (např. iniciace a šíření trhlin, porušení lomem apod.) nebo při sekundárních operacích jako je obrábění. Odlamováním karbidů během obrábění vznikají „zmetky“, proto je nutné volit správný technologický postup při ochlazování odlitku ve formě.[20; 26]

Mechanické vlastnosti dává litině matrice a tvar grafitu. Ferit snižuje pevnost a tvrdost, ale zlepšuje plastické vlastnosti, naopak perlit tvrdost zvýší na úkor plasticity. Grafit ve tvaru lupínků negativně ovlivňuje vrubové vlastnosti litiny, jelikož má větší délku než tloušťku, nepravidelnou orientaci a ostré konce.[20; 23; 26]

Z technologického hlediska je litina velmi dobře slévateľná a obrobitelná. Mez pevnosti v tahu je relativně nízká například litina EN-GJL-150 dosahuje pevnosti 150 MPa, avšak pevnost v tlaku je velmi dobrá, což umožňuje využití pro součástky namáhané tlakem. Díky své dobré tepelné vodivosti se často využívá v tepelně namáhaných aplikacích. Nachází uplatnění při výrobě armatur, těles čerpadel, bloku motorů a dalších strojních součástí, kde jsou požadovány dobré slévářenské vlastnosti a nízké výrobní náklady.[20; 26]



Obr. 8 Graf vlivu tloušťky stěny odlitku [26].



Obr. 9 Mikrostruktura GJL [26].

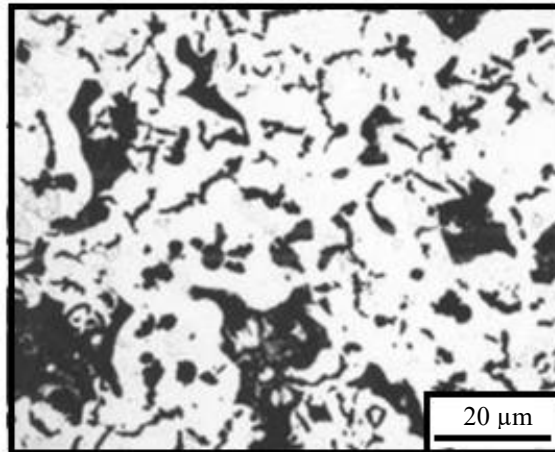
2.3.2 Litina s červíkovitým grafitem

Označována též, jako litina s vermikulárním grafitem (GJV). Charakteristickým znakem je grafit ve tvaru tzv. vermikulárních nebo červíkovitých částic (obr. 10). Avšak morfologicky je oproti grafitu na obr. 9 tlustší a kratší, jak je vidět na obr. 10 (feritická litina GJV-300). Matrice jako u předešlých typů je tvořena buď feritem, perlitem, nebo jejich kombinací, což ovlivňuje výsledné mechanické vlastnosti. [20; 21; 26]

Tento typ struktury vzniká buďto „nechtěně“, například nedostatečnou modifikací, vysokým obsahem síry ve vsázce nebo cíleně přidáním titanu podporují vznik červíkovitého grafitu. Chemicky se blíží k litinám s kuličkovým grafitem. Obecně obsahují přísady hořčíku a křemíku, sloužící ke změně tvaru grafitu a stabilizaci struktury. [20; 22; 26]

Z hlediska vlastností kombinuje výhody šedé litiny a litiny s kuličkovým grafitem (LKG). Oproti šedé litině má lepší pevnost a houževnatost. Zachovává si dobré lící vlastnosti a tepelnou vodivost. Po stránce mechanických vlastností se blíží k LKG, zejména díky vyšší pevnosti a odolnosti proti tepelné únavě. [20; 22; 26]

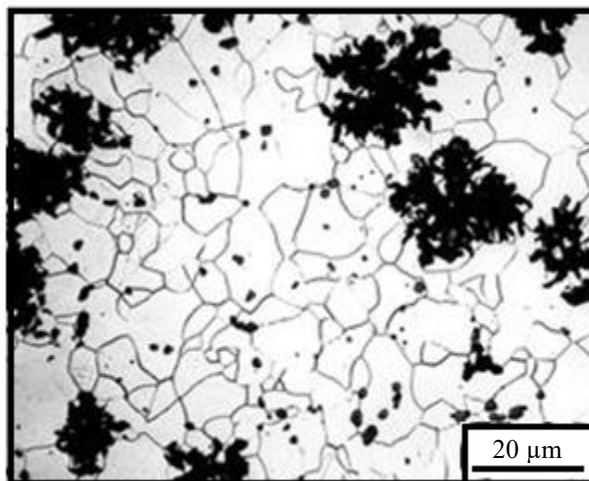
Je hojně využívána na výrobu tepelně a mechanicky namáhaných součástí. Díky schopnosti odolávat vysokým teplotám a teplotním šokům nachází uplatnění u výfukových systémů, výměníků tepla a součástí v energetickém průmyslu. [20; 23; 26]



Obr. 10 Litina GJV-300 [26].

2.3.3 Temperovaná litina

Tepelným zpracováním bílé litiny se vyrábí tzv. temperovaná litina, a to procesem nazývaným temperování. Během procesu dosahujeme grafitizace vzniklého cementitu a litina se stává méně tvrdá a tvárnější. Grafit vzniká přeměnou, má tvar charakteristických vloček viz. obr. 11, které zlepšují mechanické vlastnosti struktury, zejména houževnatost a odolnost vůči opotřebení. [20; 23; 26]



Obr. 11 Temperovaná litina s bílým lomem [26].

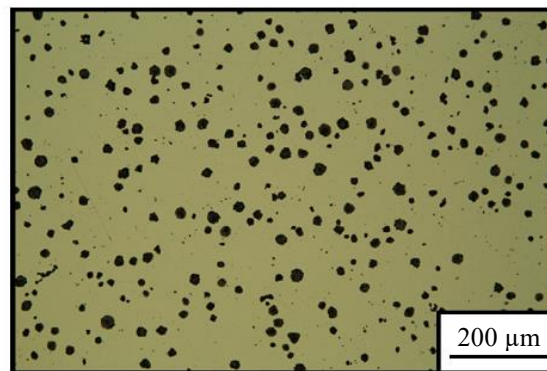
Vlivem druhu tepelného zpracování vznikají různé typy mikrostruktury. Typické dělení temperované litiny je na litinu s bílým lomem, která je tvořena převážně perlitickou strukturou. Struktura vzniká při zpracování za teplot okolo 1000°C. Při tomto zpracování získává litina

vyšší tvrdost a křehkost. Využití nachází u strojních dílů vystaveným tlakovým napětím a opotřebením. [20; 22; 26]

Druhý zástupce je litina s černým lomem vyráběná žháním v neutrální atmosféře. Proces je využíván z důvodu získání požadované matrice buďto feritické nebo perlitické v závislosti na požadovaných mechanických vlastnostech. Hojně se využívala pro výrobu dynamicky zatěžovaných součástí, jako jsou například kladky a ozubená kola. V dnešní době je však upozaděná a téměř se nepoužívá. [20; 26]

2.3.4 Litina s kuličkovým grafitem

Jelikož je tento druh litiny předmětem zkoumané diplomové práce, bude tato kapitola podrobněji rozebrána. Tvárná litina, nazývána také jako litina s kuličkovým grafitem, je řazena do skupiny grafitických litin se značením GJS. Ve německých normách se lze setkat s označením GGG. Charakteristickým rysem litiny je grafit vyloučený v podobě kuliček, který lze vidět na obr. 12. Kulový tvar je zásadní pro výsledné mechanické vlastnosti, zejména vysoká houževnatost a pevnost. Požadované mikrostruktury dosahujeme přidáním látek obsahujících převážně hořčík (Mg). [20; 21; 22; 26]



Obr. 12 Výbrus litiny s kuličkovým grafitem bez leptání.

Hlavním pilířem je kombinace správné modifikace a očkování, jelikož právě tyto procesy určují konečné vlastnosti litiny. Modifikací se mění růst grafitu na kuličkový tvar, což snižuje koncentraci napětí v materiálu a zlepšuje jeho plastické vlastnosti, jako je vyšší vrubová houževnatost a pevnost za dynamických podmínek zatěžování. Jak již bylo zmíněno výše, k modifikaci se využívají slitiny obsahem hořčíku a dalších prvků. Dalším důležitým krokem je očkování, sloužící k podpoře tvorby zárodků grafitových kuliček. Nejčastěji je k očkování jako nosič využíváno ferosilicium (FeSi) společně s aktivní složkou hliníku a vápníku. Dále to může být stroncium, bariem a zirkonium. [20; 21; 22; 23; 26]

Vlastnosti litiny v zásadě ovlivňuje její základní kovová hmota neboli matrice. Závisí na chemickém složení, rychlosti chladnutí během tuhnutí, množství krystalizačních zárodků a případném tepelném zpracování. Matrice může být čistě feritická, perlitická nebo kombinace obojího. U legovaných variant litiny lze dosáhnout i austenitickou, martenzitickou nebo komplexní s vývojem karbidické mikrostruktury. [20; 21; 22; 26]

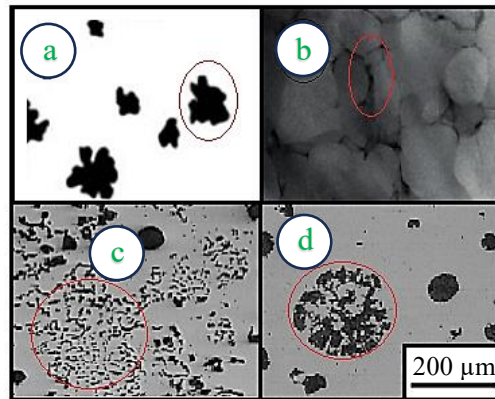
Feritická matrice vzniká transformací eutektoidu podle stabilního systému při pomalém ochlazování a vyšším obsahu křemíku. Ferit je měkký, tvárný, dobře obrobitelný a poskytuje litině vysokou houževnatost na úkor pevnosti a tvrdosti. [20; 23; 26]

Perlitická matrice se tvoří rozpadem austenitu podle metastabilního systému. Skládá se z cementitu a feritových lamel. Oproti feritu poskytuje vyšší tvrdost a pevnost, avšak nižší plastické vlastnosti a horší obrobitelnost. Dosahuje dobré odolnosti vůči opotřebením. [20; 21; 23; 26]

Feriticko–perlitická se používá k dosažení kompromisu mezi pevností a houževnatostí. Legované tvárné litiny nabízí vlastnosti austenitické, martenzitické, perlitické, bainitické či směs vlastností matrice. Dosahují zlepšení z hlediska mechanických vlastností, odolnosti vůči vysokým teplotám a korozi. [20; 23; 26]

Hlavním prvkem tvárné litiny je grafit a jeho tvar po odlití, který by měl být kulovitěho tvaru, jemný a rovnoměrně disperzně rozložený ve struktuře (obr. 12), jakékoliv odchylky od kuličkového tvaru se považují za nežádoucí. Nevhodná morfologie grafitu ve většině případů vede ke zhoršení vlastností. Příliš jemně vyloučený grafit má zhoršené technologické vlastnosti, nejvíce má vliv na rozsah pórovitosti a mikrostaženin. Rovnoměrnost rozptylu a tvar grafitu klesá s nevhodným očkováním, přítomnost nečistot ve vsázce, nerovnoměrným rozložením chemických prvků, příliš rychlým tuhnutím apod., což vede k metalurgickým vadám (obr. 13.) jako jsou: [20; 21; 28]

- Nedokonalá kulatost grafitu
- Intercelulární (mezizrnový) grafit
- Chunky grafit
- Explodovaný grafit



Obr. 13 Chyby grafitu

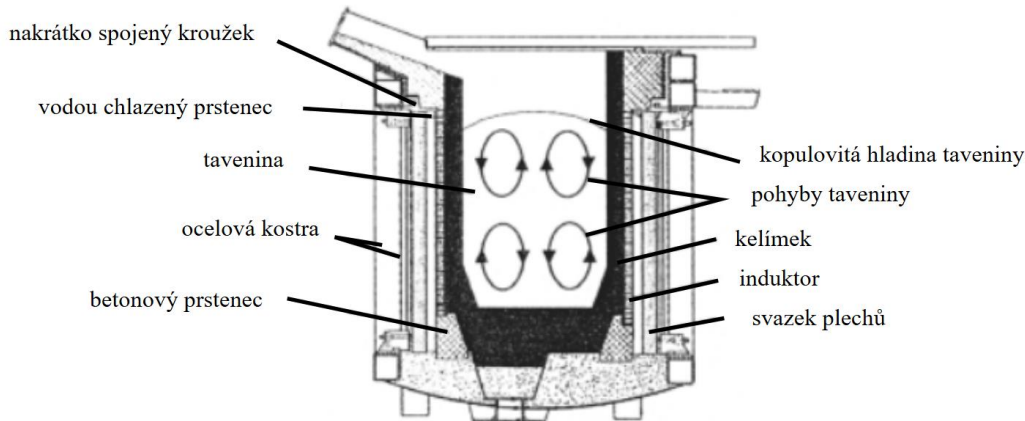
- a) Nedokonalá kulatost grafitu, b) Intercelulární grafit, c) Chunky grafit,
d) Explodovaný grafit [28; 29; 30; 30].

Tvárná litina je rozšířeným materiálem ve strojírenství díky své kombinaci pevnosti, houževnatosti, odolnosti vůči únavě a relativně dobré obrobiteľnosti. Využití nachází v automobilovém průmyslu, hydraulické systémy apod. [20; 21; 26]

2.3.5 Výroba tvárné litiny

Oproti šedé litině je GJS litina výrazně citlivější na chemickou čistotu vsázky. Nutné je používat suroviny s nejnižším obsahem síry, fosforu, karbidotvorných prvků a dalších nežádoucích nečistot, které by mohly ovlivnit grafitizační proces. Výskyt těchto prvků by mohl vést ke vzniku karbidických struktur, tudíž k negativnímu ovlivnění mechanických vlastností litiny. [20; 21; 26]

Dalším faktorem je použití vhodné technologie tavení neboli tavícího agregátu. Tavbou v indukčních pecích viz. obr. 14 lze dosáhnout rafinačních reakcí, které pomáhají snížit obsah škodlivých prvků vsázky. Díky této technologii jsou požadavky na čistotu v těchto pecích nižší než u jiných typů zařízení, například kupolové pece. [20; 22; 23; 26]



Obr. 14 Schéma elektrické obloukové pece [31].

Surová železa k výrobě tvárné litiny, jsou jiná než například pro šedou litinu. Pro tavbu jsou využívána vysokopeční surová železa s vysokou čistotou nebo železa vyráběná speciálními rafinačními procesy, aby obsahovaly co nejmenší množství nežádoucích prvků, což napomáhá dosažení požadované struktury, jedná se především o slitiny Fe-C-Si. [20; 22; 26]

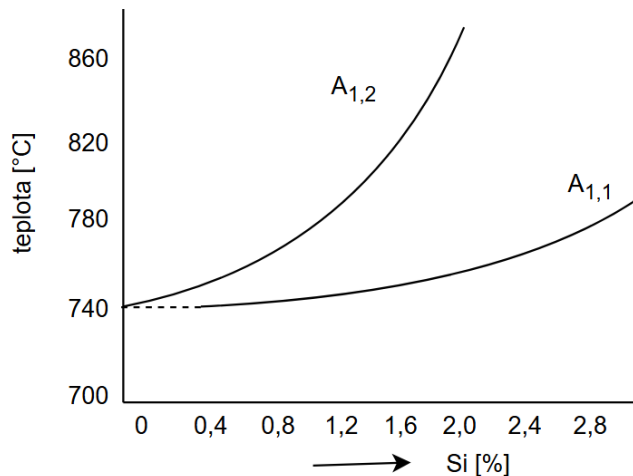
Vsázka obsahuje pečlivě tříděný ocelový odpad, měl by obsahovat co nejmenší množství manganu a karbidotvorných prvků, které negativně ovlivňují výslednou mikrostrukturu litiny. Nevhodnou volbou ocelového odpadu může dojít ke kontaminaci vsázky stopovými prvky a plyny a dojde k defektům v odlitcích. Nejvhodnější jsou proto hlubokotažné plechy s optimálním složením pro tavení. [20; 22; 26]

2.3.6 Vliv některých chemických prvků

Každý chemický prvek hraje v litinách specifickou roli. Některé prvky jsou žádoucí a pomáhají dosahovat požadovaných mechanických vlastností litiny, typickým příkladem jsou legující prvky, které zvyšují pevnost a tvrdost materiálu. Naopak přítomnost nežádoucích prvků, jako je fosfor a síra, vede ke zhoršení mechanických vlastností. U tvárné litiny je navíc důležité věnovat pozornost prvkům, které mají vliv na tvorbu kuličkového grafitu. Tyto prvky jsou nazývány jako tzv. antiglobulizační, mezi něž patří titan, olovo, cín bismut aj. Jejich obsah je proto kontrolován a přísně omezen na setiny až tisíce procent ve struktuře. [2; 3; 8; 15]

Základním prvkem všech litin je uhlík. Má jeden z největších vlivů na vlastnosti a mikrostrukturu litin. Uhlík samotný neovlivňuje výrazně vlastnosti, mírně však snižuje pevnost a tvrdost. Podporuje grafitizaci čili přechod z formy cementitu na volný ve formě grafitu. Zvyšující množství grafitu má za důsledek zvýšení útlumových vlastností. Litina vylučováním grafitu zvyšuje svůj objem, dochází ke kompenzaci stahování při krystalizaci austenitu, jelikož je vyloučeno více grafitu z uhlíku a stažení litiny při tuhnutí zmenšuje. Tento fakt umožňuje omezit v některých případech vyloučit potřebu nálitkování. Velmi vysoké množství uhlíku však zapříčiňuje hrubnutí grafitu, proto je nutné množství ohlídat. [2; 4; 8; 15]

Křemík je společně s uhlíkem dalším velmi významným prvkem. Podporuje grafitizaci při tuhnutí, u eutektoidních přeměn vznik feritu díky tomu, že nahrazuje atomy železa ve struktuře. Zlepšuje slévatelnost z hlediska snížení teploty tavení, avšak ve větším množství tvoří póry a trhliny. Rostoucí obsah křemíku způsobuje pokles rozpustnosti uhlíku v austenitu a zvyšuje pevnost matrice. Hlavní problematikou růstu obsahu křemíku je zvyšování tranzitních teplot a podpora výskytu křehkého lomu. Graf na obr. 15 ukazuje, že rovněž ovlivňuje teplotu eutektoidní přeměny. Při růstu obsahu křemíku přestává být konstantní, přechází v interval teplot $A_{1,1}$ a $A_{1,2}$ a posouvá je k vyšším hodnotám. Stejný vliv je také na eutektickou přeměnu, kdy probíhá opět v intervalu teplot. [2; 3; 4; 8; 15]

Obr. 15 Graf vlivu křemíku na interval teplot $A_{1,1}$ a $A_{1,2}$ [8].

Mangan zapříčiňuje pokles tvorby grafitu, avšak snižuje negativní vliv křemíku. Má schopnost na sebe vázat síru za vzniku MnS. Snižuje kritickou teplotu a obsah uhlíku v eutektiku. Zlepšuje odlévání zvýšením tekutosti a homogenitu odlitků. Jeho hlavní vliv u litin s kuličkovým grafitem je stabilizace perlitu. Dochází k jeho zjemnění a tím k zvýšení tvrdosti, pevnosti a odolnosti vůči otěru. Při zvýšení obsahu v litině nad 0,6 % zapříčiní pokles pevnosti a tažnosti za vyšších teplot. V optimální míře zvyšuje tažnost a houževnatost za nízkých teplot. [2; 3; 8; 15]

Měď se v litinách používá ke stabilizaci perlitu v rozsahu od 0,5 až 1,5 %. Při požadavku feritické struktury by obsah mědi neměl přesáhnout 0,03 %. U litin s kuličkovým grafitem se využívá jeho kombinace s chromem k získání perlitické struktury s jemnými zrny grafitu vedoucí ke zlepšení mechanických vlastností. [2; 3; 4; 8; 15]

Prvním nežádoucím prvkem ve strukturách je síra. Pomáhá stabilizovat cementit, způsobuje smrštění odlitků a zhoršuje homogenitu. Při navařování je nežádoucí z důvodu vzniku lámavosti za tepla. Z tohoto důvodu se snažíme její obsah eliminovat a ve struktuře tvárné litiny se snižuje její obsah pod 0,01 %. [2; 3; 8; 15]

Fosfor je společně se sírou dalším nežádoucím prvkem, jelikož v LKG s vyšším obsahem křemíku způsobuje snížení tažnosti. Proto je snaha snížit jeho množství pod 0,08 %. Zlepšuje však odolnost vůči otěru, protože vytváří tvrdé sloučeniny Fe_3P nazývané se steadit. [2; 3; 8; 15]

2.4 Očkování

Jedná se o nejčastější způsob mimopecního zpracování k formování konečné struktury litiny v odlitku. Principem je vnášení látek na bázi FeSi do roztavené litiny, vedoucí ke vzniku heterogenních zárodků, pro krystalizaci grafitu. Větší počet zárodků ovlivňuje pozitivně nukleaci a růst grafitu, který roste při menším přechlazení pod stabilní eutektickou teplotu. Nukleace má vyšší teplotu než teplota metastabilního eutektika a tím je omezen vznik ledeburitu, čili se zmenšuje zákalka. Grafitizace je dokonalejší tím, čím více je ve struktuře aktivních zárodků. Zlepšuje se obrobiteľnosť a mechanické vlastnosti. Není však vhodné dosahovat vysokého počtu zárodků. Velký obsah zárodků má vliv na homogenitu litiny. Větší disperzita grafitu vede v litině k vnitřnímu, kašovitému tuhnutí a dochází ke vzniku pórů ve struktuře. [2; 3; 8; 15]

Očkování má význam jsou-li nevhodné podmínky pro vznik grafitu. Jestliže dochází k rychlému tuhnutí odlitku, chemické složení nevyhovuje grafitizaci. Ve struktuře je nízký

uhlíkový ekvivalent, malý obsah prvků podporující grafitizaci a velký počet karbidotvorných prvků. Nedostatečným očkovaním vzniká nepravidelně rozložený, přechlazený grafit a oblasti s metastabilní strukturou. Dochází ke zhoršení mechanických vlastností, technologických vlastností a zvyšují se pevnostní vlastnosti. [2; 3; 8; 15]

2.4.1 Druhy očkovaadel

Nejběžnější očkovaadla jsou na bázi křemíku tzv. ferosicilium. Z hlediska chemického složení obsahuje 65 až 75 % Si a okolo 1 % Al a Ca. Nejlepších výsledků dosahujeme kombinací obou. Pokud se nad míru zvýší obsah Al dochází ke vzniku bodlin a vysoký obsah Ca způsobuje struskovité vměstky. Dle použití se volí různý poměr těchto prvků. Další prvky očkovaadel na bázi křemíku pro zlepšení očkovaacích účinků jsou Ba, Sr, Zr, Mn, Ce, Ti. [20; 21; 22; 26]

Očkovaadla na bázi uhlíku se skládají z 30 % C a cca 45 % Si. U litin s nízkým obsahem síry je účinek minimální a nelze je například použít u tvárné litiny. Nízkou teplotou očkování se špatně rozpouští a tvoří strusku. V praxi se proto očkuje při teplotě alespoň 1400 °C a do pánve se dávkuje o obsahu přibližně 0,45 %. [20; 21; 22; 26]

Silikokalcium (SiCa) je očkovaadlo využívané, díky svému desoxidačnímu a desulfuračnímu účinku. Využití má spíše u ocelí a pro litiny není běžné. Význam má však už při nízkém obsahu síry. Pro očkování se využívá dávkování cca 0,3 % o složení cca 30 % Ca a 65 % Si. [20; 21; 26]

Posledním očkovaadlem je karbid křemíku SiC. Teplota tavení je cca 1700 °C. V litině se rozpouští a netaví se. Má dlouhodobý očkovaací účinek a na rozdíl od FeSi zvyšuje stabilitu zárodků při vyšších teplotách taveniny. Obsahuje cca 85–90 % SiC. [20; 21; 26]

2.4.2 Způsob očkování

Základem celého očkování je zajištění úplného rozpuštění očkovaadla a homogenizace taveniny. Aby bylo očkování co nejefektivnější musí se dodržet správná teplota kovu. Z důvodu poklesu účinku očkovaadla tzv. odeznívání je záhodné dodávat očkovaadlo do taveniny co nejpozději a zkrátit tak dobu mezi očkovaním a litím. Nejlepší je očkovat v průběhu odlévání, což snižuje i náklady, jelikož není za potřebí velké množství očkovaadla. [20; 21; 26]

Jednou z hlavních metod je očkování v pánvi. Vhodně zvolené očkovaadlo s potřebnou zrnitostí se vhadzuje do lící pánve buďto v průběhu nalévání kovu z pece nebo během transportu pánve, když je dno zakryté tekutým kovem. Do prázdných pánví se nevhazuje, jelikož nemusí dojít k jeho rozpuštění a může se usadit na dně. [20; 21; 26]

U automatických odlévacích zařízení se očkovaadlo dávkuje postupně do proudu kovu nebo do mezipánve při celém průběhu lití. Využívá se převážně očkovaadel s nižší zrnitostí řádově okolo 1 mm. [20; 21; 26]

2.5 Modifikace

Operace, která ovlivňuje tvar vznikajícího grafitu, při krystalizaci. Zjednodušeně dochází ke změně grafitu lupinkového na kuličkový působením modifikátoru. Vlivem změny grafitu se mění mechanické vlastnosti litiny. Roste houževnatost, což je vhodné pro následné technologické procesy, jako je například svařování. [20; 21; 22; 26]

Během modifikace dochází k vypaření hořčíku, který tvoří atomární stav a dostává se na plochy grafitu, kde dojde k jeho absorpci a změně rychlosti růstu ploch krystalu. Rovněž dochází k desoxidaci, odplynění, odsíření taveniny, což má přímý vliv na změnu fyzikálních vlastností a růst grafitu. Mění se nukleační podmínky a dochází ke zvýšení podchlazení, mění se délka

a teplota eutektické prodlevy. Předpokladem dobré modifikace je obsah zbytkového hořčíku ve struktuře a po modifikaci minimálně 0,03 %. [2; 3; 4; 8; 15]

Podmínkami úspěšné modifikace je řada vlastností, které musí litina splňovat. Důležitou roli hraje vysoká grafitizace, jelikož modifikací se snižuje právě schopnost grafitizace tzn. zvyšuje se sklon k metastabilnímu tuhnutí. Z hlediska chemického složení musí litina disponovat velkým množstvím C a Si. Uhlík cca v rozmezí 3,5 až 3,8 % a Si max. 2,8 %. Důležité je očkování, které modifikaci provází. Očkuje se během modifikace a sekundárně po modifikaci. [20; 21; 26]

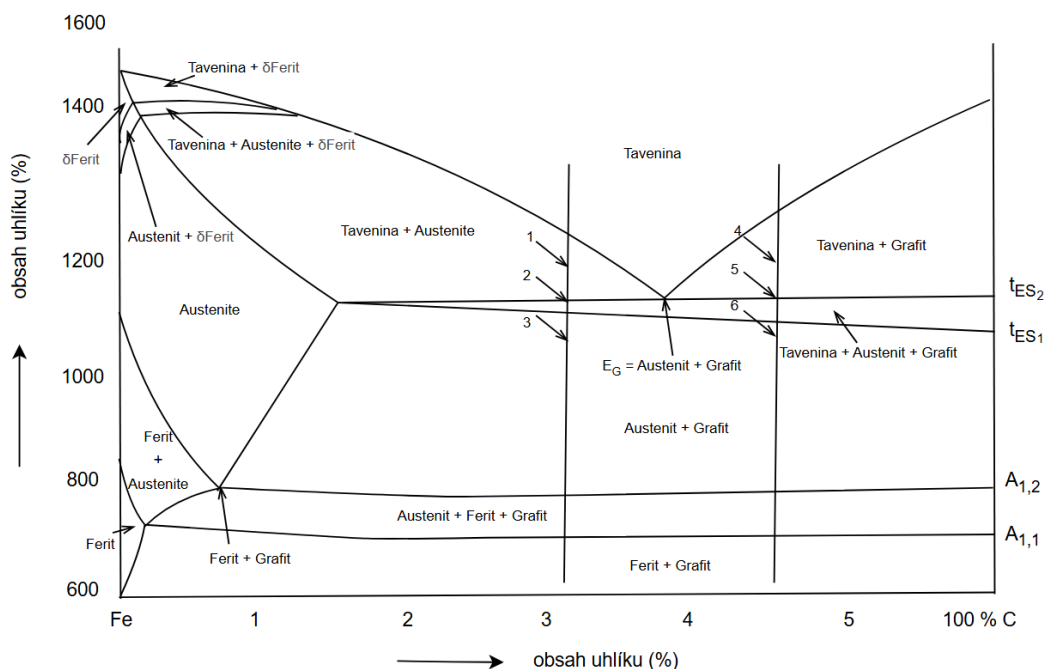
2.6 Tepelné zpracování

Využívá se spíše okrajově, jelikož slévárny se snaží dosáhnout předepsaných vlastností již po odlití. Pokud nemůžeme dosáhnout požadovaných mechanických vlastností zákazníka během lití přichází na řadu tepelné zpracování. Hlavními cíli je snížit vnitřní pnutí, zvýšit obrobiteľnosť, oťeruvzdornost a všeobecne mechanické vlastnosti. [20; 21; 23]

Tepelné zpracování se provádí běžně, jako u ocelí. Dle potřeby můžeme litiny žíhat na odstranění vnitřního pnutí, na měkko, normalizačně. Dále lze litiny kalit rychle do vody/oleje, izotermicky pro dosažení bainitické matrice, zušlechťovat. [20; 26]

Jelikož jsou v litinách různé prvky, které mají vliv na finální tvar Fe-C/Fe-Fe₃C diagramu, proto se při tepelném zpracování vychází z diagramu Fe-C-Si obr. 16. Křemík se volí, neboť má největší vliv na tvar diagramu. Rozděluje kritické teploty a zvyšuje je A_{1,1} a A_{1,2} obr. 16. Například mangan teploty snižuje. [20; 21; 26]

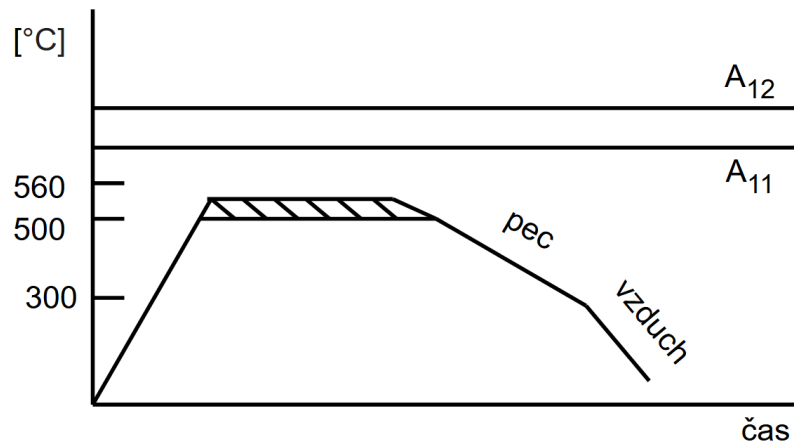
Z hlediska svařitelnosti a navařování je však nutné níže uvedené metody tepelného zpracování znát. V TOO litin po navařování se setkáme se všemi druhy „tepelného zpracování“, jelikož dohází k tepelnému ovlivnění základního materiálu v různém rozsahu teplot. [20; 22; 23]



Obr. 16 Diagram Fe-C-Si pro obsah 2 % Si [26].

2.6.1 Žihání

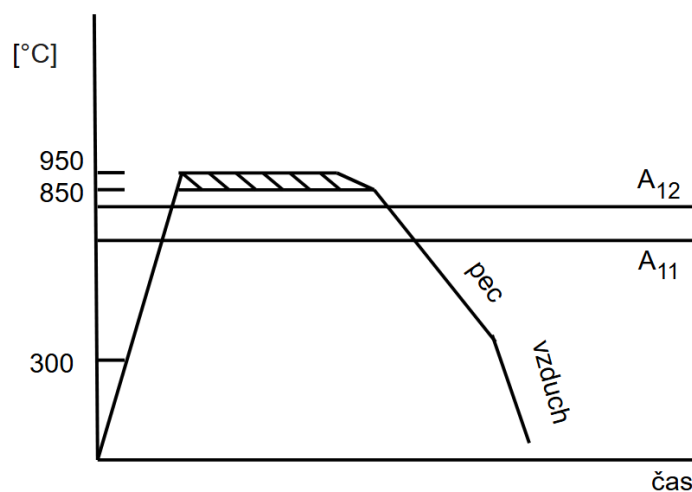
Způsoby žihání se provádí stejně jako u ocelí, vždy postup provází ohřev na teplotu, výdrž a následně ochlazení. Jedním z nejčastějších je žihání ke snížení vnitřního pnutí. Vnitřní pnutí u odlitků způsobuje jejich deformaci, zvyšuje napěťový stav a způsobuje vznik trhlin. Pnutí je důsledkem rychlého tuhnutí odlitku a rozdílným tuhnutím v různých částech. Proces probíhá v podkritických teplotách, ovšem záleží na druhu litiny a obsahu legujících prvků. Teploty se pohybují v rozmezí 500 – 650 °C viz. Obr. 17. Pokles napěťového stavu materiálu probíhá mechanismem plastických deformací. Rozhodující je správné zvolení teploty a času, následně pomalé ochlazení, abychom nevyvolali pnutí v materiálu. [20; 21; 32]



Obr. 17 Žihání na odstranění vnitřního pnutí [20].

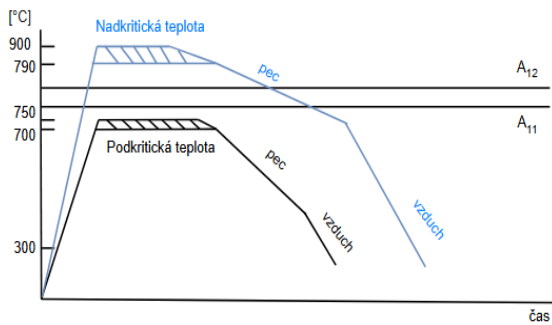
Dalším procesem je žihání na měkko, sloužící ke snížení tvrdosti, zvýšení tažnosti, houževnatosti a obrobitelnosti litiny. Během procesu chceme dosáhnout rozpadu perlitu nebo ledeburitického cementitu. Je možné ho rozdělit na dva stupně. [20; 21; 23]

Prvním je žihání na odstranění volných karbidů neboli první stupeň grafitizace a druhé feritizační žihání tzv. druhý stupeň grafitizace. Pro rozpuštění karbidů především cementitu, avšak vzhledem ke struktuře se mohou vyskytovat i karbidy jiného typu, je potřeba materiál ohřát nad kritickou teplotu cca 860 až 900 °C v závislosti na obsahu legujících prvků, kdy dojde k rozpadu těchto metastabilních složek na grafit a austenit (obr. 18). Prvky, které zvyšují stabilitu karbidů, jsou především Cr, V, Mo. Po rozpuštění se využívá ochlazení na vzduchu nebo v pecích. [20; 21; 23]

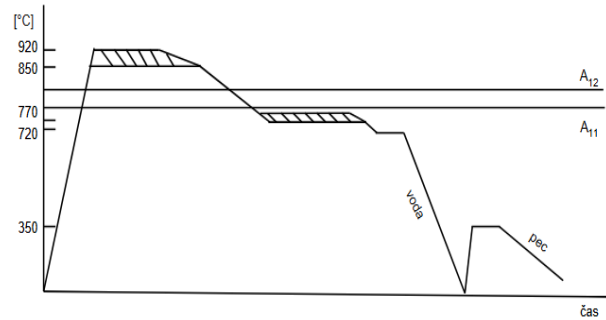


Obr. 18 Žihání na odstranění karbidů [20].

Feritizační žíhání již podle názvu napovídá, že po aplikaci bude dosaženo feritické struktury v litině. Provádí se ohřevem buďto na podkritickou 700 až 760 °C, nadkritickou teplotu 790 až 900 °C (obr. 19), nebo dvoustupňově (kombinace dvou předešlých) (obr. 20) u litin s kuličkovým grafitem s požadavky na tažnost. Vzhledem k chemickému složení materiálu se volí mezi těmito stupni. Prvky jako Si a Al rychlost rozpadu cementitu urychlují, tudíž teplotu žíhání snižují. [20; 21; 23]

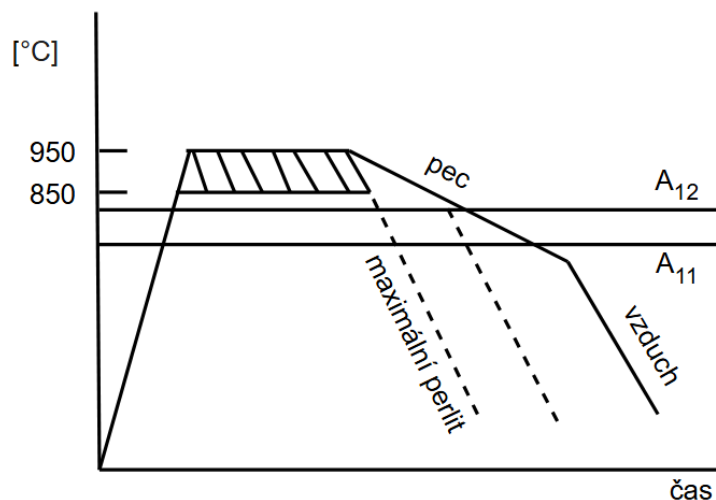


Obr. 19 Feritizační žíhání pod/nadkritických teplot [20].



Obr. 20 Dvoustupňové feritizační žíhání [20].

Normalizační žíhání je využíváno za účelem dosažení podílu nebo úplného dosažení perlitické struktury. Proces je složený z ohřevu na austenitizační teplotu cca 850 až 920 °C (obr. 21), kde dochází k obohacení austenitu uhlíkem a následné rychlé ochlazení přes oblast kritických teplot. Se zvyšující se teplotou austenitizace dojde k rozpuštění většího množství uhlíku, ovšem hrozí riziko hrubnutí zrna austenitu i perlitu. Chlazení se volí dle velikosti odlitu a podmínek dosažení perlitu. Silné odlitky chladíme proudem vzduchu nebo vodní sprchou, tenkostěnné obvykle na vzduchu. Rychlostí můžeme regulovat množství vzniklého perlitu. [20; 21; 23]



Obr. 21 Normalizační žíhání [20].

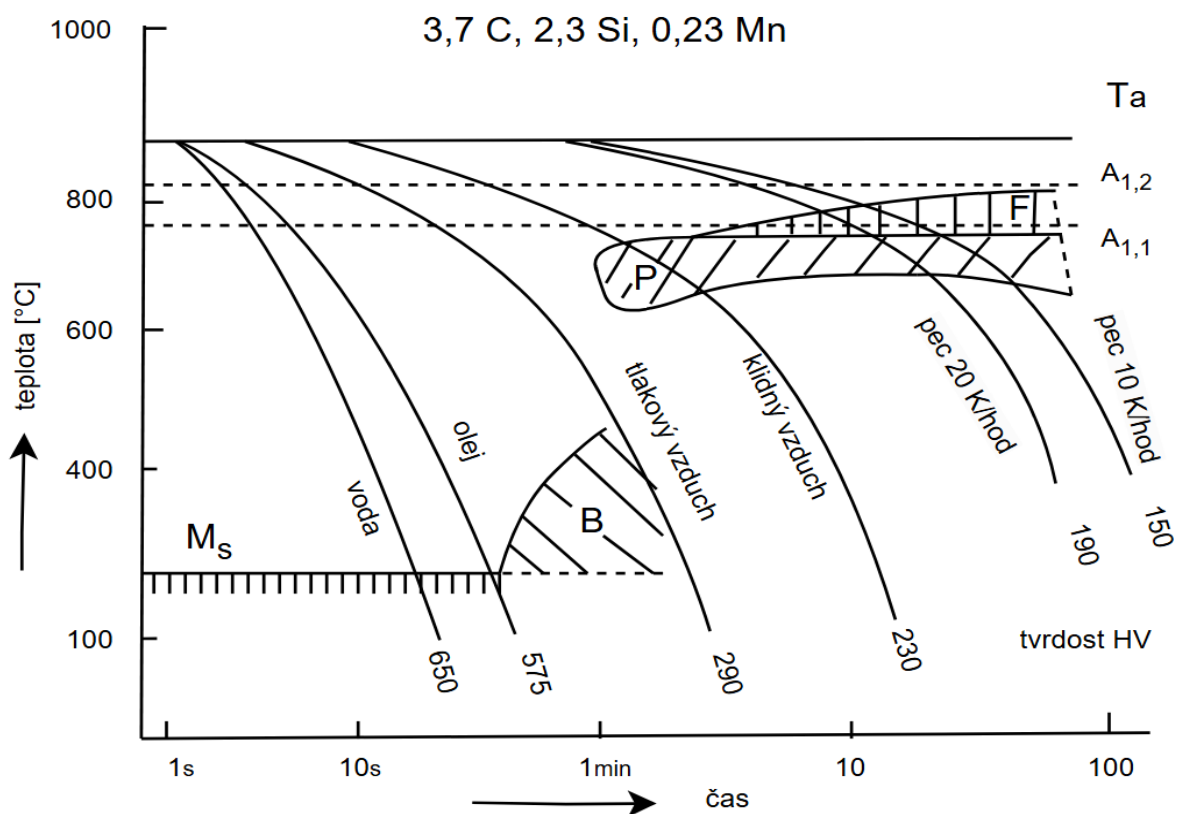
2.6.2 Kalení a zušlechťování

U litin lze provádět kalení za účelem zvýšení mechanických vlastností a ořezavosti odlitků. Principem je ohřev na austenitizační teplotu, která je ovlivněna obsahem legujících prvků, prodleva na této teplotě a následné ochlazení. Výhodou je rovnoměrnější disperzita jemného grafitu. Problémem kalení může být obsah Si, jelikož s jeho vyšším obsahem se zhoršuje rozpustnost uhlíku v litině a tím i finální možná dosažená tvrdost. [20; 21; 22; 26]

Teplotu austenitizace volíme na základě kritické teploty litiny. Typicky je rozsah 850 až 950°C. Dle podmínek austenitizace je teplota prodlevy různá. Obecně platí, že čím vyšší austenitizační teploty jsou, tím se zkracuje teplota prodlevy. Dlouhá výdrž může způsobit zhrubnutí zrna a vznik mikrotrhlin po zakalení v martenzitu. Současně dochází k zvýšení obsahu rozpuštěného uhlíku v austenitu a vzniká zbytkový austenit. [20; 21; 22; 26]

Po ohřevu následuje kalení, které provádíme za účelem dosažení celkové nebo částečné martezeitické struktury. Kritická rychlost ochlazování litin je závislá především na chemickém složení. Nelegované litiny jsou ovlivněny obsahem manganu a doba pro zakalení LKG je do 20 sekund. Litiny legované niklem mohou dosahovat časů až ke 20 minutám. Forma kalícího média je proto volena s ohledem na ARA diagram dané litiny (obr. 22) a tloušťky stěny. Používá se kalení jak do vody, tak do oleje. Ve snaze omezit velikost vnitřního prnutí se ochlazuje na teplotu cca 150 °C a následně popouští. Popouštěním dosahujeme zvýšení mechanických vlastností jako je pevnost a houževnatost, avšak snížíme tvrdost. [20; 21; 23; 26]

Pro potřebu výroby tzv. ADI litiny, která je charakteristická ausferitickou strukturou se využívá izotermické zušlechtní. Litina se vyrábí z LKG a dosahuje pevností v tahu 800 až 1400 MPa, při současné vysoké tažnosti. Dalším speciálním způsobem je povrchové kalení, sloužící ke zvýšení ořezuvzdornosti ploch. Probíhá lokální ohřev nejčastěji indukční nebo plamenem a následné ochlazení proudem vody. [20; 21; 23; 26]



Obr. 22 ARA diagram pro litinu s kuličkovým grafitem [20].

2.7 Svařitelnost litin

Svařitelnost označuje vlastnost materiálu vytvářet svarové spoje, které splňují požadované chemické, fyzikální a mechanické vlastnosti. Cílem je dosáhnout kvalitních návarů s vysokou životností, spolehlivostí a odpovídající jakostí. Každý materiál má specifické vlastnosti, které značí jeho svařitelnost a dělí se na několik faktorů: [33; 34; 35]

- materiálové (tepelné zpracování, chemické složení, metalurgie výroby a tváření),
- technologické (svářecí metoda, přídavný materiál, průměr drátu, předehřevy, interpass, ochranné plyny),
- konstrukční (počet housenek, tvar a velikost návaru, tvar základního materiálu, příprava navařované plochy).

Svařitelnost litin představuje významný technický problém zejména kvůli speciálním požadavkům a vlastnostem vztahujícím se k vysokému obsahu uhlíku, vysoké tepelné vodivosti, křehkosti a tendenci k tvorbě trhlin. Litiny lze navařovat, při dodržení specifického postupu dle normy EN 1011-8. Svařitelnost se značně zvyšuje, pokud je matrice tvořena feritem nebo alespoň jeho větším podílem než perlitem. Po opravném svařování jsou odlitky žháný k odstranění vnitřních pnutí, rozpuštění karbidů a dosažení vyhovující struktury pro další aplikace odlitku. Struktura návaru je ovlivněna především rychlostí ochlazení. Při navaření za studena dochází k rychlému odvodu tepla v materiálu a uhlík není ve struktuře vyloučen v podobě grafitu, ale cementitu. V TOO dojde k rozpuštění uhlíku v austenitu a ochlazením vzniká martenzit. Rychlý odvod tepla způsobí vnitřní napětí. Aby bylo zabráněno nepříznivým strukturám a trhlinám využívá se aplikace předehřevu. Další nutností je dodržení teploty interpass, která nesmí být překročena, aby nedošlo k degradaci základního materiálu. Během celého procesu navařování je teplota hlídána dotykovým teploměrem a před navařením dalších housenek je nutné čekat, než teplota klesne. [23; 33; 34; 35]

2.7.1 Předehřev a interpass

Při navařování litin hrají teplota předehřevu a teplota mezi jednotlivými návary (interpass) klíčovou roli. Předehřev se aplikuje téměř u všech typů litin z několika důvodů. Litina obsahuje velké množství uhlíku a legujících prvků, což ovlivňuje materiál při svařování. Díky vysoké tepelné vodivosti dochází k rychlému odvodu tepla ze svaru za vzniku nežádoucích struktur. Dalším faktorem je nízká tažnost, která vede k vysoké křehkosti a tím ke zvýšení rizika vzniku trhlin. Předehřev napomáhá snížit vnitřní pnutí po svařování a zlepšit kvalitu metalurgického spoje. Hlavní účel je zpomalení rychlosti ochlazování a tím omezení vzniku intermetalických nebo karbidických fází. V závislosti na typu materiálu se dle normy EN 1011-8 volí teplota předehřevu v rozmezí od 250 do 700 °C. K dosažení požadované teploty se používají odporové pece u malých odlitků na obr. 23 a u velkých odlitků topné dečky obr. 24. [36; 37; 38; 39]

Kontroly teplot předehřevu a interpass jsou během celého procesu navařování, aby nedocházelo k ovlivnění svaru. Probíhá pomocí bezdotykových teploměrů, teplotních čidel, nebo termokamer. [36; 37; 38; 39]



Obr. 23 Odporová pec.



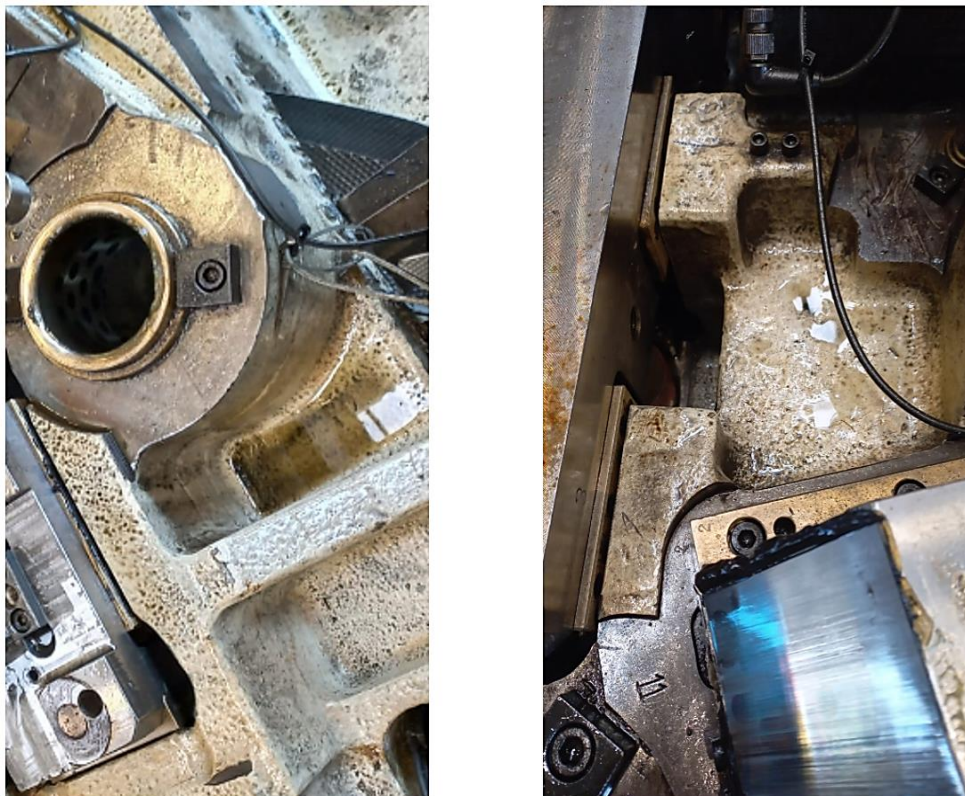
Obr. 24 Indukční topná dečka.

2.7.2 Čistota návarové plochy

Před provedením návaru je nezbytné plochu důkladně očistit, příklad znečištěné plochy je na obr. 25. Konkrétně oblast návaru od všech maziv, olejů, třísek, okují, případně rzi a dalších nečistot. Přítomnost těchto nečistot může mít negativní dopady na kvalitu návarového spoje, zhoršuje se přilnavost, zvyšuje se riziko vzniku pórů a prasklin. Celý proces musí probíhat těsně před navařováním, aby se zabránilo případným novým znečištěním. [40; 41]

Jako první se odstraní mechanicky hrubé nečistoty, pomocí ocelových kartáčů, brusných kotoučů, nebo pískování, zmíněné postupy jsou vhodné na odstranění okují a rzi. Následně se pomocí chemických přípravků, jako jsou odmašťovačla (např. aceton, isopropanol atd.) odstraní maziva a drobné nečistoty. Důležité je dosáhnout čistého suchého povrchu bez mastného filmu, který by mohl za případné póry. [40; 41]

Nově se začíná i z ekologického hlediska uplatňovat čištění pomocí laseru. Tato metoda umožňuje šetrně očistit oxidy, rzi a maziva bez poškození základního materiálu a nutnosti použití chemikálií. Lze dobře využít i pro nástroje s členitým povrchem, kde se nečistoty použitím běžných brusných metod odstraňují složitě. Nevýhodou je však vysoká cena. [40; 41]



Obr. 25 Příklady znečištění nástrojů.

2.7.3 Požadavky na přídavný materiál

K renovacím a opravám litin je klíčová volba přídavného materiálu. Vhodný materiál by měl zajistit takový návarový kov, který napomáhá spolehlivému spojení se základním materiálem, bude odpovídat mechanickým požadavkům celého odlitku, zajistí požadovanou pevnost, houževnatost a schopnost tlumit rázy. Minimalizovat tvorbu deformací a prasklin s čímž je spojené snížení vnitřního napětí, ke kterému dochází během tepelného namáhání a následném ochlazení. [42; 43; 44]

Navarování litin vyžaduje využití předhřevu, abychom dosáhli kvalitního metalurgického spoje bez vad, jako jsou trhliny a nedocházelo k vývoji vysokého vnitřního napětí. Vhodnou volbou drátu je možné u některých litin předehřev snížit, dokonce i eliminovat, což umožní zvýšení efektivity procesu oprav/renovací a zbytečné výdaje na technologii předehřevu. Další vlastností je odolnost vůči korozi v prostředích vystavených vlhkosti a chemickým vlivům. U součástí tepelně namáhaných by měl návar dosahovat stabilní struktury a odolnosti vůči popuštění. [42; 43; 44]

Nejčastější a nejvhodnější volbou pro opravu/renovaci litin jsou niklové dráty nebo dráty na bázi Ni. Nikl je také hlavní složkou podporující grafitizaci – vylučování uhlíku ve formě grafitu místo karbidů, pomáhá k jejich difuzi na rozhraní, zlepšuje mikrostrukturu přechodové zóny a snižuje vznik trhlín. V důsledku toho se použití niklových přídatných materiálů jako navařeného/svářecího materiálu stále více využívá a má značný potenciál. Nicméně je zde problém ve spojování rozdílných materiálů a volba drátu, metalurgické chování, mikrostruktura rozhraní, promísení mají vliv na výsledné vlastnosti. Možné je využití také kombinace legur Cu s Ni. Při menších opravách/renovacích je možné využití drátu s podobným nebo stejným chemickým složením jako základní materiál. [45; 43; 44]

2.7.4 Vliv chemických prvků na výsledný návar

Chemické složení návarových drátů má zásadní vliv na výsledné mechanické vlastnosti, zejména na tvrdost, houževnatost, odolnost vůči opotřebení. Z hlediska tvrdých návarových kovů hraje významnou roli zakalitelnost a schopnost prvků tvořit tvrdé karbidické fáze rovnoměrně rozptýlené ve svarovém kovu. Tvrdé návary mohou být tzv. samokalitelné na vzduchu, což znamená, že není nutné další tepelné zpracování ke zvyšování tvrdosti. Pokud však složení uhlíku a legujících prvků není dostatečné dochází k neúplné martenzitické přeměně, nebo nemusí vůbec nastat. Naopak dráty určené k navařování elastických mezivrstev, které slouží ke snížení napěťových koncentrací mezi tvrdým návarem a základním materiálem, vyžadují přítomnost prvků zvyšujících houževnatost svarového kovu. Prvky zajišťují vznik jemnozrné a plastické struktury odolávající dynamickému zatížení a zabraňují promísení s tvrdým návarem. [46; 47; 48]

Uhlík patří mezi základní legující prvky ve svařovacích drátech. Výrazně ovlivňuje tvorbu martenzitické struktury při rychlém ochlazení svarového kovu, což vede ke zvýšení meze kluzu, pevnosti i tvrdosti materiálu. Se stoupajícím obsahem uhlíku však zároveň dochází k nárůstu vnitřního napětí, které negativně ovlivňuje svařitelnost. Vysoký obsah uhlíku zvyšuje sklon k tvorbě trhlín za studena. Uhlík rovněž reaguje s prvky jako je chrom, molybden, vanad a tvoří s nimi stabilní karbidy, které přispívají ke zvýšení odolnosti proti opotřebení, ale mohou snížit houževnatost svarového kovu. Z pohledu svařitelnosti je proto nutné pečlivě kontrolovat množství, zejména u houževnatých nebo vícevrstevných svarových spojů. [46; 47; 48; 49]

Mangan je v návarových kovech významným legujícím prvkem, který zlepšuje svařitelnost díky své schopnosti vázat kyslík (dezoxidace) a stabilizovat oblouk. Zvyšuje pevnost a houževnatost svarového kovu. Dále výrazně zvyšuje prokalitelnost, ovšem při vyšších koncentracích stabilizuje zbytkový austenit a snižuje tvrdost. [46; 47; 48; 49]

Vanad je silně karbidotvorný prvek, který váže uhlík a vytváří tvrdé karbidy typu MC. Zjemňuje zrno a vytváří jemné disperze karbidů, což zlepšuje nejen tvrdost a odolnost, ale i houževnatost a pevnost svarového kovu. [46; 47; 48]

Chrom zvyšuje prokalitelnost nástrojových ocelí díky své schopnosti se rozpouštět v austenitu a podporovat tvorbu tvrdých karbidů. V kombinaci s uhlíkem tvoří karbidy typu M_7C_3 a $M_{23}C_6$, které přispívají k vysoké tvrdosti a zlepšení odolnosti vůči opotřebení. Nicméně, vyšší obsah

chromu a z něj vyplývající zvýšená prokalitelnost zhoršují svarové vlastnosti oceli, zejména kvůli zvýšené tendenci ke vzniku trhlin v TOO. [46; 47; 48; 49]

Molybden je legující prvek částečně zaměnitelný s wolframem díky podobné chemické i metalurgické funkci. Ve svarovém kovu zlepšuje prokalitelnost, odolnost vůči opotřebení a zlepšení houževnatosti díky tvorbě karbidů typu M_2C a M_6C . Disperzně rozptýlené karbidy zpevňují kovovou matici. Molybden potlačuje růst zrn v TOO, což zvyšuje houževnatost na rozhraní. [46; 47; 48; 49]

Nikl se do návarových kovů přidává za účelem zvýšení houževnatosti, tažnosti a prokalitelnosti, díky své schopnosti zjemnit strukturu, omezit vznik křehkých fází a podporovat tvorbu austenitu. Figuruje jako hlavní přísada pro návary elastických mezivrstev, kde pomáhá zabránit vzniku trhlin v TOO, jelikož zamezuje vzniku tvrdých a křehkých martenzitických struktur, čímž snižuje riziko praskání při chladnutí. [46; 47; 48; 49]

2.7.5 Požadavky na volbu metody

Volba vhodné technologie záleží na více faktorech a měla by zajistit spolehlivý návar, minimalizaci vzniku trhlin a vnitřního napětí. Posuzuje se z hlediska dostupnosti vybavení a požadovaného metalurgického spoje. Z tohoto důvodu jsou metody MMA, TIG a MIG, resp. MAG nejběžnější technologiemi, jelikož zařízení jsou již cenově dostupné. Dalším faktorem je tepelné ovlivnění materiálu, jelikož litiny obsahují velké množství uhlíku a mají vysokou tepelnou vodivost, která stěžuje svařitelnost. Metody by měly do návaru vnášet co nejmenší vnesené teplo. Nejvhodnější se jeví metoda MMA, ale nové invertorové zdroje metod MIG a TIG umožňují svařovat pulzními režimy a tím regulovat vnášení tepla do svarové lázně. Teploty jednotlivých oblouků a obecně velikosti vneseného tepla jsou uvedeny v tab. 3. [39; 45; 43; 44]

Z hlediska rychlosti a mechanických vlastností se volí pro dynamicky namáhané součásti metody TIG a MMA v kombinaci s niklovými dráty. U větších odlitků nebo méně namáhaných dílců se volí metoda MIG/MAG díky své rychlosti při navařování velkých ploch. Finální výběr je tudíž závislý na dané aplikaci, finálních vlastnostech návaru a dostupnosti. [39; 45; 43; 44]

Tab. 3 Teploty oblouků a vnesená tepla [50; 51].

Metoda	Teplota oblouku [°C]	Vnesené teplo [kJ/cm]
MMA	4200 – 6400	1,5 – 3,5
TIG	6200 – 9000	0,5 – 2
MIG/MAG	8000 – 15000	1 – 3
CMT	3500 – 15000	0,5 – 1,5

2.8 Vnesené teplo a promíšení

Velikost vneseného tepla lze považovat za jeden z klíčových parametrů svařování a navařování. Velký vliv je na mechanické vlastnosti svaru, metalurgii a na rozměry konečných produktů, vedoucích až k tvorbě trhlin a delaminaci návaru. Hodnota udává množství tepla, které se během svařovacího procesu dodalo do svarového spoje v závislosti na velikosti svařovacích parametrů, jako je proud, napětí, posuv apod. Ideálně by hodnota vneseného tepla měla dosahovat hodnot k dosažení dostatečného natavení základního a přídavného materiálu vedoucí k tvorbě kvalitních spojů. Vysoké hodnoty mají za následek velké tepelně ovlivněné oblasti s vyloučenou nevhodnou hrubozrnnou strukturou. Naopak při nízkém teple vznikají studené spoje a nedochází k dostatečnému průvaru. Výslednou hodnotu lze spočítat pomocí empirického vztahu závislého na druhu metody a parametrech navařování, je vyjádřena vztahem. [34; 52]

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

kde: Q_s – množství vneseného tepla [kJ/mm],

η – koeficient účinnosti navařování [-],

U – navařovací napětí [V],

I – navařovací proud [A],

v_s – rychlost navařování [mm/s].

Promíšení lze z hlediska hodnocení makrostruktury označit jako jeden z faktorů ovlivňující strukturu svaru. Určuje, jak velký podíl přídavného kovu a základního materiálu se promísí s přídavným. Odvíjí se od svařovací metody, nastavených parametrů jako je proud, napětí, posuv drátu. Z těchto aspektů vychází množství vneseného tepla a natavení základního materiálu, vedoucí k výslednému svaru. Celková hodnota promíšení je vyjádřena vztahem. [34; 52]

$$D = \frac{\text{Oblast B}}{\text{Oblast A} + \text{Oblast B}} \cdot 100 \quad (3.2)$$

kde: D – výsledné promíšení [mm²],

Oblast A – plocha nataveného materiálu nad navařovaným [mm²],

Oblast B – plocha nataveného materiálu pod navařovaným [mm²].

3 TECHNOLOGIE NAVAŘOVÁNÍ LITIN

Litiny jsou v dnešní době široce využívány v průmyslu díky své pevnosti, odolnosti proti opotřebení a dobrým tlumícím vlastnostem. Jak již bylo zmíněno v předešlých kapitolách využívají se v automobilovém, energetickém a těžkém strojním průmyslu. Litiny však z hlediska svařitelnosti představují problém. Svařování potažmo navařování je komplikované především kvůli jejich specifickým vlastnostem, jako je vysoký obsah uhlíku, křehkost a problematika iniciace a šíření trhlin, díky vysoké tepelné vodivosti litiny. [53; 54; 55; 56; 42]

V současné praxi se navařování litin (obr 26) využívá z několika důvodů. Nejčastěji ve slévárnách při opravách trhlin a slévárenských vad. Cílem je spojit narušený materiál a obnovit jeho pevnostní vlastnosti. Další způsob je renovace opotřebovaných povrchů součástí. Nejvíce jsou renovovány plochy, u kterých je potřeba obnovit ztracený původní rozměr. Například opotřebované součásti větrných elektráren jsou pod drobnohledem zkoumány. Možné je využití i pro zlepšení finálních funkčních vlastností. Vhodnou volbou přídavného materiálu lze zvýšit odolnost vůči korozi, abrazivnímu opotřebení nebo zvýšení mechanických vlastností původního základního materiálu. [53; 54; 55; 56; 42]

Z hlediska volby vhodné technologie je potřeba brát zřetel na velkou škálu faktorů mechanických vlastností litého materiálu jako houževnatost, pevnost, schopnost odolat mechanickému namáhání. Důležité je vlastnosti zachovat a v lepším případě zlepšit. V praxi se nejvíce využívá metoda obalované elektrody (MMA) díky nízkému vnesenému teplu nebo metoda TIG. U velkých oprav/renovací se využívá metoda MIG/MAG. Nové progresivní technologie umožňují opravy/renovace u citlivých odlitků nízkoteplotní metodou cold metal transfer (CMT). Nejpoužívanějšími přídavnými materiály pro svařování/navarování litin jsou dráty na bázi niklu, které jsou dobře kompatibilní s litinou, dosahují vysokých tažností a houževnatostí návarového kovu, zamezují vnitřnímu napětí a deformacím. Následující kapitoly budou zaměřeny na vhodnost použití jednotlivých metod v praxi včetně výhod, nevýhod a využití. [53; 54; 55; 56; 42; 45]



Obr. 26 Renovace opotřebovaného povrchu součásti navařováním.

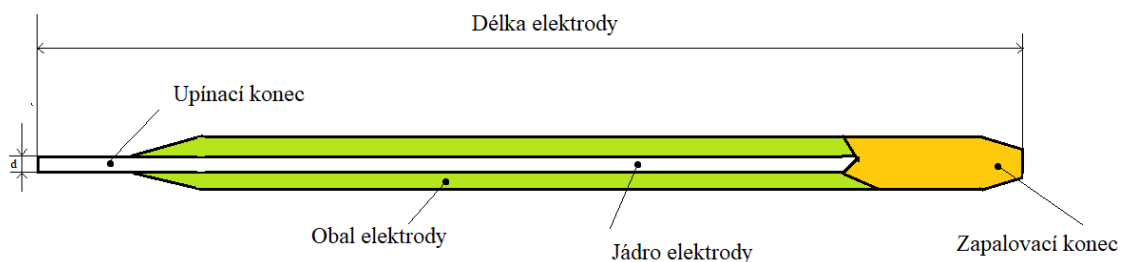
3.1 Technologie navařování MMA

Renovace litinových odlitků vyžaduje dostatečné natavení přídavného materiálu, aniž bychom ovlivnili základní materiál nadměrným množstvím vneseného tepla. To má za následek nežádoucí strukturní změny, jako jsou mikrostruktury v TOO (zákalné struktury), vznik trhlin v důsledku tepelných dilatací, koncentrace napětí v kritických místech odlitku, oxidace apod. Všechny zmíněné vlastnosti mají negativní vliv na životnost renovovaného dílu. [39; 43; 44]

Z těchto důvodů je právě ruční obalovaná elektroda tou nejvhodnější a nejčastější volbou. Umožňuje kontrolu vneseného tepla, teplota oblouku je oproti jiným metodám výrazně menší viz. tab. 3. Díky tomu jsou sníženy pravděpodobnosti výše zmíněných fenoménů a zajištěno kvalitní metalurgické spojení mezi základním a přídavným materiálem. [39; 43; 44]

Principem je elektrický oblouk, který vzniká mezi koncem elektrody a základním materiálem. Vlivem oblouku vznikají na konci elektrody kapky kovu, které jsou přenášeny do návarové lázně. Ochranu lázně zabezpečují plyny a struska vznikající během rozkladu obalu elektrod. Strusku je nutno po navařovacím procesu odstranit. Délka oblouku je závislá na druhu přídavného materiálu elektrod, obvykle se jako ideální hodnota udává $1,5 \times$ průměru elektrody. Délka elektrody je však omezená, proto je nutné svařovací proces přerušovat z důvodu výměny. Ke správnému přenosu materiálu z elektrod na základní materiál je nutno při nastavení parametrů zohlednit materiál elektrod, volbu správné svařovací polohy a zapojení polarity. Dále svařovací proud, který je udáván výrobcem elektrod, musíme volit s ohledem na kvalitu návaru. [33; 45; 57]

Ke svařování litin jsou jako přídavný materiál využívány obalované elektrody. Složení je kovové jádro a obal ve formě kovového tavidla obr. 27. Elektrody lze rozdělit do několika skupin dle základního materiálu, obalu a poměru D/d , kde D je celkový průměr elektrody a „ d “ průměr jádra. Problematika svařování/navarování litin zahrnuje nejčastěji elektrody ve složení převážně Ni anebo Fe-Ni. Obaly jsou různé a každý má své specifické vlastnosti. [33; 45; 57]



Obr. 27 Řez obalenou elektrodou [45].

Bazické obaly oproti jiným mají obsah difúzního vodíku výrazně nižší, díky tomu je vliv na vrubovou houževnatost lepší. Také snižuje náchylnost materiálu k trhlinám za tepla i za horka. Umožňuje rychlejší kladení housenek a zvýšení rychlosti navařování, bohužel struska je hůře odstranitelná. Další nevýhodou je citlivost obalu na vlhkost a jsou nutné vhodné skladovací podmínky pro elektrody a před navařováním je nutné vysoušení. Obal je tvořen lisovanou směsí uhličitanů, jako jsou vápence, mramor, křídly s desoxidací činidly ferotitanem a ferosiciliem. Patří mezi nejpoužívanější elektrody sloužící mimo jiné i ke svařování tlakových nádob, konstrukcí lodí apod. [33; 34]

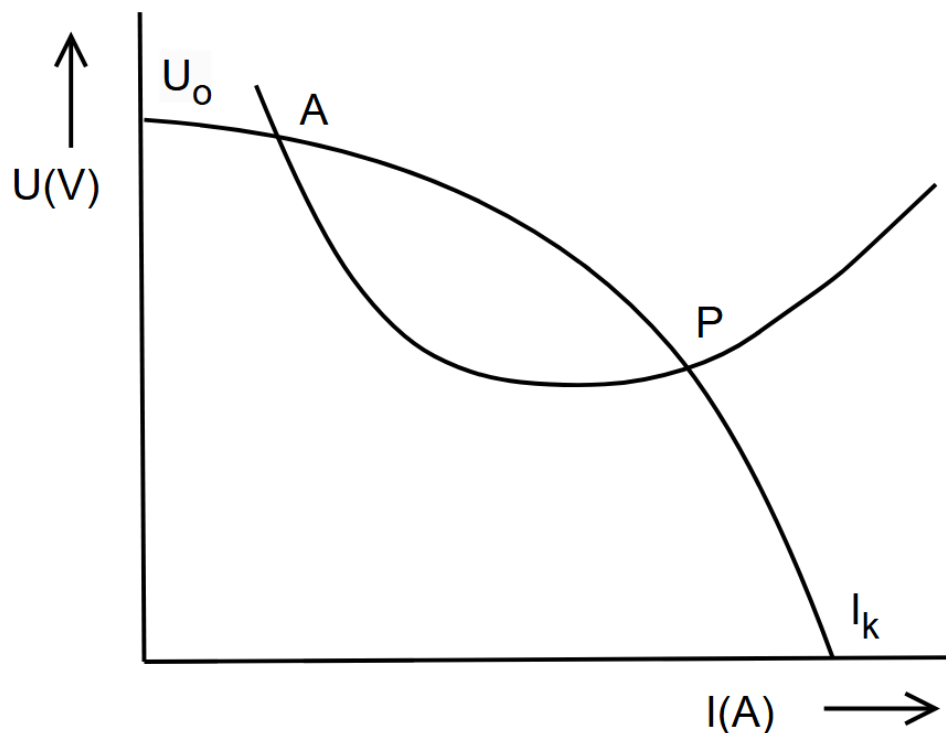
Rutilové obaly umožňují snadnější zápal oblouku a jsou využívány pro menší návarové housenky. Jedním z kladů je nižší rozstřík svarového kovu a pohledovost návaru je oproti

bazické lepší. Lze lépe navařovat i v polohách nad hlavou, odstranit strusku a obaly jsou relativně odolné vůči vlhkosti. Tvořeny jsou rutilem neboli oxidem titaničitým a kombinací s dalšími prvky jako jsou silikáty, uhličitany aj. Tvoří strusku s dobrými redukčními a fyzikálními vlastnostmi. [33; 34; 45; 57]

Kyselá obala jsou jakýmsi středem mezi rutilovými a bazickými. Umožňují snadnější zapálení než bazické, struska se snadněji odstraňuje a povrch svaru je hladký a lesklý. Jsou dobré pro velké průvary a vyznačují se velkým výkonem, který je nevýhodou při navařování litin. Kov je poměrně tekutý, proto není vhodné navařování v některých polohách. [33; 34; 45; 57]

Hlavními funkcemi obalů je plynotvornost. Roztavením v oblouku vytváří okolo svarové lázně plyn, který zabraňuje pronikání kyslíku a dusíku do roztaveného kovu. Ionizují, což umožní snadnější zapálení oblouku. Z hlediska metalurgie zabraňují propalování některých prvků, jako je mangan, chrom a křemík. Mohou v nich být obsaženy prvky, které při svařování dolegovávají svarový kov. [33; 34; 45; 57]

U metody MMA je důležitým prvkem oblouk a jeho charakteristiky. Stěžejní je voltampérová charakteristika nazývaná také jako statická charakteristika elektrického oblouku. Udává závislost napětí na oblouku a svařovacího proudu v ustáleném stavu. U ručního svařování se využívá zdroj statické charakteristiky s klesající tendencí. Zdroj má nejvyšší napětí při nulovém proudu a se zvyšujícím se proudem napětí klesá viz. obr. 28. Na obrázku je také statická charakteristika oblouku určité délky. Průsečík statické charakteristiky s vodorovnou osou značí nejvyšší proud zdroje tzv. zkratový proud I_k . Průsečík v bodě A se nazývá zápalný bod a P je pracovní. [33; 34; 45; 57]



Obr. 28 Charakteristika svařovacího proudu a oblouku [45].

Mezi hlavní výhody metody MMA patří její univerzálnost a schopnost přizpůsobit ji na velké množství svářecích problémů. Lze ji využít ve všech polohách svařování a v různých podmínkách. Svařovaný materiál nevyžaduje předchozí výraznou úpravu a lze svařovat i na znečištěných površích. Výběr z velké škály elektrod umožňuje svařovat více druhů litin a materiálů. Metoda oproti jiným jako je MIG/MAG, TIG má menší teplotu oblouku a do svaru vnáší menší teplo, což má příznivý efekt na základní materiál. Dochází k tvorbě menší tepelně ovlivněné oblasti, nedochází k hrubnutí zrna a dojde k vyloučení požadovaných struktur. [33; 34; 45]

Před samotným svařováním je důležitá příprava elektrod. Jedná se o specifický požadavek před použitím z důvodu náchylnosti obalů na absorpci vlhkosti vedoucí k nežádoucímu vzniku pórů, trhlin a snížení mechanických vlastností z důvodu přítomnosti atomárního vodíku. Sušení probíhá ve speciálních pecích obr. 29 dle druhu obalu v rozmezí od 100 – 350 °C. Skladování a příprava elektrod je klíčová k provedení kvalitního návaru. [33; 34; 45]



Obr. 29 Vysoušecí pec na elektrody [58].

Produktivita metody je malá z důvodu časté výměny elektrod a nutností odstraňování strusky po každé housence. Proces vyžaduje kvalitní obsluhu, jelikož kvalita návaru závisí na správném úhlu, vedení elektrody a stabilitě oblouku mezi základním materiálem a elektrodou. Cena je však oproti jiným metodám značně lepší, nevyžaduje drahé vybavení a zařízení jsou oproti jiným značně menší. [33; 34; 45]

3.2 Technologie navařování MIG/MAG

Technologie MIG (Metal Inert Gas) a MAG (Meta Active Gas) na obr. 30 se u renovací litin využívá většinou na pohledové opravy velkých odlitků. Principem je odtavování kovové elektrody ve formě drátu navinuté na cívce. Do místa svarové lázně je drát dodáván pomocí kladkového mechanismu přes bowden. Oblouk hoří mezi drátem a základním materiálem v uzavřeném obvodu, který řídí zdroj. Přenos materiálu probíhá prací elektromagnetických sil. Během svařování je nutné lázeň chránit před vnějším okolím pomocí plynů. Nejčastěji je využíván argon a jeho směsi. [33; 34; 45]



Obr. 30 Obloukové svařování MIG [59].

Velmi důležitou součástí celého procesu navařování MIG/MAG jsou plyny poskytující ochranu svarové lázni. Chrání návar před vlivy atmosféry svarového prostředí. Vzduch přítomný v okolí má za následek oxidaci a nitridaci svarového kovu vedoucí ke zhoršení mechanických vlastností výsledných struktur. Mají ionizační schopnost, která umožňuje stabilní hoření elektrického oblouku a pomáhá k přenosu tepla do svarové lázně. Pro metodu MIG je využíván převážně čistý argon, vlastnosti jsou v tab. 4 nebo jeho dvousložková směs argonu a helia. Plyny se svarovým kovem nereagují, jsou skladovány v tlakových nádobách, na kterých je značena jakost plynu udávající čistotu. Nejčastěji je využíván argon 4,6. MAG využívá buď čistý oxid uhličitý nebo jeho směs s argonem. Plyn při svařování reaguje se svarovým kovem, CO_2 se vlivem svařování rozkládá a vzniká kyslík, který podporuje ionizaci plynu a stabilitu oblouku. Reakce pomáhá odstraňovat nečistoty ze svaru formou oxidace a napomáhá jeho čistotě a kvalitě. Nejčastější plyn v praxi je používán STARGON C18 (18 % oxidu uhličitého + 82 % Argon). [33; 34; 45]

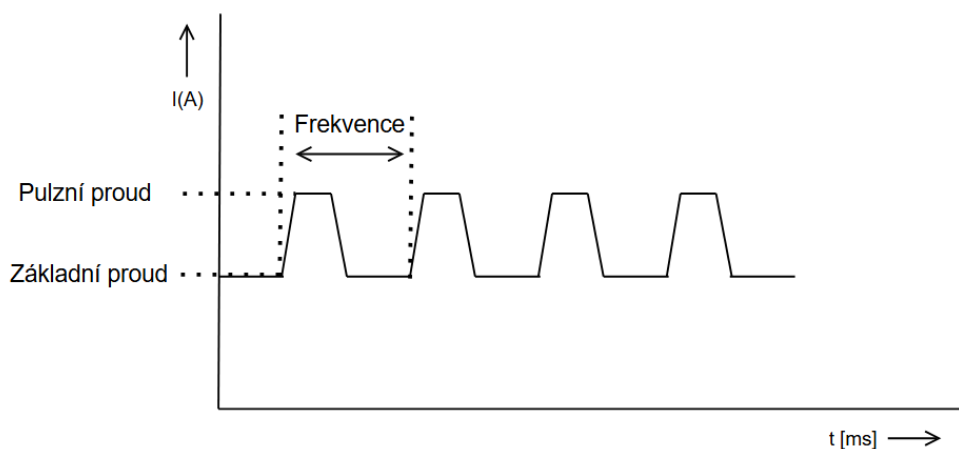
Tab. 4 Vlastnosti argonu [60].

Název plynu	Argon
Chemický vzorec	Ar
Hustota [kg/m^3]	1,691
Bod varu [$^{\circ}\text{C}$]	-185,9
Kritická teplota [$^{\circ}\text{C}$]	-122,3
Kritický tlak [kPA]	4898
Tepelná vodivost [mW/mK]	16,36

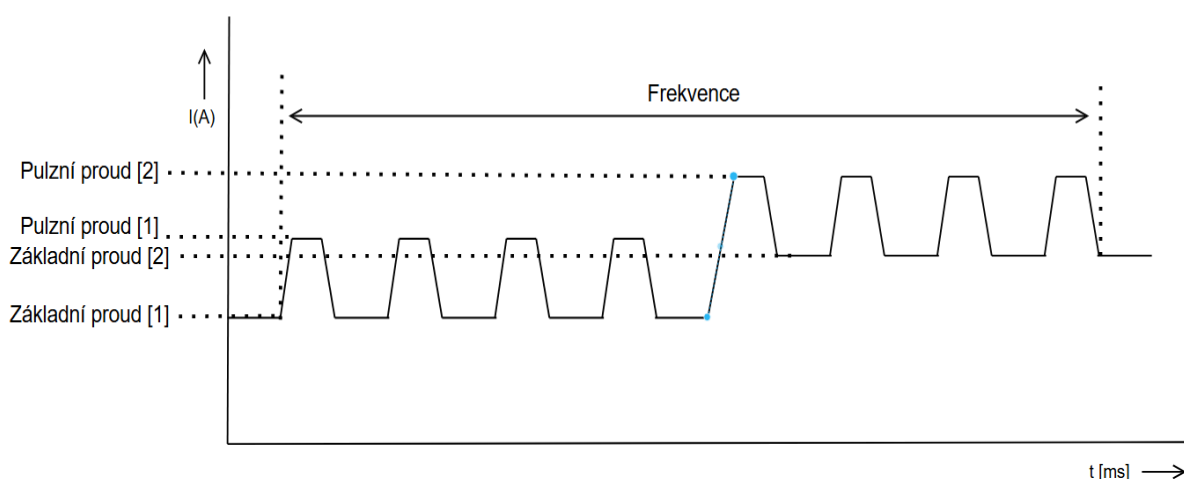
3.2.1 Charakteristika pulzních oblouků

Zvláštní formou oproti běžnému zkratovému přenosu je proces svařování impulsním proudem. Proud je řízen elektronickou cestou pomocí novodobých inverterových zdrojů. Cyklus proudu je pravidelný a daný frekvencí amplitudy impulsního proudu viz. obr. 31. Proud základní je zpravidla nízký, pohybuje se v rozmezí od 20 do 50 A, má za úkol udržení ionizace sloupce

oblouku a vedení proudu. Průběh impulzní formy proudu může být pravoúhlý, oblý a různě tvarován pomocí zdrojů, dle druhu přídavného materiálu. Další možností řízení oblouků je tzv. „double pulse“, neboli dvojitý impuls. Jedná se o řízené střídání dvou pulzních oblouků, z nichž každý má jiný základní a pulzní proud viz. obr. 32. [33; 34; 36; 61]



Obr. 31 Schéma pulzního přenosu v závislosti na proudu a čase [36].



Obr. 32 Schéma „double pulse“ přenosu v závislosti na proudu a čase [36].

Závislostí frekvence impulsů na proudu je možné udržet velikost kapky na konstantní úrovni. Snižováním proudu snižujeme i frekvenci, abychom dosáhli co nejlepší velikosti kapky, naopak zvýšený svařovací proud vyžaduje zvýšení frekvence. [36; 45; 61]

Průběh svařování je řízen pomocí displeje přímo na zdroji. Obsluha si může nastavit tzv. „předfuk“, který zajistí přísun plynu ještě před zahájením svařování a „dofuk“ zajišťující přísun plynu po ukončení kladení housenky k ochraně svaru. Zdroje si již sami řídí větší přísun proudu při zapálení oblouku k hladšímu průběhu. U pulzní metody nastavujeme pouze „pulzní proud“ a frekvenci. Základní proud si nastavuje zdroj dle softwaru. [36; 45; 61]

MIG/MAG je jednou z nejrozšířenějších metod a významná díky své produktivitě, což je její velkou výhodou a umožňuje urychlit většinu opravných procesů. Pulzní přenos má nižší hodnotu efektivního proudu než běžný zkratový přenos s konstantním proudem. To znamená menší vnesení tepla do svaru, což vede k menším tepelně ovlivněným oblastem a dosahování požadovaných struktur. Metoda disponuje značným svařovacím výkonem. Kvalita svaru je výrazně vyšší, menší až skoro žádný rozstřík materiálu, jemnější kresba svaru vedoucí

k esteticky a mechanicky kvalitním svarům. Metoda má díky možnosti nastavení frekvencí a pulzních proudů aplikovatelnost na širokou škálu materiálů. [33; 34; 45; 61]

Nevýhodou je nutnost vyšší počáteční investice do zdroje a zařízení, nutné správné podavače drátu, hubic a plynu. Metoda je náchylná na okolní prostředí, negativní je proudění vzduchu, který ovlivňuje stabilitu oblouku v otevřených prostranstvích. Nutný kvalitní povrch bez rzi, nečistot olejů, které by vedly k nekvalitním návarům. I když pulzní režim dosahuje menšího vneseného tepla, je pořád dost vysoké oproti jiným metodám, jako je například MMA. [33; 34; 45; 61]

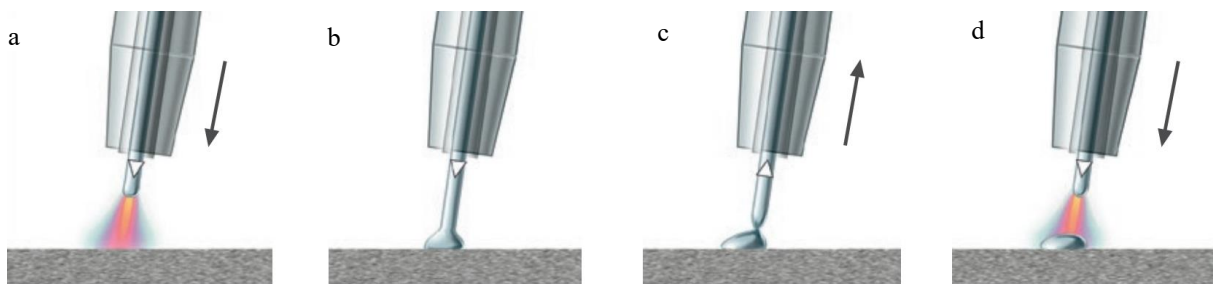
3.2.2 Technologie CMT

Název CMT je zkratka z anglického Cold Metal Transfer, což v češtině znamená studený přenos kovu. Jde o upravenou technologii MIG/MAG. Oproti konvenčním metodám vnáší do svaru nižší teplo. Vlivem speciálního dopředného a zpětného posuvu drátu. Lze provádět bezroztříkové svarové a pájené švy, svařování oceli a hliníku a svařování tenkých plechů. [62; 63; 64]

Na rozdíl od konvenční metody MIG se liší specifickým odtržením kapky svarového kovu, ale také průběhem svařovacího proudu a napětí. Přenos kovu probíhá v téměř bezproudovém stavu a díky tomu dojde k minimálnímu tepelnému ovlivnění materiálu, omezuje deformace a snižuje zbytkové napětí. [62; 63; 64]

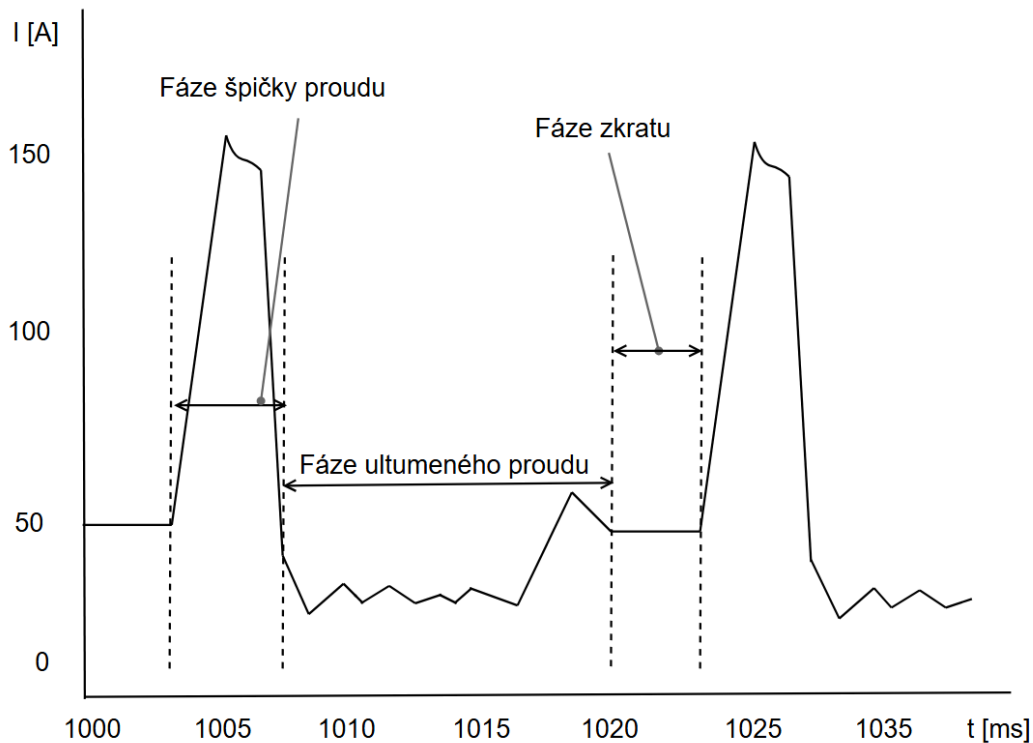
Proces je řízen digitálním systémem s vysokorychlostním podáváním drátu tzv. „push pull“ mechanismem. Rychlost přísunu drátu a fáze zapálení oblouku jsou precizně regulovány, aby došlo k dodání optimální energie pro natavení základního materiálu a kapky přídavného drátu. Při kontaktu elektrody s lázní systém automaticky zatáhne drát zpět, čímž usnadňuje odtržení kapky a minimalizuje rozstřík. Tento zpětný pohyb řízený mechanismem v hořáku způsobuje situaci, kdy působí proti podavači ve zdroji, proto je nutné osadit hlavu vyrovnávacím členem, kde se drát hromadí. Princip je znázorněn na obr. 33. Jakmile je přenos kovu dokončen, dochází k zapálení oblouku a proces se opakuje až 130× za vteřinu. Dělí se do 3 fází na obr. 34:[62; 63; 64]

- Špičková fáze proudu (Peak current): v jejím průběhu je napětí na oblouku konstantní s velkým proudem. V této fázi dochází k zapálení oblouku a natavení svařovacího drátu vedoucí ke tvorbě kapičky kovu.
- Utlumená fáze proudu (Background current): jedná se o fázi s nejnižším proudem. Proud se snižuje z důvodu zabránění přenosu kapičky kovu a trvá do počátku zkratu.
- Poslední fáze zkratu: napětí je sníženo téměř na nulu, zpětný podavač zatáhne drát zpět a dochází k přenosu kapky do svarové lázně. Následně se proces opakuje.



Obr. 33 a) vysunutí a zapálení, b) zhasnutí oblouku, c) zasunutí drátu, d) opětovné vysunutí a zapálení [35].

Hlavní výhodou metody je její opakovatelnost a vynikající kontrola nad procesem, která umožňuje robotizaci. Další výhodou je minimální tvorba rozstříků, například u ocelí dochází ke snížení až od 99 % ve srovnání s pulzním a zkratovým obloukem. Metoda dosahuje malého vneseného tepla, což snižuje deformace svařovaného materiálu, například u hliníku je tepelný vliv menší až o 90 % než u metody TIG. Nevýhodou však je pořizovací cena na speciální zařízení, případně cena robota a speciálních svařovacích hlav. [62; 63; 64]



Obr. 34 Průběh proudu v čase technologie CMT [62].

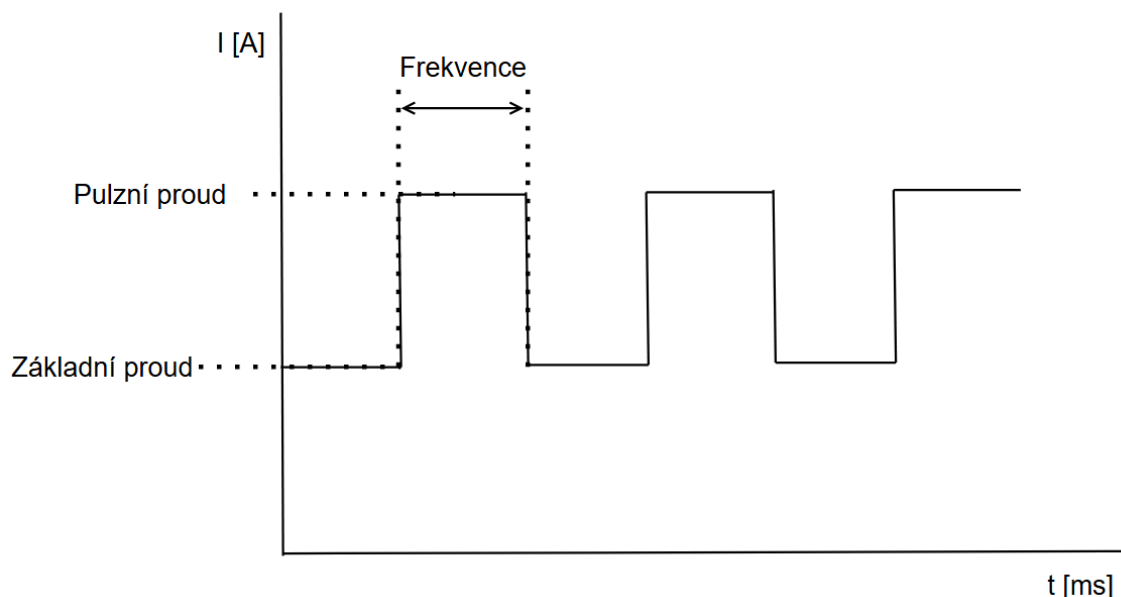
3.3 Technologie TIG

Metoda TIG neboli celým názvem Tungsten inert gas, v jiných státech označována také jako WIG německou normou a v americké normě jako GTAW, je metoda svařování netavící se wolframovou elektrodou v ochranné atmosféře. Patří k hojně rozšířeným metodám ve strojírenském průmyslu díky své dobré kontrole nad svarovou lázní a možností svařovat v různých polohách. Svařováním vznikají pohledové svary s dobrou jakostí a průvarem kořene dosahující požadující mechanické vlastnosti. [33; 34; 45]

Oblouk hoří mezi wolframovou netavící se elektrodou a základním materiálem. Tavná lázeň společně s elektrodou je chráněná před okolní atmosférou netečným plynem. Plyn má rovněž vliv na kvalitu oblouku a zlepšuje zápal. Využíván je argon, hélium nebo jejich směsi. Svařovat lze bez přídavného materiálu nebo s přídavným materiálem ve formě drátu. Proces může být automatizován pomocí robotických ramen a podavačů. [33; 34; 45]

K navařování lze využít více druhů svařovacích režimů. Lze svařovat stejnosměrným proudem, střídavým proudem a pulzním proudem. V případě navařování litin je vhodné využít pulzních režimů z důvodu nižšího vneseného tepla. Pulzní režim střídá periodicky hodnotu proudu s danou frekvencí. Dochází ke střídání proudů dvou hladin tzv. základního proudu a pulzního proudu viz obr. 35. Základní proud má nižší hodnoty řádově (10 – 15 A). Zajišťuje ionizaci oblouku a jeho udržení a dochází k tuhnutí návarové housenky. Impulsním proudem dochází

k natavení základního a přidavného materiálu a vzniku svarové lázně. Velikost lázně je dána hodnotou impulzního proudu a amplitudou trvání. Kombinací těchto dvou režimů je dosažena kontrola hodnoty vneseného tepla do svaru a tvarování svarové lázně. [33; 34; 36; 45]



Obr. 35 Průběh impulzního proudu [45].

Stejně jako u předešlých metod MIG/CMT je využíván plyn argon k ochraně svarové lázně. Chrání okolí housenky a svarové lázně před oxidací vlivem okolní atmosféry a vytváří vhodné podmínky pro zapálení a hoření elektrického oblouku. Z ekonomických důvodů je využíván argon 4.6 viz tab. 4. Je to plyn bez barvy, chuti a zápachu. Inertní, což znamená, že netvoří s žádným prvkem chemické sloučeniny. Díky jeho výrazné hustotě má značný ionizační potenciál a usnadňuje zapálení oblouku. [33; 34; 45]

TIG přináší řadu výhod, pokud se dodrží pečlivé postupy a příprava před samotným navařováním. Umožňuje provedení esteticky kvalitních svarů bez rozstříku. Díky dobré a velmi přesné regulaci tepla můžeme ovlivnit hodnotu vneseného tepla do svaru a tím snížit riziko deformací a vnitřních pnutí. Využitelnost nachází i u navařování tenkostěnných odlitků. Chrání svarovou lázeň interním plynem. Ovšem vyžaduje vysokou zručnost obsluhy, provedení návarů vyžaduje delší časy než u jiných metod svařování, což značně omezuje produktivitu a zvyšuje spotřebu plynu a tím i náklady. Jedním z problémů je také značná citlivost na čistotu povrchu, jelikož výskyt různých nečistot výrazně ovlivňuje kvalitu svaru. Přesto lze využít při opravárenských pracích, kde je hlavní prioritou preciznost a kvalita provedení. [33; 34; 45; 43]

4 VYHODNOCENÍ

Experimentální část práce se zaměřila na problematiku navařování litiny s kuličkovým grafitem GJS 700-2. Provádění návaru tohoto typu materiálu z hlediska technologie představuje specifický problém, díky velkému obsahu uhlíku a grafitu ve struktuře, která má zásadní vliv na výslednou strukturu svarových spojů a TOO, mohou vznikat trhliny, tvrdé a křehké struktury.

Za účelem zjištění optimálního způsobu navařování byl nejprve realizován vstupní experiment s cílem ověřit chování základního materiálu (ZM) s mezivrstvou (MZV) a tvrdým finálním návarem (FN). Mezivrstva slouží jako pojivo mezi ZM a tvrdým návarem a zabraňuje difuzi mezi ZM a FN. Na základě experimentu byly provedeny samotné návary pomocí třech metod obloukového svařování, TIG, MMA a CMT. Každá má svá technologická specifika, výhody a omezení při aplikaci na litiny.

Během experimentální části byly sledovány klíčové parametry procesu navařování, jako je proud, napětí, stabilita oblouků, vnesená tepla apod. Vzorky byly podrobeny vizuálním a penetračním zkouškám z hlediska trhlín. Následně destruktivními metalografickými zkouškami byly provedeny analýzy makrostruktury, mikrostruktury, měření tvrdosti dle Brinella a mikrotvrdosti dle Vickerse.

Základním materiálem pro navaření byla zvolena litina EN-GJS-700-2, tvořena kuličkovým grafitem a perlitem, chemické složení viz. tab. 5. Hlavní využití nachází při výrobě silnostěnných odlitků s vysokými nároky na pevnost. Obsah mědi ve struktuře zajišťuje tvorbu perlitické struktury a díky tomu dosahuje meze pevnosti nad 700 MPa. Významnou vlastností je dobrá únavová pevnost, proto nachází využití u dynamicky namáhaných zařízení, jako jsou například součásti větrných turbín. [14]

Opravné svařování je náchylné na trhliny, díky nízké tažnosti 2 % a dle experimentálních výsledků ručního obloukového svařování dochází ke snížení únavové pevnosti až o 30 %. I přesto si materiál ponechává dostatečné vlastnosti po opravách a může být dále využíván. Tvrdost se pohybuje okolo 230-270 HB.[14]

Tab. 5 Chemické složení navařované litiny (wt. %) [14].

C	Si	Mn	Cr	S	Ni	Mg	Cu
3,66	1,89	0,4	-	0,01	-	0,05	1,06

4.1 Navařované materiály, provedení návarů a příprava vzorků

Materiály použité pro navařování byly dodány firmou Welco s.r.o. buďto v 5 kg nebo 15 kg cívkách (přílohy 1-7). Průměr dodaných drátů je od 0,8 do 2,5 mm dle druhu metody. Volba průměru byla volena na základě velikosti vzorků. [65; 66] Navařované přídavné materiály vstupního experimentu byly:

- CRONITEX RC 252 C – přídavný svařovací materiál na bázi Ni s vysokým obsahem legujících prvků, chemické složení v tab. 6. Využití na spoje ocelolitin a litin, také jako elastická mezivrstva sloužící pro tvrdý návar. [65]
- CRONITEX RC 58 – vysoce legovaný přídavný materiál na bázi Cr-Mo-Si-V-W, chemické složení viz tab. 7. Po navaření je samokalitelný a po ochlazení na vzduchu dosahuje předepsané tvrdosti a mechanických vlastností, avšak pro dosažení lepších výsledků a homogennější struktury, lze kalit a popustit. [66]

Pro účely srovnání zvolených metod svařování byly vybrány typy specifických přídavných materiálů. Při aplikaci metody TIG byl na elastickou mezivrstvu použit drát CRONITEX 252 – C, zatímco na finální tvrdý návar CRONITEX RC 63. V případě vzorku navařeného pomocí MMA na MZV drát Welco 1960 a FN Welco 1790S. Pro metodu CMT byl zvolen drát MZV Welco A1960 a na FN Megafil A760M.

- CRONITEX RC 63 – materiál s vysokým obsahem legujících prvků Cr-W-V, chemické složení v tab. 7. Samokalitelný po navaření dosahuje požadovaných tvrdostí. Lze žíhat ke snížení pnutí. [67]
- Welco 1960 – univerzální elektroda určená ke spojování a návarů ocelolitin a litin. Vhodná na použití pro elastické mezivrstvy a návary namáhané tlakem. Disponuje vysokou houževnatostí a odolností proti tvorbě trhlin, složení je v tab. 6. [68]
- Welco 1790S – elektroda pro návary s vysokou odolností vůči opotřebení, odolná vůči otěrům, rázům, tlakům. Použitelná na tvrdé návary s tepelným zpracováním i bez něj. Navařením dosahuje požadovaných tvrdostí. Chemické složení tab. 7. [69]
- Welco A1960 – chemicky stejný materiál jako Welco 1960 viz tab. 6. Jedná se o MIG drát vhodný ke spojování ocelolitin a litin, použitelný také pro návary elastických mezivrstev. [70]
- Megafil A760M – trubičkový drát, návarový houževnatý kov odolný vůči otěru, těžkým rázům a tlakům. Po navaření tepelně zpracovatelný pro dosažení lepších mechanických vlastností. Chemické složení drátu je v tab. 7. [71]

Tab. 6 Procentuální chemické složení drátů pro MZV (wt. %) [65; 68; 70].

	C	Cr	Mn	Ni	Si	Co	Cu	Mo	Nb	Fe
CRONITEX 252 – C	0,03	21,5	2,5	Zbytek	0,6	-	-	-	-	2,0
Welco 1960	0,02	22,0	-	Zbytek	-	-	-	9,0	3,0	-
Welco A1960	0,02	22,0	-	Zbytek	-	-	-	9,0	3,0	-

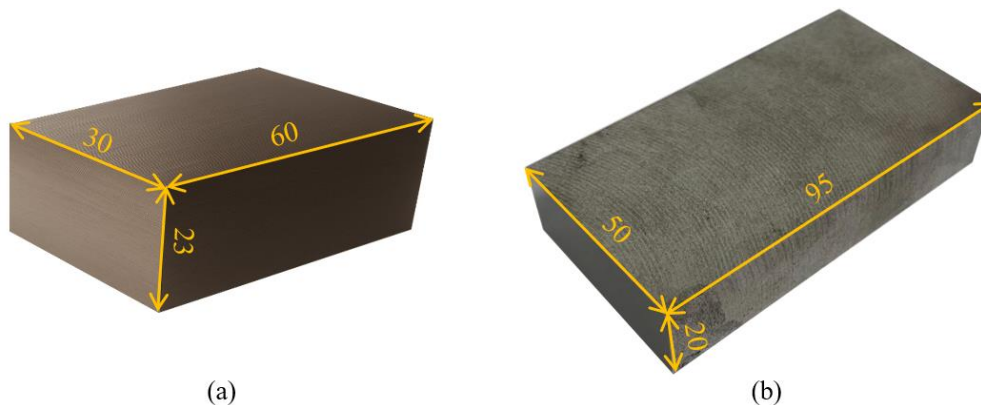
Tab. 7 Procentuální chemické složení drátů pro FN (wt. %) [66; 67; 69; 71].

	C	Cr	Mn	V	Si	Mo	W	Fe	Cu
CRONITEX RC 58	0,45	6,2	0,6	0,5	0,5	2,1	1,8	-	-
CRONITEX RC 63	0,6	6,8	0,5	0,6	1,0	1,7	-	Zbytek	-
Welco 1709S	0,9	4,5	0,5	1,1	0,4	8,5	2,0	-	-
Megafil 760 M	0,5	6,0	1,5	-	0,6	0,5	-	Zbytek	-

Při návarech metodou TIG byl použit ochranný plyn Argon 4.6. U metody CMT byla pro MZV zvolena směs MIG plynu Argon 4.6. Finální vrstvy byly realizovány opět s použitím MAG plynu STARGON C18 (18 % oxidu uhličitého + Argon). Metoda ruční obalované elektrody nevyžaduje přívod ochranného plynu, jelikož ochranná atmosféra vzniká rozkladem obalu elektrod během svařovacího procesu.

4.1.1 Provedení návarů

Zhotovení návarů všech vzorků, bylo provedeno kvalifikovaným svářečem na specializovaných pracovištích obr. 37, k zajištění co nejpřesnějšího provedení a dodržení postupu. Celkem bylo zhotoveno 8 vzorků, pro vstupní experiment 4 a čtyři k porovnání jednotlivých technologií. Rozměry ZM využitých pro experiment jsou na obr. 36.



Obr. 36 (a) Rozměry vzorků vstupního experimentu, (b) Rozměry vzorků pro porovnání jednotlivých technologií.

Pro navaření vzorků 1 – 4 vstupního experimentu byla zvolena z předchozích zkušeností metoda TIG [1]. Nejdříve se navařil obvod a následně prostřední část plochy vzorku, výjimkou byl vzorek 4, který se navařil pouze třemi housenkami FN. Před navařením byly zařazeny předehřevy 250 °C. Ochlazení bylo ve všech případech po navaření jak MZV, tak FN1 případně FN2 realizováno křemičitém v písku. Během celého procesu byly sledovány teploty interpass. Byly zaznamenány hodnoty proudu a napětí pro výpočet vneseného tepla dle vzorce (3.1) a jsou zapsány pro jednotlivé vzorky v tabulkách 8 - 15. Postupy jednotlivých vzorků navaření jsou následovně:

- Vzorek 1 – před provedením návaru byl vzorek předehřát. Na vzorek byla navařena pouze mezivrstva v počtu 28 housenek. Byla hlídána teplota interpass Parametry navaření jsou v tab. 8.

Tab. 8 Parametry navařování vzorku 1.

Vrstva	Mezivrstva	Tvrký návar
Materiál	CRONITEX RC 252 C	X
Proud	90 - 95 A	X
Napětí	11 – 15 V	X
Předehřev	250 °C	X
Interpass	-	X
Vnesené teplo	310 J/mm	X

- Vzorek 2 – vzorek byl navařen konfigurací 2 FN a MZV. Nejprve byl zařazen předeřev a následně navařena MZV. Po navaření byla plocha měkkého návaru zarovnána na výšku 24,5 mm. Na obrobený povrch se navařila FN1 a byla obrobená na výšku 25 mm. Nakonec navařená tvrdá vrstva FN2 a obrobená na 26 mm, parametry viz tab. 9.

Tab. 9 Parametry navařování vzorku 2.

Vrstva	Mezivrstva	Tvrký návar
Materiál	CRONITEX RC 252 C	CRONITEX R C58
Proud	90 – 95 A	70 – 80 A
Napětí	11 – 21 V	10 – 14 V
Předeřev	250 °C	250 °C
Interpass	-	600 °C
Vnesené teplo	308 J/mm	318 J/mm

- Vzorek 3 – použita byla konfigurace jedna MZV a jeden FN. Vzorek byl předeřev a navařen parametry viz tab. 10. Následně jako u vzorku 2 byl měkký návar obroben na výšku 24,5 mm a navařen tvrdý návar a obroben na výšku 25 mm.

Tab. 10 Parametry navařování vzorku 3.

Vrstva	Mezivrstva	Tvrký návar
Materiál	CRONITEX RC 252 C	CRONITEX RC 58
Proud	90 – 95 A	70 – 80 A
Napětí	11 – 21 V	10 – 14
Předeřev	250 °C	250 °C
Interpass	-	600 °C
Vnesené teplo	312 J/mm	319 J/mm

- Vzorek 4 – navařena byly pouze 3 housenky FN. Vzorek byl navařen s parametry viz parametry tab. 11. Jako jediný vzorek nebyl obroben, jelikož byl navařen pouze pro porovnání samotné tvrdé vrstvy bez promíšení s MZV.

Tab. 11 Parametry navařování vzorku 4.

Vrstva	Mezivrstva	Tvrký návar
Materiál	X	CRONITEX RC 58
Proud	X	70 – 80 A
Napětí	X	10 – 14
Předeřev	X	250 °C
Interpass	X	450 °C
Vnesené teplo	X	319 J/mm

Pro účely srovnání se navařily celkem 4 vzorky. Návar metodou TIG, jedna konfigurace MMA a dva návary pomocí CMT s předehřevem a bez předehřevu. Po navaření každé z vrstev proběhlo ochlazení v křemičitém písku. Výjimkou byl vzorek 4F, který byl jako jediný ochlazen volně na vzduchu. U všech vzorků byla snížena teplota interpass na 400 °C. Všechny vzorky byly navařeny konfigurací MZV a dva FN. Postupy provedení návary jednotlivých vzorků jsou:

- Vzorek 1F – navařen metodou MMA. Po navaření MZV proběhlo obrobení na výšku 21,5 mm, poté navaření FN 1. FN1 byl obroben na výšku 23 mm. Po obrábění byl navařen FN2. Hodnoty parametrů jsou v tab. 12.

Tab. 12 Parametry navařování vzorku 1F.

Vrstva	Mezivrstva	Tvrký návar
Materiál	Welco 1960	Welco 1709S
Proud	70 – 80 A	70 – 80 A
Napětí	20 – 25 V	20 – 25 V
Předehřev	250 °C	250 °C
Interpass	-	400 °C
Vnesené teplo	556 J/mm	618 J/mm

- Vzorek 2F – svar proveden metodou TIG. Vzorek byl po navaření MZV obroben na výšku 21 mm a následně navařeny dvě housenky FN1, po které následovalo obrobení na výšku 21,8 mm a poté navaření FN2, jednotlivé parametry navaření tab. 13.

Tab. 13 Parametry navařování vzorku 2F.

Vrstva	Mezivrstva	Tvrký návar
Materiál	CRONITEX RC 252 C	CRONITEX RC 63
Proud	90 - 95 A	70 – 80 A
Napětí	11 – 21 V	10 – 14 V
Předehřev	250 °C	250 °C
Interpass	-	400 °C
Vnesené teplo	308 J/mm	318 J/mm

- Vzorky 3F, 4F – byly navařeny stejnými parametry tab. 14, 15 s rozdílem v předehřevu a ochlazení, jak bylo uvedeno výše v této kapitole. Na rozdíl od předešlých vzorků 1F a 2F nebylo zařazeno obrábění. Rovněž nebylo možné vypočítat vnesená tepla díky pulznímu režimu, který v průběhu svařování mění proud a napětí, hodnoty uvedené v tab. 14, 15 jsou zapsané z nastavení zdroje.

Tab. 14 Parametry navařování vzorku 3F.

Vrstva	Mezivrstva	Tvrký návar
Materiál	Welco A1960	Megafil 760 M
Proud	170 A	149 A
Napětí	15,3 V	23,2 V
Předehřev	250 °C	250 °C
Interpass	-	400 °C
Vnesené teplo	-	-

Tab. 15 Parametry navařování vzorku 4F.

Vrstva	Mezivrstva	Tvrký návar
Materiál	Welco A1960	Megafil 760 M
Proud	170 A	149 A
Napětí	15,3 V	23,2 V
Předehřev	-	-
Interpass	-	400 °C
Vnesené teplo	-	-



(a)

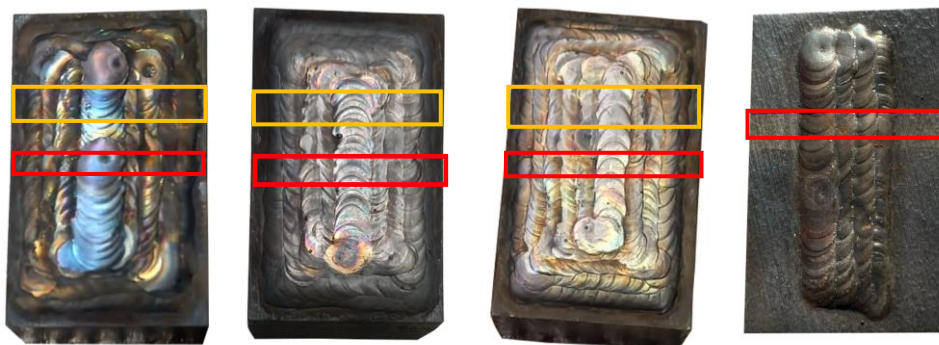


(b)

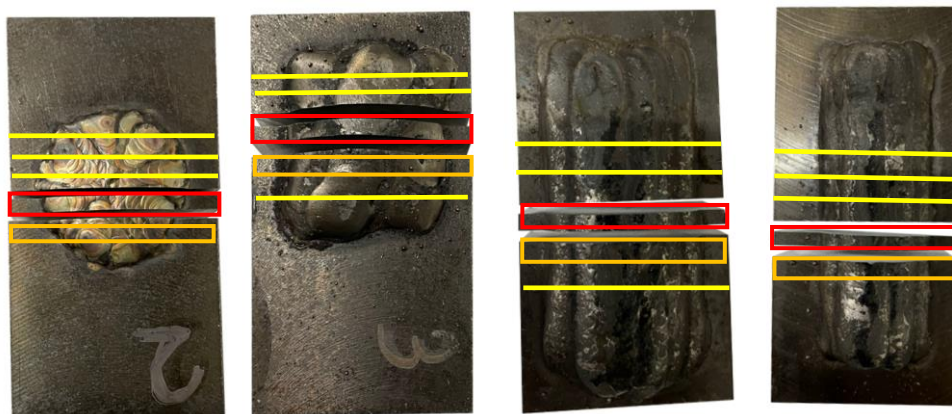
Obr. 37 (a) Pracoviště MMA, TIG (b) Pracoviště CMT.

4.1.2 Zhotovení metalografických vzorků

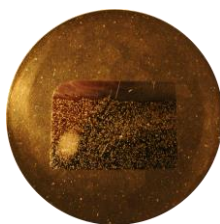
Pro bezchybné zhodnocení zkoušek makro a mikrostruktury je příprava vzorků klíčová, jelikož špatným zpracováním může dojít ke zkreslení výsledků. Vzorky jsou destruktivně zkoušeny, což znamená, že nejprve je proveden řez z vhodného místa na vzorku obr. 38 a 39. Oranžový rámeček na vzorku značí místo odběru pro zhodnocení makrostruktur a červený rámeček pozici k nařezání vzorku do tablet skrze výbrus k posouzení mikrostruktur. Řezy se zhotovily na pile Struers Labotom 5 kotoučem 60A25. Místo odběru se volilo na základě výskytu všech důležitých oblastí, jako je FN, MZV a přechod mezi TOO a ZM. Kvůli zabránění ovlivnění vzorků teplem z řezu byl chlazen emulzí.



Obr. 38 Místa odběru pro makro a mikrostruktury zleva vzorky 1,2,3 4.



Obr. 39 Místa odběru pro makro a mikrostruktury zleva vzorky 1F, 2F, 3F, 4F.

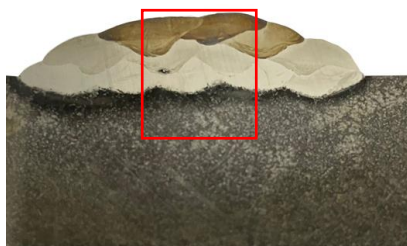


Obr. 40 Zalisované vzorky v tabletách zleva vzorky 1,2,3,4.

Nařezané vzorky pro makrostruktury byly broušeny na metalografické brusce Saphir 330. K broušení byly využity brusné papíry o zrnitostech od #80 do #1200 a broušení probíhalo pod vodou. Na finální hodnocení bylo použito leptadlo Kalling po dobu 20 sekund k vytvoření pozorovatelného reliéfu.

Abychom mohli vzorky podrobit mikrostrukturnímu pozorování, bylo je nutné nařezat na velikost 20x20 mm, kvůli lisování do tablet, příklad místa odběru je v červeném rámečku na obr. 41. Zalisování do tablet proběhlo na zařízení Metkon Ecopress 100. Před procesem přípravy se píst v zařízení natřel separátorem, vložil se vzorek, zasypal vhodným množstvím

pryskyřice a následovalo zalisování. Zhotovená vzorová tableta je na obr. 40. Jednotlivé tablety jsou broušeny v zařízení Struers LaboPol5. Pro broušení sloužily kotouče o zrnitostech #80 do #1200 a následné leštění probíhalo na kotouči DAC s diamantovými suspenzemi o zrnitosti 3 μ m. Vyleštěné vzorky pro pozorování na mikroskopu Neophot 32 Carl Zeiss se následně krátce předežřály horkovzdušnou pistolí a byly leptány Kallingem po dobu 20 vteřin pro vytvoření filmu ke sledování svarového kovu. Ke sledování TOO bylo použito leptadlo Nital po dobu 5 sekund.

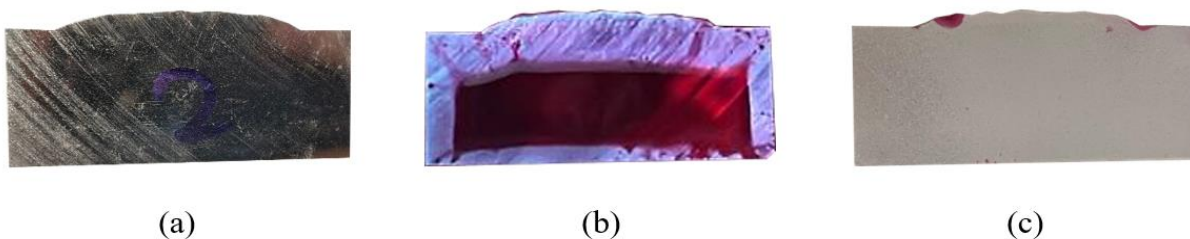


Obr. 41 Příklad místa odběru vzorku pro mikrostrukturu.

4.1.3 Penetrační zkoušky

Provedeny byly penetrační zkoušky na vzorcích 1F, 2F, 3F, 4F za účelem kontroly svarových spojů z hlediska kvality a zjištění případných vnitřních a povrchových vad. Řadí se mezi tzv. nedestruktivní zkoušky, ke stanovení pórů, trhlin, studené spoje, které by mohly ovlivnit pevnost svarového spoje. V našem případě však byly provedeny navíc i v řezech, které jsou vyznačeny tlustou žlutou čarou na obr. 39. [72]

Postup spočíval v aplikaci kapilární metody. Nejdříve se povrch důkladně očistil a odmastil přípravkem Crick 110, poté byl nanesen penetrační prostředek Crick 120, který pronikl do případných povrchových vad. Po uplynutí aplikační doby působení se přebytečný penetrant odstranil a na povrch se aplikovala tzv. vývojka Crick 130, která umožnila vzlínání penetračního prostředku a vizuální detekci vad díky kontrastu mezi přípravky, podrobný přehled vzhledu vzorků po různých aplikacích přípravků obr. 42. [72]



Obr. 42 (a) Vzorek před očištěním, (b) Vzorek po nanesení penetračního přípravku, (c) Vzorek po nanesení vývojky.

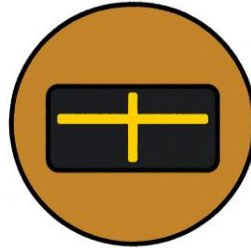
4.1.4 Hodnocení tvrdostí a metalografických vzorků

Před samotným provedením návarů byla provedena měření tvrdosti ZM metodou dle Brinella na tvrdoměru Tinius Olsen. Za účelem adekvátního vyhodnocení byla měřena data šesti řezů, přičemž každý řez byl podroben měření samostatně. Pro každý řez bylo realizováno více vtisků pro adekvátní z hodnocení. Měření bylo provedeno za použití ocelové kuličky o průměru 3 mm při zatížení 750 kg.

Měření mikrotvrdosti bylo provedeno pomocí tvrdoměru Qness Q10A. Postup je automatizovaný, zařízení pomocí otočné hlavy obsahující objektivy a tvrdoměry provádí vpichy, které následně měří. Ke zhodnocení tvrdosti byla zvolena metoda mikrotvrdosti dle Vickerse se zatížením HV 0,2 (200g). Tvrdosti byly měřeny u všech vzorků kolmo dolů ve

vzdálenostech vpichu 0,25 mm. Dále měření ve vodorovném směru realizováno jen pro některé vzorky v různých úrovních ve vzdálenost 0,25 až 1 mm dle výšky vrstvy, příklady linií vpichů jsou žlutě na obr. 43.

K ověření tvrzení byla na závěr experimentální části provedena doplňková měření tvrdosti dalších zhotovených návarů metodou CMT. Měření bylo realizováno tvrdoměrem LECO LR dle Rockwella. Jako intendor byl použit diamantový čtyřboký jehlan při zatížení 150 kg.



Obr. 43 Příklad linie vpichů.

Pro zhotovení snímků makrostruktury byl použit mikroskop Neophot 32 Carl Zeiss. Snímky jsou složeny z jednotlivých fotek zvětšených 25,6×. Lze pozorovat hranice mezi jednotlivými oblastmi, jako je ZM, TOO, navařená MZV, finální tvrdý návar FN, případně trhliny a vměstky. Snímky mikrostruktury byly stejně jako pro makrostrukturu pořízeny na mikroskopu Neophot 32 Carl Zeiss. Provedeny byly se zvětšením 50×, 100×, 200× a 500×. Jednotlivá měřítka jsou v dolním rohu snímku. Lze vidět jednotlivé oblasti návaru, jako jsou FN, MZV, TOO, ZM.

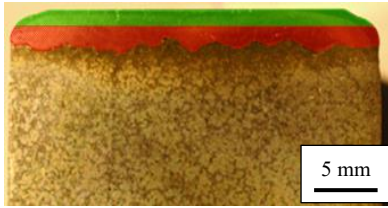
4.2 Vstupní experiment

Před provedením hlavních návarů se provedl vstupní experiment, jehož cílem bylo ověřit vhodnou konfiguraci přídavných materiálů pro navaření. Z předchozích zkušeností byly navařeny celkem čtyři vzorky samostatnými dráty, nebo jejich kombinací [1]. Cílem bylo zjistit vhodné svařovací parametry, vnesená tepla, promíšení, tvrdosti a vyloučené struktury, za účelem posouzení, která z daných konfigurací poskytuje nevhodnější vlastnosti pro následnou výrobu finálních vzorků pro porovnání.

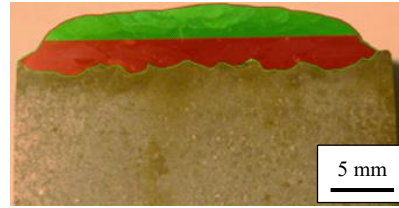
Vyhodnocení promíšení, jehož teoretický základ je blíže popsán v kapitole 3.6, bylo provedeno na vzorcích připravených pro analýzu makrostruktury. U vzorku 1 bylo promíšení posuzováno mezi ZM a MZV. Vzorek 2 sloužil k promíšení mezi MZV a FN1, FN2 včetně vzájemného promíšení mezi FN1 a FN2. Na vzorku 3 bylo vyhodnoceno promíšení mezi FN a MZV. U vzorku 4 promíšení stanoveno nebylo, neboť byly navařeny pouze tři housenky, což by mohlo vést ke zkreslení výsledků. Jednotlivé oblasti hodnocení jsou znázorněny na obr. 44, 45, 46, 47. Hodnoty obsahů jednotlivých oblastí byly získány pomocí programu AutoCAD. Výpočty promíšení byly provedeny dle vztahu 3.2 a výsledky jsou v tab. 13.

Tab. 13 Výsledné promíšení oblastí.

Vzorek	Promíšené oblasti	Oblast A [mm ²]	Oblast B [mm ²]	Promíšení [%]
1	ZM/MZV	90,01	116,66	43,5
2	MZV/FN1+FN2	130,12	157,33	45
2	FN1/FN2	92	26	22
3	MZV/FN	100,33	152,6	39,6



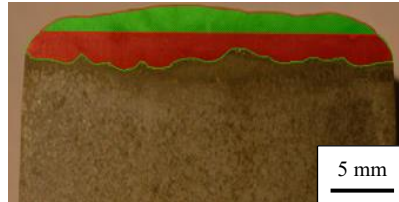
Obr. 44 Oblast promíšení ZM/MZV vzorek 1.



Obr. 45 Oblast promíšení MZV/ FN1 + FN2 vzorek 2.



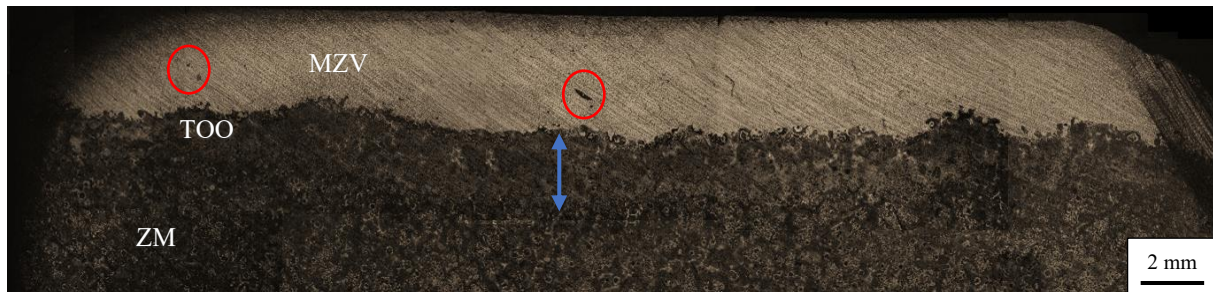
Obr. 46 Oblast promíšení FN1/FN2 vzorek 2.



Obr. 47 Oblast promíšení MZV/FN vzorek 3.

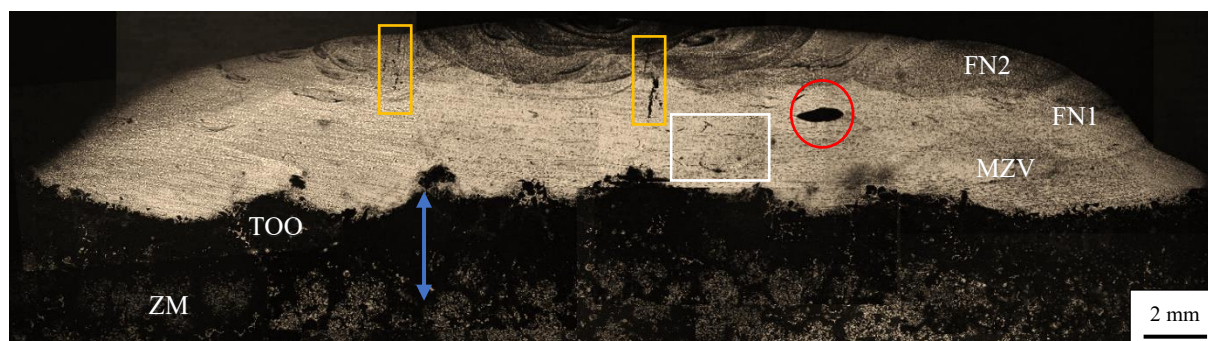
4.2.1 Zhodnocení makrostruktur

Na obr. 48 je vzorek 1, na který byla navařena pouze mezivrstva. V důsledku výrazného natavení nelze jednoznačně rozlišit jednotlivé housenky. Rovnoměrné kladení a řízení tepla však zajistilo téměř konstantní tloušťku TOO, která v nejvyšším místě (modrá šipka) dosahuje přibližně 2 mm. Ve vzorku jsou rozlišitelné oblasti jako MZV, ZM a TOO. V červeně označené oblasti jsou mikrostaženiny negativně ovlivňující pevnost návarového spoje. Vznik je pravděpodobně způsoben špatným překrytím housenek. V oblastech rohů jsou patrnější rýhy vzniklé v důsledku předchozího broušení.



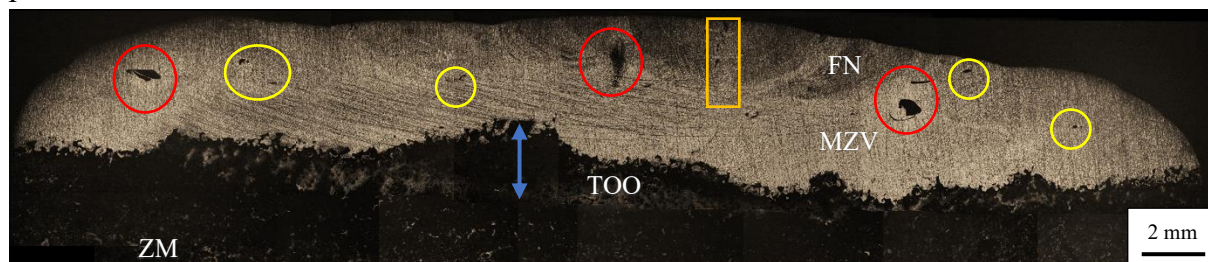
Obr. 48 Makrostruktura vzorku 1 v řezu, zvětšení 25,6×.

Vzorek 2, zobrazený na obr. 49 byl zhotoven konfigurací jedné MZV a dvou návarů FN1 a FN2. Tloušťka TOO je rovnoměrná, obdobně jako na vzorku 1, přičemž v nejvyšším místě dosahuje přibližně 3 mm (modrá šipka). Na okrajích vzorku je ztelněji viditelné rozhraní mezi jednotlivými vrstvami FN1, FN2 a MZV. Ve zbylých částech je nepozorovatelné díky vysokému promíšení. Vrstva FN2 je nejlépe rozpoznatelná, jsou zde zřetelně patrné jednotlivé naleptané housenky, které byly kladeny postupně přes sebe od okraje směrem ke středu. V červeně značené oblasti se nachází výrazná mikrostaženina, vzniklá pravděpodobně v důsledku rychlého lokálního ochlazení svarového kovu. Oranžové rámečky označují trhliny, jejichž vznik je důsledkem rychlého ochlazení a zbytkového napětí. V oblasti s bílým rámečkem jsou patrné další mikrostaženiny a trhliny.



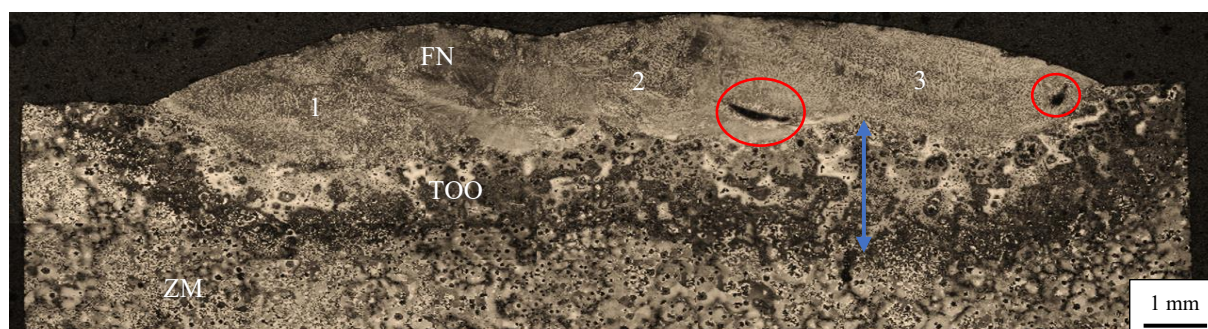
Obr. 49 Makrostruktura vzorku 2 v řezu, zvětšení 25,6×.

Vzorek 3, zobrazen na obr. 50, byl zhotoven kombinací MZV a FN. Tloušťka TOO dosahuje v největším místě přibližně 2 mm. Z FN jsou viditelné tři housenky, které se v důsledku kladení od okraje ke středu vzorku navařily jako poslední a nedošlo k jejich promísení s MZV. Zbylé housenky nejsou viditelné, pravděpodobně v důsledku intenzivního promísení s podkladovou MZV. V oranžově vyznačené oblasti je patrná trhlinka ve vrchní housence FN, jejíž vznik lze přičíst vnitřnímu napětí. Červeně a žlutě označené oblasti vykazují výskyt staženin a mikrostaženin, které vznikly v důsledku nepřesného překrytí jednotlivých housenek během procesu navařování.



Obr. 50 Makrostruktura vzorku 3 v řezu, zvětšení 25,6×.

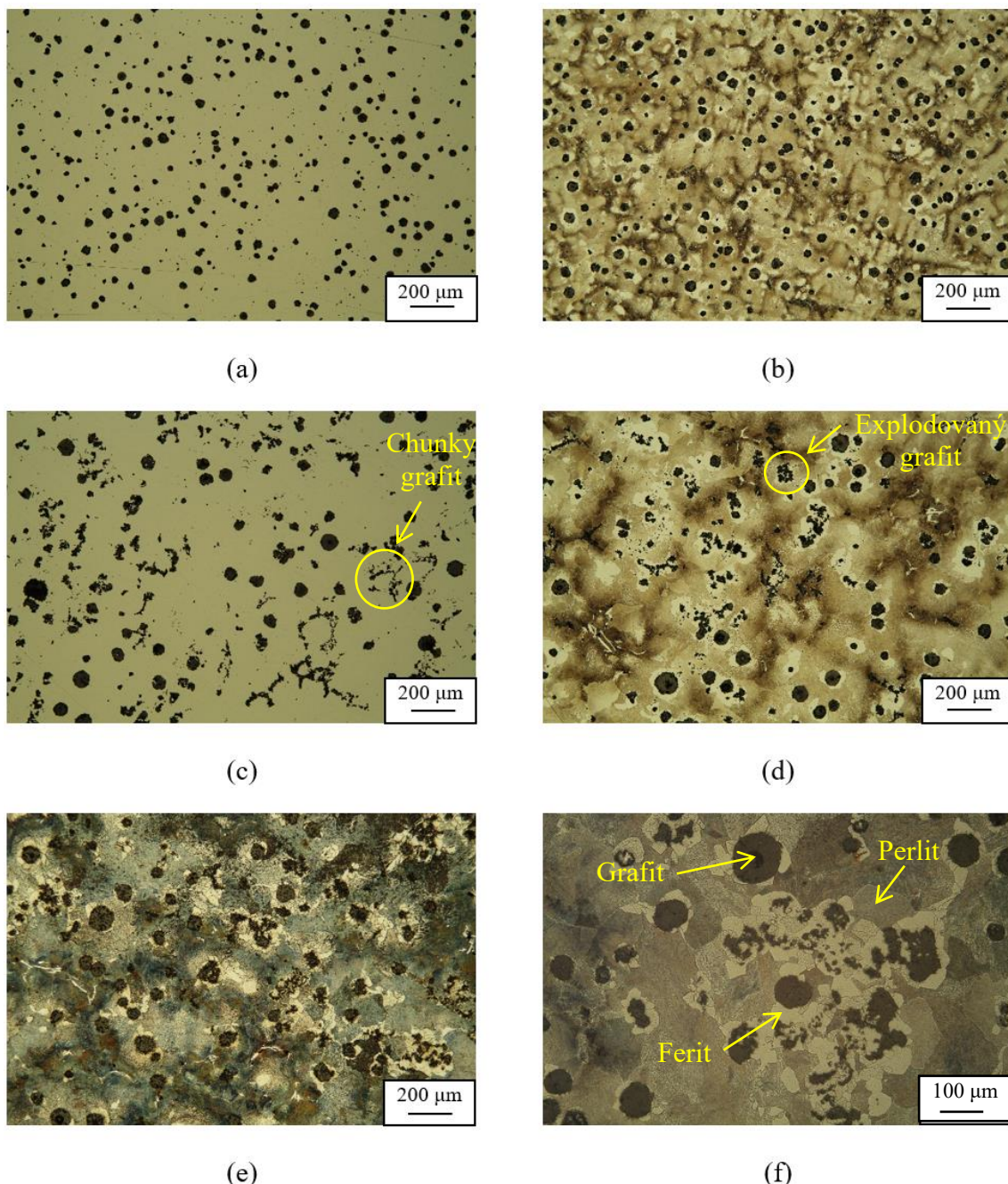
Na obr. 51 lze vidět snímek vzorku 4, který byl navařen pouze třemi housenkami finálního návaru. Rozhraní FN, TOO a ZM jsou jasně zřetelná. Tloušťka TOO se postupně zvyšuje ve směru kladení housenek 1, 2, 3 a nejvyšším místě dosahuje přibližně 3 mm. V červeně zvýrazněných oblastech lze vidět staženiny, trhliny se zde nevyskytují.



Obr. 51 Makrostruktura vzorku 4 v řezu, zvětšení 50×.

4.2.2 Vyhodnocení mikrostruktury a tvrdosti

Jak už bylo uvedeno v úvodu kapitoly 4, základním materiálem je litina GJS 700-2 s tvrdostí 230 – 270 HB. Ideální struktura je tvořena perlitem a feritem, které se nacházejí v okolí grafitických zrn. Výbrus struktury je na obr. 52 v neleptaném stavu (NeS) po leštění (a) a po naleptání nitalem (NaS) (b). Výraznější rozlišení feritické a perlitické fáze poskytuje obr. 52 (e) a (f), kde bylo leptání provedeno kallingem a zvýrazněné tmavohnědé oblasti představují perlit, zatímco světlé okolo grafitických zrn odpovídají feritu. Grafit je v ideálním stavu na obr. 52 (a) a (b) rovnoměrně rozptýlen bez přítomnosti výraznějších vad.



Obr. 52 Základní materiál: (a) NeS, (b) NaS nital, (c) NeS, (d) NaS nital, (e) NaS Kalling, (f) NaS Kalling.

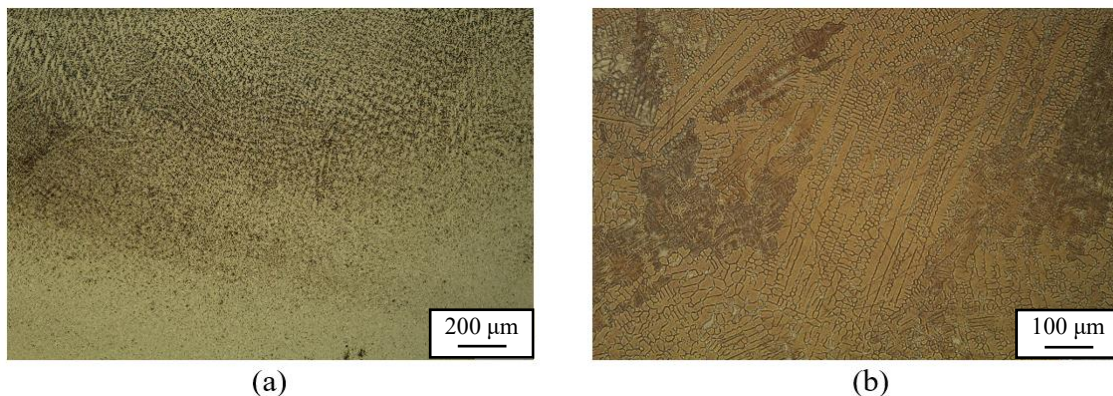
K vyhotovení návarů byly bloky odebrané ze skutečných návarových míst. Struktura základního materiálu těchto bloků po výbrusu a následném naleptání vykazovala nežádoucí defekty, jak je patrné na obr. 52 (c) a (d). Mezi typické vady patří chunky grafit nebo

explodovaný grafit viz kapitola 2.3.4. Vzhledem k těmto strukturním odchylkám byla provedena kontrolní měření tvrdosti dle Brinella, jejichž výsledky jsou uvedeny v tab. 14 a vzorky měření v příloze 8.

Tab. 14 Měřené tvrdosti dle Brinella.

Vzorek	Měření 1 [HB]	Měření 2 [HB]	Měření 3 [HB]	Měření 4 [HB]	Měření 5 [HB]	Průměrná tvrdost [HB]
1B	204	201	210	210	215	208
2B	214	214	216	212	216	214,4
3B	224	215	223	217	209	217
4B	220	223	227	232	219	224,2
5B	224	213	222	211	224	218,8
6B	251	249	255	248	241	248,8

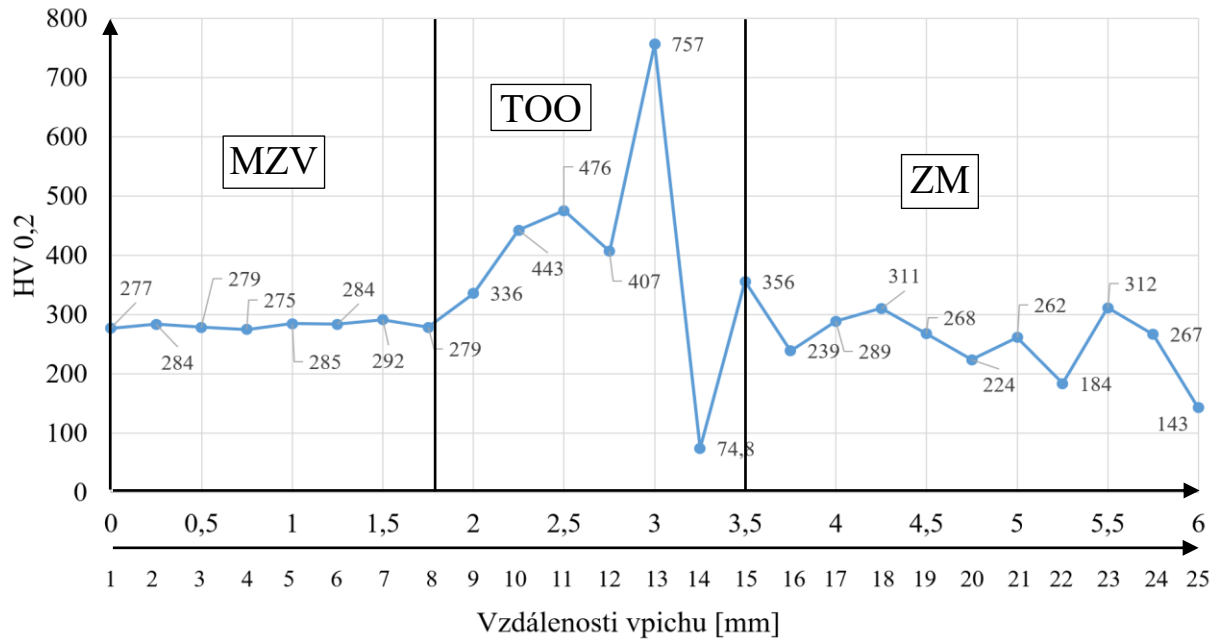
Celkem proběhlo 5 měření na každém vzorku a výslednou hodnotou byl průměr naměřených tvrdostí viz. tab. 14. Z výsledků lze říct, že materiál se svou tvrdostí pohybuje těsně pod požadovanou hranicí 240 HB až na vzorek 6B.



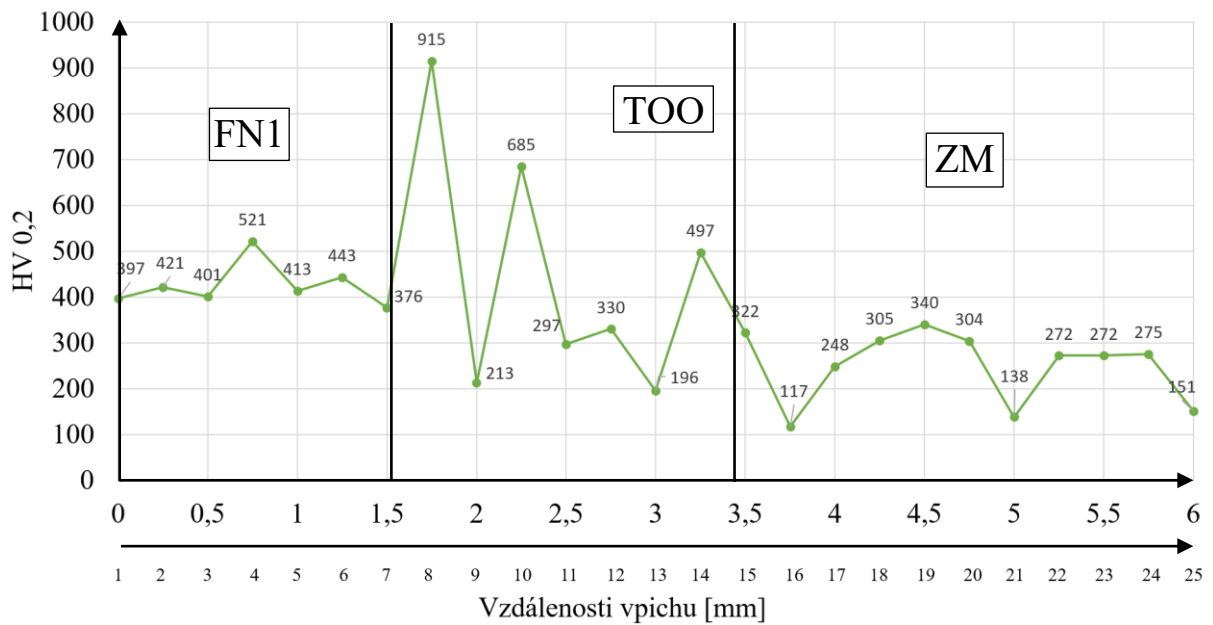
Obr. 53 Svarový kov (a) mezivrstva vzorek 1, kalling, (b) tvrdý návar vzorek 4, kalling.

Pro účely porovnání struktur svarových kovů bylo provedeno navaření vzorků 1 a 4 na obr. 53. a následné měření tvrdosti na obr. 54 a 55. Vzorek 1 (obr. 53 (a)) obsahuje návar pouze austenitickou MZV. Svarový kov tohoto vzorku vykazuje jemně dendritickou austenitickou strukturu, která se směrem k základnímu materiálu zjemňuje vlivem promísení. Naměřené tvrdosti (obr. 54) dosahují v průměru 282 HV, což je vyšší než hodnota uváděná výrobcem. V oblasti TOO bylo zaznamenáno zvýšení tvrdosti, ke kterému došlo vlivem působení tepelných cyklů. Odchytky v grafu na obr. 54 jsou způsobeny použitím malého indentoru. Hodnota 757 HV odpovídá vpichu do tvrdého karbidu, zatímco hodnota 75 HV byla zaznamenána vpichem do kuličkového grafitu viz. příloha 9.

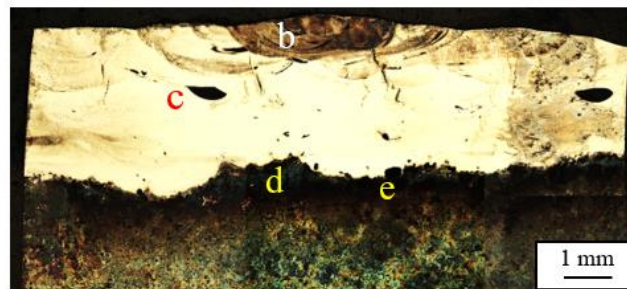
Struktura FN rovněž vykazuje typickou dendritickou morfologii svarového kovu (obr. 52 (b)). Z hlediska tvrdosti však naměřené hodnoty nedosahují požadovaných parametrů udávaných výrobcem (příloha 2). Návar RC 58 vykazoval průměrnou tvrdost 424 HV (obr. 55), což neodpovídá požadované hodnotě 600 HV. Pravděpodobnou příčinou tohoto snížení je nadměrné promísení s podkladovým materiálem, případně nedošlo k dosažení potřebné rychlosti ochlazení a zvýšená teplota interpass mohla zapříčinit žhání předešlých housenek.



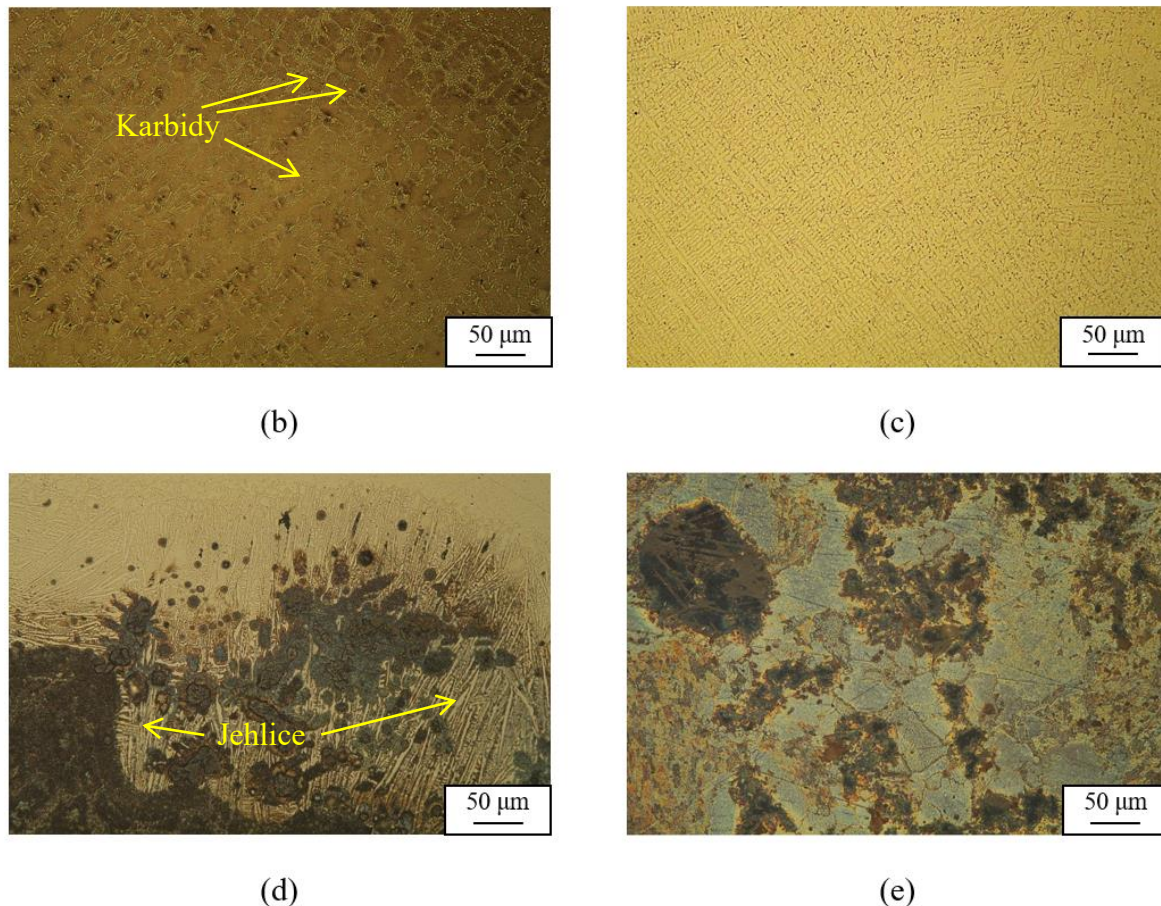
Obr. 54 Graf kolmo měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 1.



Obr. 55 Graf kolmo měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 4.



(a)



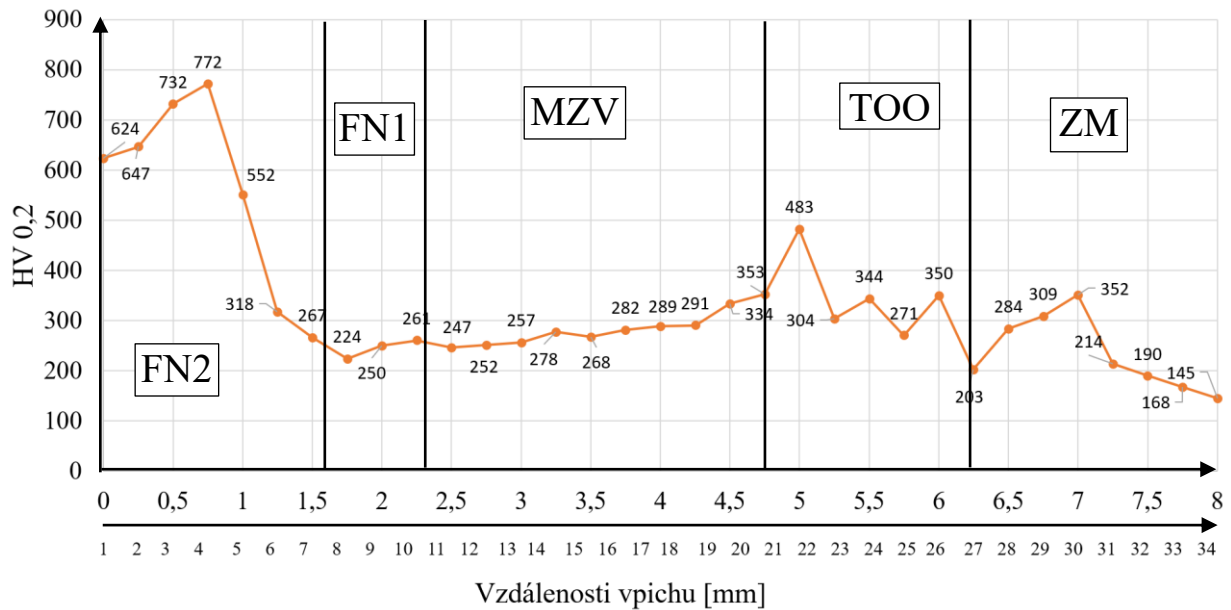
Obr. 56 Mikrostruktura vzorek 2, leptání Kalling: (a) přehledový snímek 2 FN/MZV, (b) FN2, (c) FN1/MZV, (d), MZV/ZM, (e) TOO.

Mikrostruktura vzorku 2, navařeného konfigurací 2 FN a MZV je znázorněna na obr. 56. Oblasti pořizovaných snímků jednotlivých oblastí jsou na obr. 56 (a). Finální návar FN (obr.56 (b)) vykazuje patrný rozdíl struktury oproti samostatnému návaru na obr. 53 (b). Struktura je charakteristicky dendritická, avšak přítomnost mezidendritických karbidů výrazně přispívá ke zvýšené tvrdosti finální vrstvy, což potvrzují měření prezentované v grafu na obr. 57. Požadovaná tvrdost uváděná výrobcem (příloha 2) byla do hloubky cca 1 mm od povrchu návaru v dané linii vpichů. S rostoucí hloubkou dochází k poklesu tvrdosti, což lze zdůvodnit promísením s MZV, pomalému chladnutí a v důsledku toho vzniku nežádoucí struktury při nedosažení kritické rychlosti ochlazení.

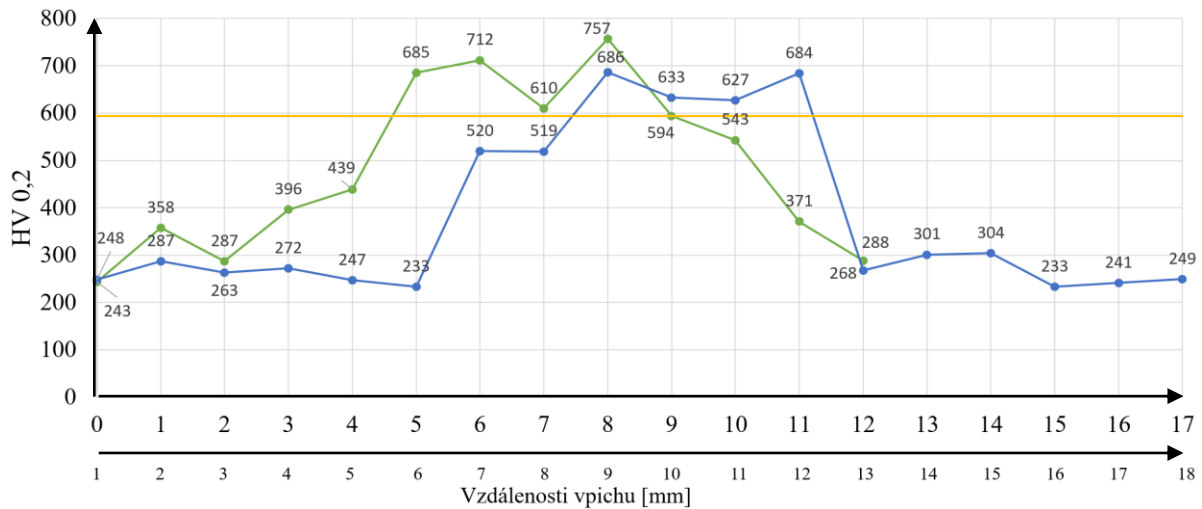
Pro ověření tvrdosti v celém rozsahu FN2 bylo provedeno podélné měření, jehož výsledky jsou zobrazeny v grafu na obr. 58. Přehled linie jednotlivých vpichů je v příloze 10. Z grafu je patrné, že požadovaná hodnota značená oranžovou čarou na úrovni 600 HV není dosažena v celém rozsahu návaru. Hodnot této hranice dosahují vpichy 6 až 9 v horní (zelené) linii a vpichy 9 až 12 v modré linii. Z výsledků vyplývá, že tvrdosti nebylo dosaženo rovnoměrně po celém návaru, což je z funkčního hlediska nevyhovující.

Na snímku (obr. 56 (c)) je zachycen svarový kov promísení FN1 a MZV, přičemž tvrdost v této oblasti dosahuje hodnot cca 270 HV. Mikrostruktura je dendritická. Obr. 56 (d) zachycuje rozhraní MZV a ZM, zde je viditelná jehlicovitá struktura, která vznikla přeměnou feriticko-perlitické matrice na ledeburit v okolí kuličkového grafítu. V rozhraní dochází ke zvýšení tvrdosti vlivem navařování.

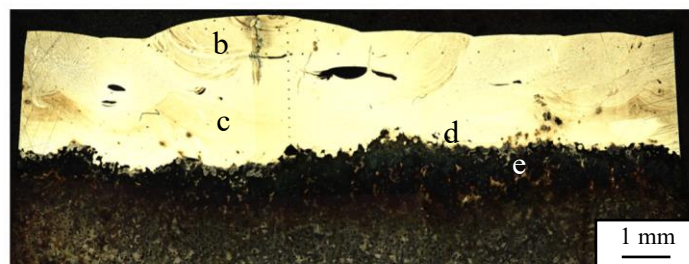
Oblast TOO zachycená na obr. 56 (e) vykazuje zjemněnou strukturu v důsledku teplotních cyklů během navařovacího procesu. Ve srovnání se strukturou ZM na obr. 52 (f) je patrná přeměna vlivem vysokého přehřátí a následného rychlého ochlazení. Důkazem je i růst tvrdosti v oblasti viz obr. 58.



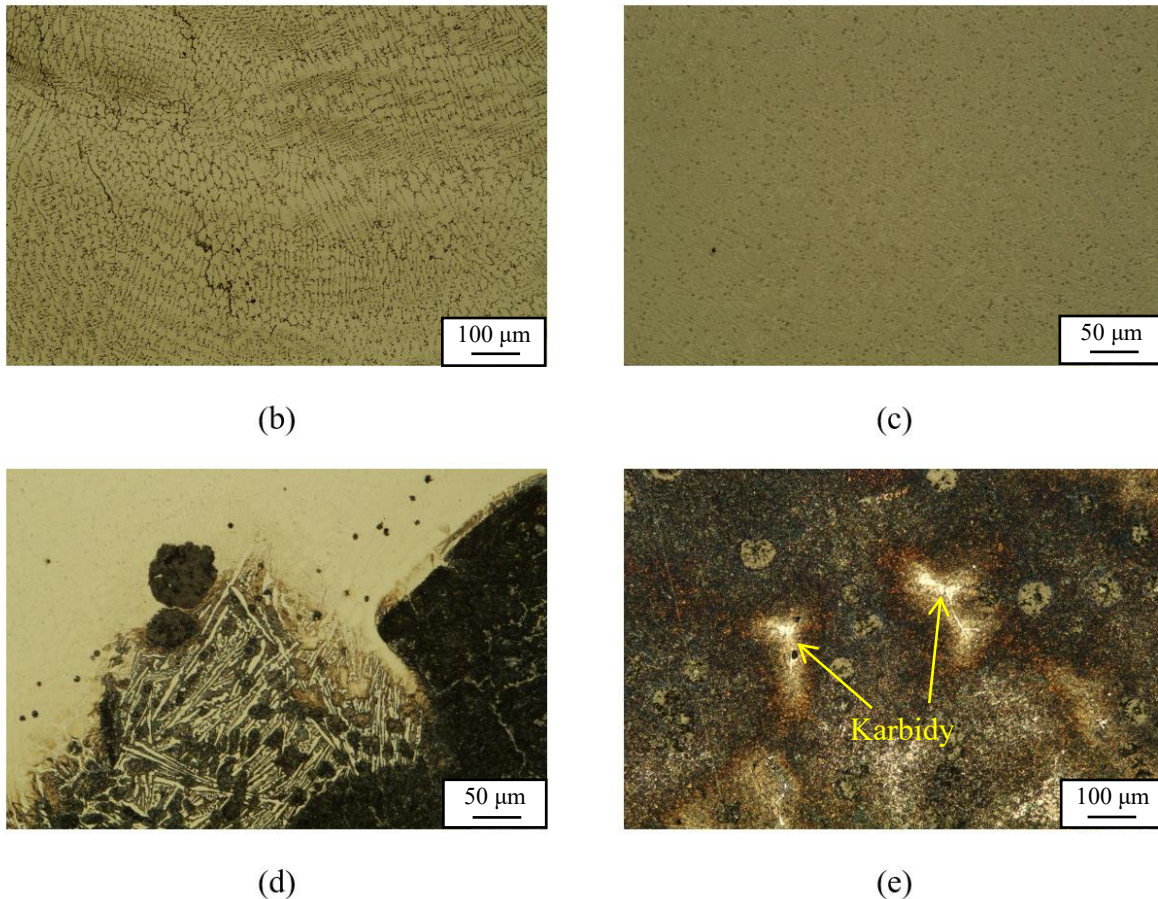
Obr. 57 Graf kolmo měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 2.



Obr. 58 Graf vodorovně měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 2.



(a)

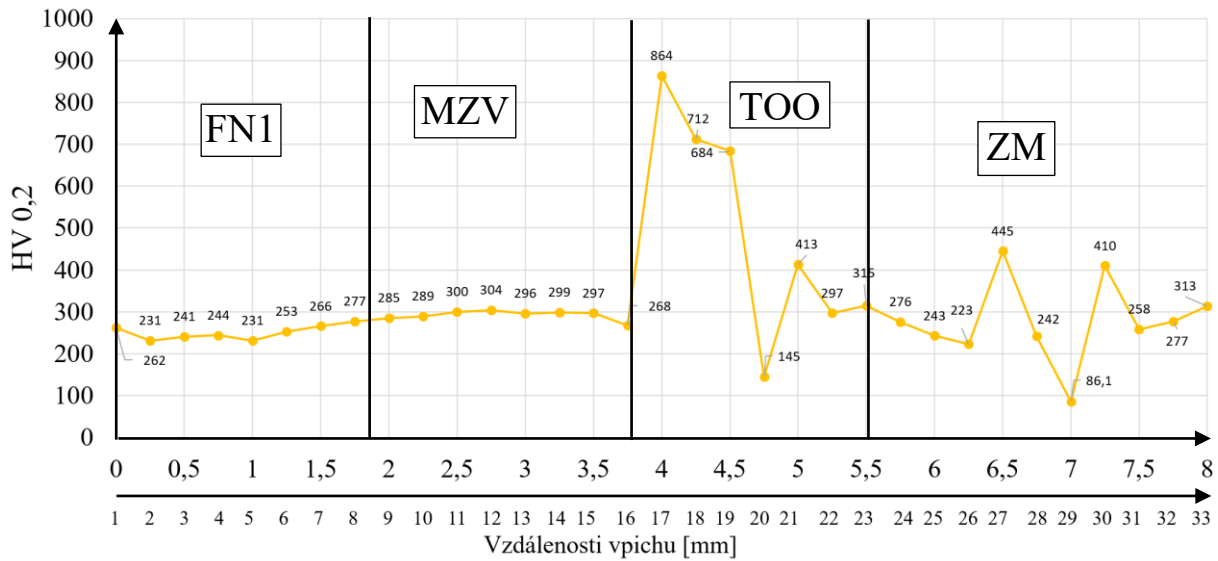


Obr. 59 Mikrostruktura vzorek 3, leptání Kalling: (a) přehledový snímek FN/MZV, (b) FN, (c) MZV, (d) rozhraní MZV/ ZM, (e) TOO leptání Nital.

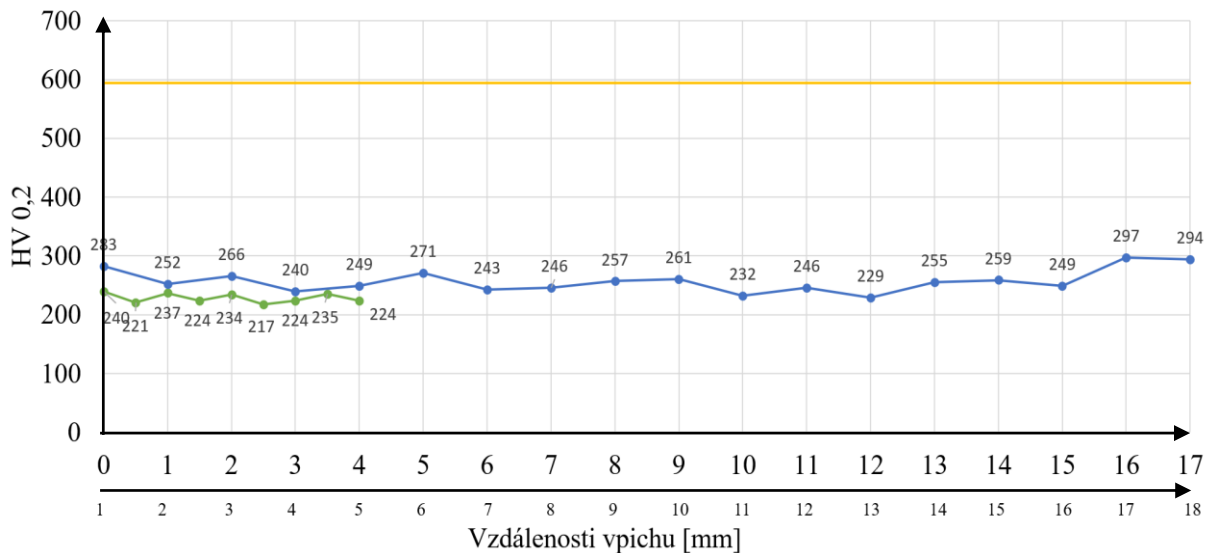
Vzorek 3, navařený konfigurací FN v kombinaci s MZV (obr. 59), vykazuje obdobné mikrostrukturní chování jako vzorek 2 na obr. 56. Zásadní rozdíl je v barvě naleptání FN u povrchu obr. 59 (b), což nasvědčuje rozdílnému chemickému složení. Na základě výsledků měření tvrdosti obr. 60 dosahuje FN hodnoty 250 HV, což odpovídá tvrdosti austenitické struktury, nikoli tvrdosti udávané výrobcem (příloha 2). Naměřené hodnoty indikují výrazné promíšení s austenitickou mezivrstvou a vznik spíše austenitické než zákálné martenzitické, nebo bainitické struktury, která je z hlediska funkčních vlastností žádoucí.

K ověření tvrdosti v celém průřezu byly provedeny vtisky pro ověření obr. 61. Žádný z provedených vpichů nepřekročil hranici 600 HV, která odpovídá požadované tvrdosti. Průměrná tvrdost první linie vpichů dosahovala hodnot 228 HV a druhé 257 HV. Výsledky jednoznačně potvrzují výrazné promíšení FN s MZV a vyloučení austenitické struktury. Přehled jednotlivých linií je v příloze 11.

Obr. 59 snímek (c) dále zachycuje dendritickou mikrostrukturu MZV, jejíž tvrdost odpovídá dle výsledků měření hodnotám od výrobce (příloha 1). Na rozhraní MZV a ZM (obr. 59 (d)) byly opět vytvořeny jehlicovité útvary podobně jako u vzorku 2, přičemž se jedná pravděpodobně o ledeburit vzniklý výraznou přeměnou feritu a perlitu vlivem výrazného natažení ZM. Snímek (obr. 59 (e)) zobrazující TOO, ukazuje zjemnění mikrostruktury v důsledku tepelného ovlivnění, což vedlo k přehřátí struktury. Tento jev potvrzuje i nárůst tvrdosti v měření na obr. 60. Ve struktuře se také vyskytují karbidy.



Obr. 60 Graf kolmo měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 3.



Obr. 61 Graf vodorovně měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 3.

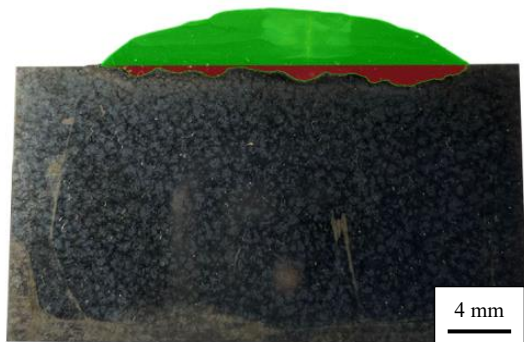
4.3 Hlavní experiment

Hlavní experiment navazoval na vstupní, jehož cílem bylo ověřit základní technologické parametry, případně vhodné podmínky pro následné pokračování experimentu. Na základě výsledků byly zvoleny specifické konfigurace navařovaných drátů, svařovacích parametrů a postupů uvedené v kapitole 4.1. V rámci hlavního experimentu bylo předmětem zkoumání navaření pomocí tří metod – CMT, MMA a TIG. Dané metody byly zvoleny s ohledem na jejich průmyslovou využitelnost v praxi a byly popsány v předchozích částech práce. V rámci experimentu budou provedeny testy k určení vhodnosti využití pro danou aplikaci v praxi.

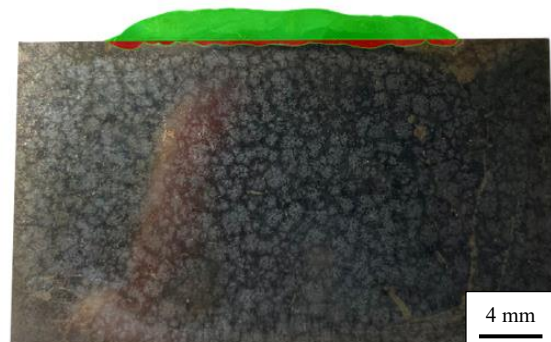
Promíšení jednotlivých vrstev bylo opět vyhodnoceno na vzorcích připravených pro analýzu makrostruktury. U každého vzorku bylo posouzeno promíšení navařovaných vrstev (NV) se základním materiálem. Výpočty byly provedeny dle vztahu 3.2. Výsledné hodnoty promíšení jsou uvedeny v tab. 15. Oblasti použité pro výpočet jsou znázorněny na obr. 62, k jejich vyhodnocení byl využit software AutoCAD.

Tab. 15 Promíšení vzorků hlavního experimentu.

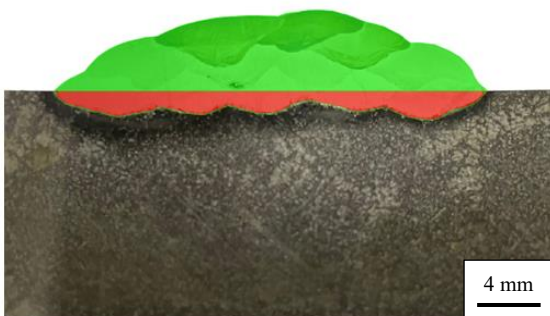
Vzorek	Promíšené oblasti	Oblast A [mm ²]	Oblast B [mm ²]	Promíšení [%]
1F	ZM/NV	183,1	43,2	19,1
2F	ZM/NV	122,8	26,2	17,6
3F	ZM/NV	391,2	134,3	25,6
4F	ZM/NV	359,4	86,7	19,4



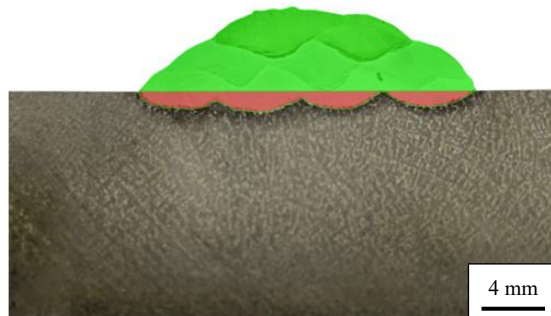
(a)



(b)



(c)

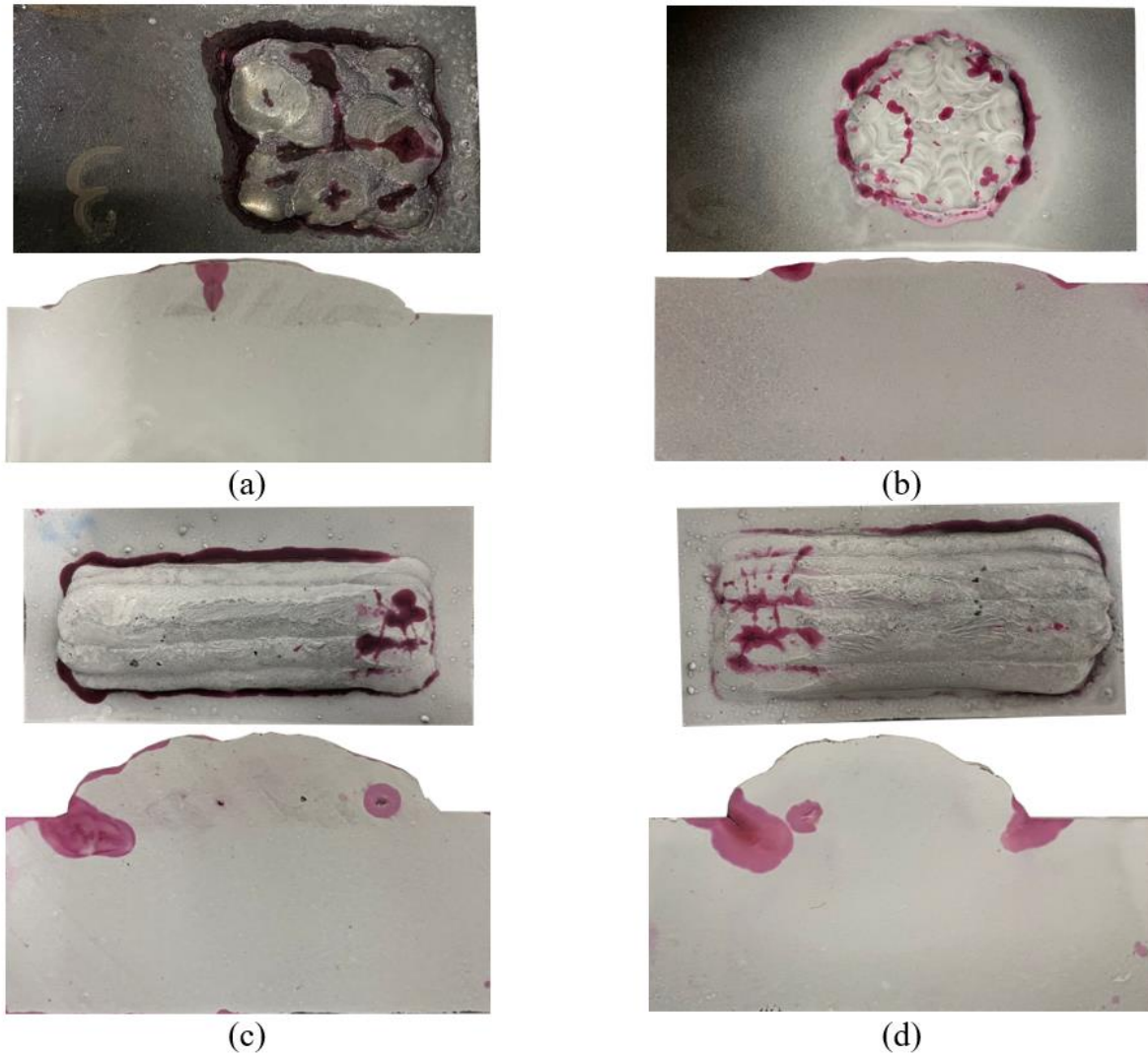


(d)

Obr. 62 Oblasti promíšení ZM/NV (a) Vzorek 1F, (b) Vzorek 2F, (c) Vzorek 3F, (d) Vzorek 4F.

4.3.1 Vyhodnocení penetrační zkoušky

V rámci penetrační zkoušky byl pro každý typ návaru vybrán reprezentativní vzorek určený k podrobnějšímu vyhodnocení. Ostatní vzorky této zkoušky jsou uvedeny v příloze 12. Postup přípravy a provedení penetrační zkoušky je podrobně popsán v kapitole 4.1.3. Pro zajištění objektivní výsledků byly všechny vzorky před zkouškou standartně odmaštěny a připraveny v souladu s metodikou postupu.

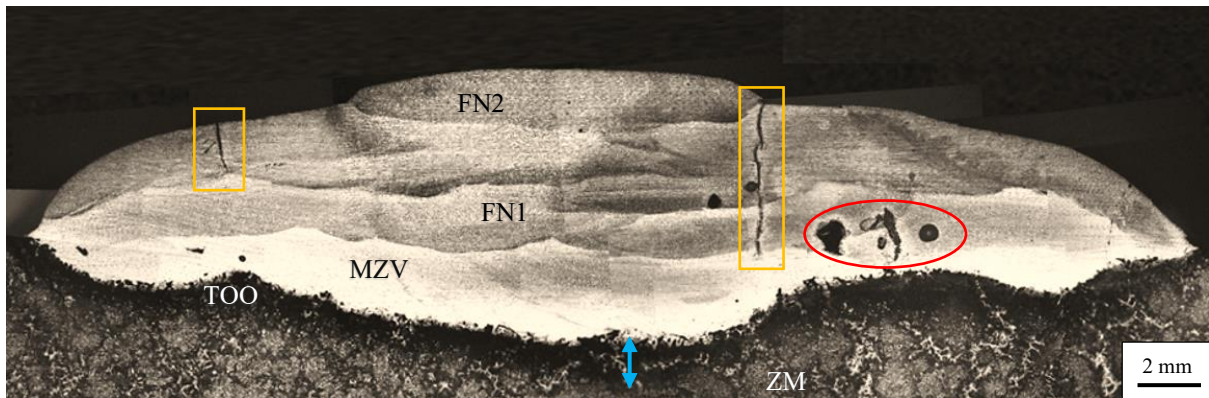


Obr. 63 Penetrační zkoušky (a) vzorek 1F, (b) vzorek 2F, (c) vzorek 3F, (d) vzorek 4F.

Penetrační zkoušky na obr. 63 prokázaly výskyt indikací u všech navařovaných vzorků. U metod vzorku 1F a 2F byly trhliny pozorovány především ve vrchních návarových housenkách, což je typické místo pro koncentraci pnutí. Vzorky 3F a 4F metody CMT vykazovaly nejvyšší výskyt vad. Na okrajích návarů se objevovaly zejména trhliny a směrem ke středu vzorků dále potom staženiny, které jsou důsledkem rychlého chladnutí, nebo špatným překrytím housenek. Vzorky 1F a 2F vykazovaly staženiny minimálně nebo vůbec.

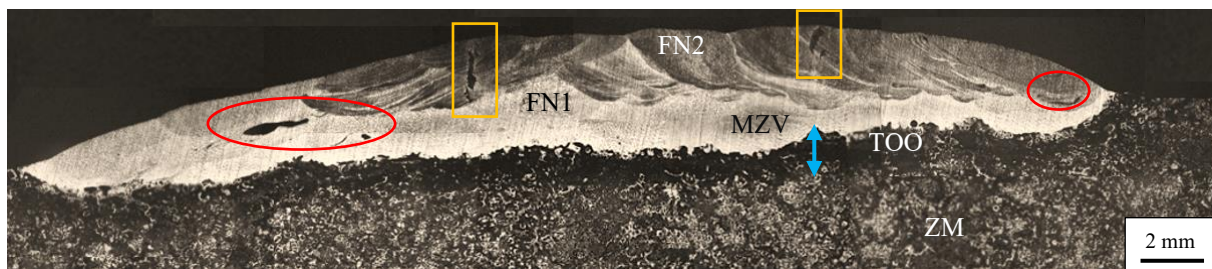
4.3.2 Zhodnocení makrostruktury

Na obr. 64 je zobrazen vzorek 1F, navařený metodou MMA. Všechny návarové vrstvy jsou dobře rozlišitelné, přičemž rozsah natavení se postupně zvyšuje směrem od okraje návaru ke středu. TOO má rovnoměrnou šířku a dosahuje do hloubky přibližně 1,5 mm, jak je znázorněno modrou šipkou. V oblastech vyznačených oranžovými rámečky byly identifikovány trhliny, jejichž vznik je pravděpodobně způsoben rychlým ochlazením a vysokou koncentrací pnutí v místech iniciace. V červeně označené oblasti se vyskytují staženiny, které mohly vzniknout v důsledku rychlého ochlazení nebo nedostatečného překrytí jednotlivých návarových housenek



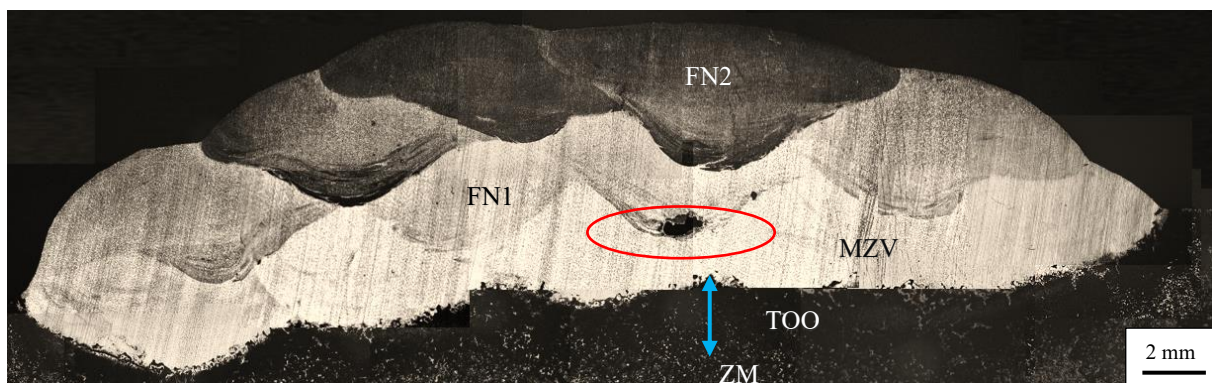
Obr. 64 Makrostruktura vzorku 1F v řezu, zvětšení 25,6×.

Vzorek 2F, navařený metodou TIG, je zobrazen na obr. 65. Jednotlivé svarové oblasti jsou dobře rozlišitelné, s výjimkou rozhraní MZV a FN1, kde vlivem výrazného promísení dochází k téměř nerozeznatelnému přechodu. V oblasti tvrdého návaru byly v oranžově vyznačených rámečcích identifikovány trhliny, které vznikly v důsledku pnutí během chladnutí. Červeně označené oblasti představují staženiny, pravděpodobně způsobené nedostatečným překrytím jednotlivých housenek. TOO je rovnoměrná v celém rozsahu a její průměrná šířka činí přibližně 1,5 mm.



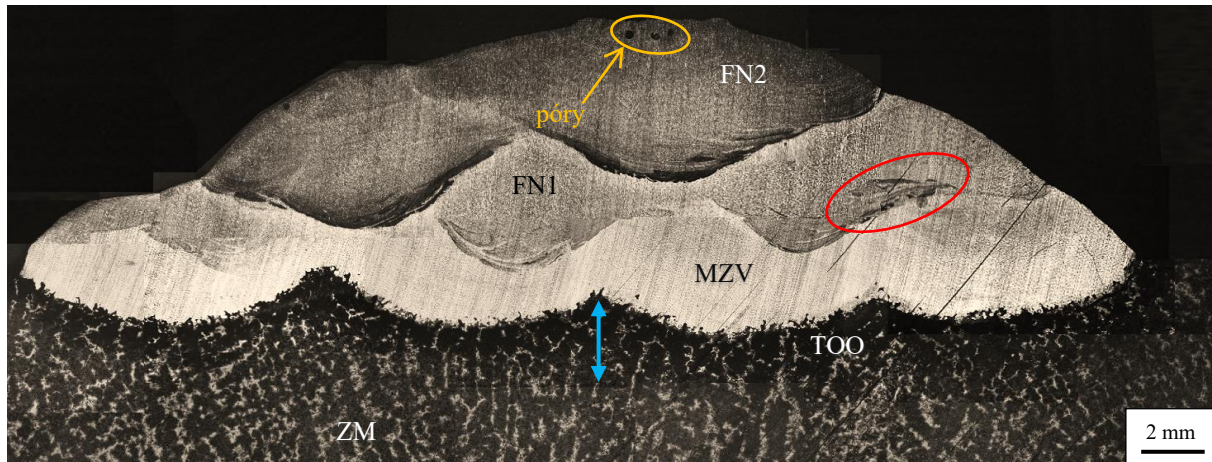
Obr. 65 Makrostruktura vzorku 2F v řezu, zvětšení 25,6×.

Na obr. 66 je znázorněn řez vzorku 3F, který byl navařen technologií CMT. Zvolený režim svařování vedl k minimálnímu promísení jednotlivých vrstev, což umožnilo jejich jasné rozlišení. Tmavě naleptané oblasti odpovídají vrchní vrstvě FN2, zatímco spodní vrstvy představují FN1 a MZV. TOO je po celé délce návaru rovnoměrná a dosahuje šířky přibližně 3 mm. V červeně označené oblasti byla zaznamenána výraznější staženina pravděpodobně opět v důsledku špatného kladení housenek. Stejným důvodem také vznikly na rozhraní mezi MZV a FN1 drobné mikrostaženiny.



Obr. 66 Makrostruktura vzorku 3F v řezu, zvětšení 25,6×.

Technologií CMT byl navařen také vzorek 4F, přičemž ochlazování probíhalo na vzduchu. I v tomto případě je patrné minimální promísení jednotlivých vrstev, které jsou dobře rozlišitelné. Tmavě naleptaná oblast odpovídá vrstvě FN1. Na rozhraní jednotlivých vrstev byly v červeně označených oblastech identifikovány mikrostaženiny. TOO dosahuje v nejširším místě přibližně 3 mm. Na povrchu návaru se navíc vyskytují póry, které mohou negativně ovlivnit mechanické vlastnosti návaru.

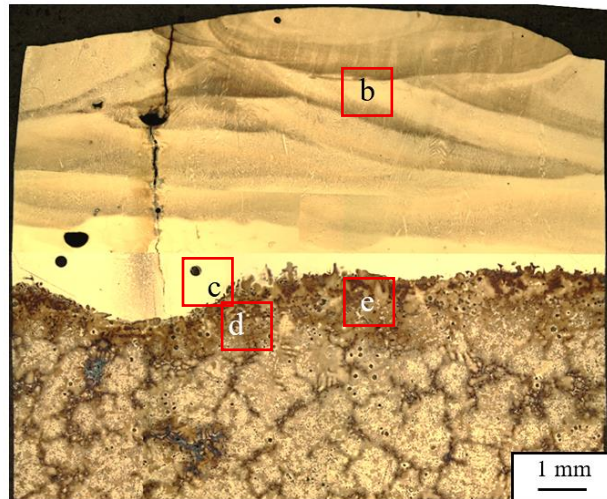


Obr. 67 Makrostruktura vzorku 4F v řezu, zvětšení 25,6×.

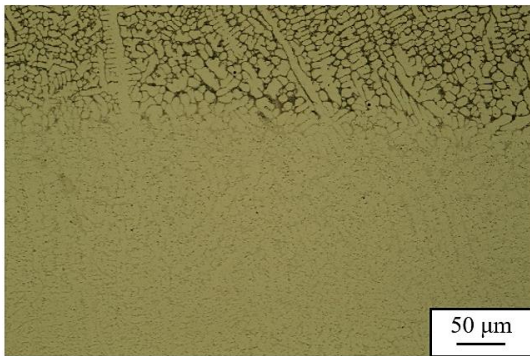
4.3.3 Mikrostruktury a tvrdosti finálních návarů

Charakteristické oblasti mikrostruktury vzorku 1F, navařeného metodou MMA, jsou znázorněny na obr. 68. Snímek (b) zachycuje rozhraní mezi jednotlivými návarovými vrstvami FN1 a FN2, přičemž v celé oblasti je patrná typická dendritická morfolgie svarového kovu. Rozdíly mezi jednotlivými vrstvami jsou zřetelně viditelné na základě odlišného zbarvení po leptání – tmavě naleptaná oblast odpovídá vrstvě FN2, zatímco světlejší oblast představuje FN1. Tato odlišnost v mikrostruktuře je dále potvrzena výsledky měření tvrdosti na obr. 69, kde tvrdost ve vrstvě FN2 dosahuje hodnot přibližně 600 HV do hloubky 1,5 mm. Pro ověření tvrdosti v celé ploše návaru FN2 byly provedeny měřicí vpichy po celém jeho povrchu viz obr. 70. Výsledky potvrdily rovnoměrné rozložení požadované tvrdosti v rámci návaru. Vpichy 1, 2 a 12, 13, 14 se nacházely v místech FN1, který byl promíšen s MZV.

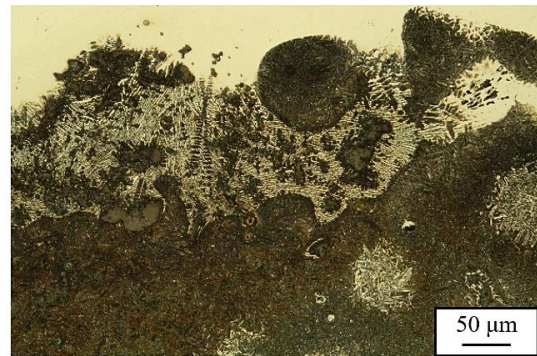
Rozhraní mezi MZV a TOO je zachyceno na snímku (c). V natavené zóně jsou patrná bíle zbarvená jehlicovitá zrna ledeburitu, která vznikla promísením MZV se ZM tvořeným feriticko-perlitickou matricí v okolí grafitických zrn. Směrem do základního materiálu došlo vlivem působení tepla k přehřátí oblasti a následným prudkým ochlazením ke změně struktury, což je zřetelně pozorovatelné na snímku (d). Tato mikrostrukturní přeměna je potvrzena také výsledky měření tvrdosti, uvedenými na obr. 69. V rámci teplem ovlivněné oblasti byly rovněž identifikovány tvrdé karbidické útvary (e), které lze pravděpodobně označit jako ledeburitické.



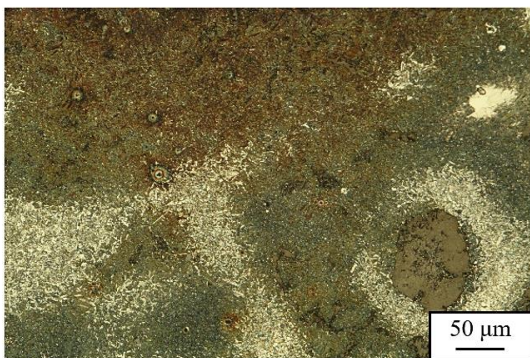
(a)



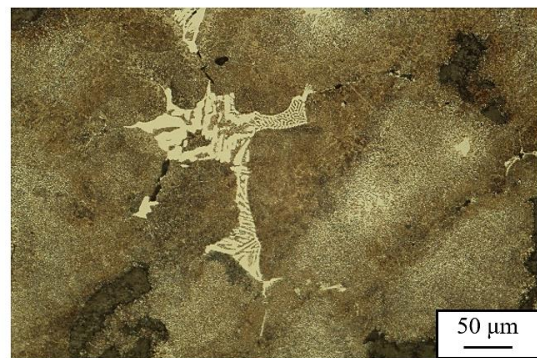
(b)



(c)

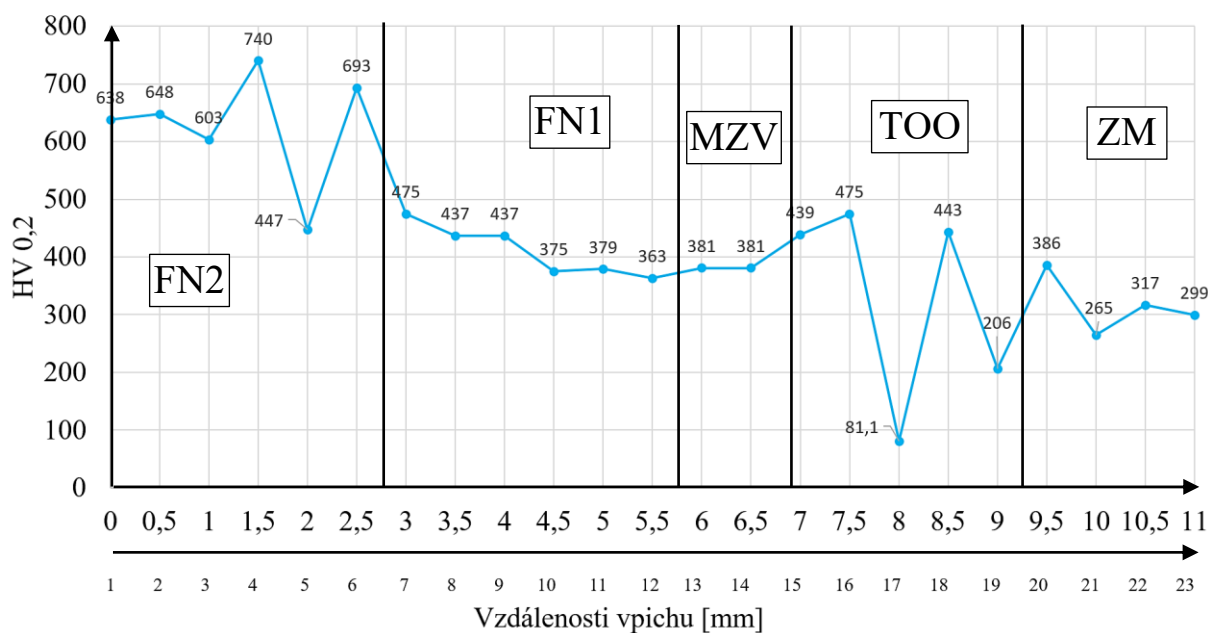


(d)

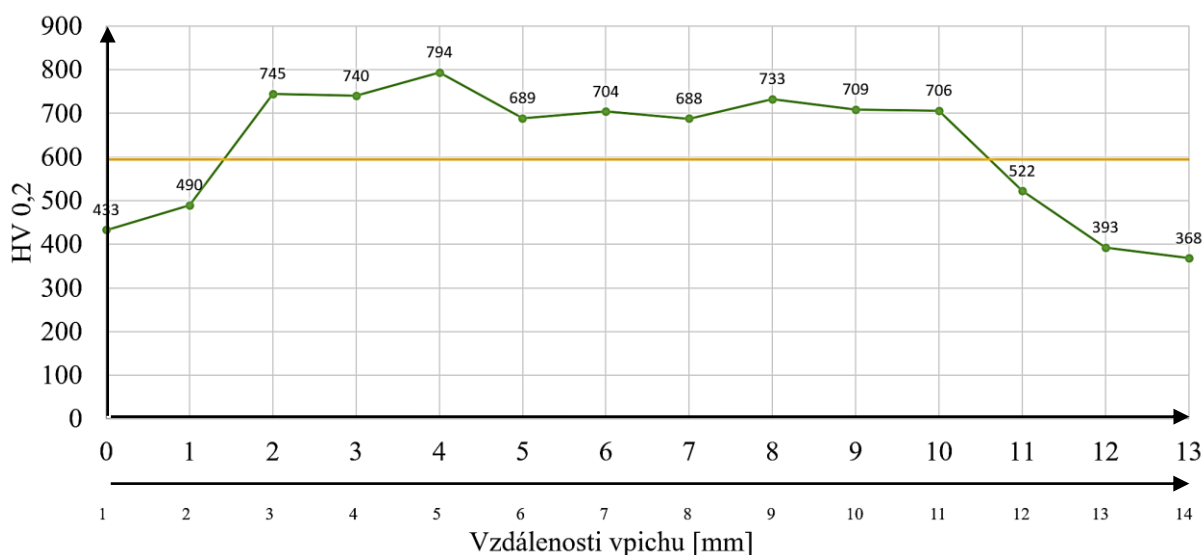


(e)

Obr. 68 Mikrostruktura vzorek 1F, leptání Kalling: (a) přehledový snímek 2 FN/MZV, (b) FN2/FN1, (c) MZV/ZM, (d) TOO (e) TOO leptání Nital.



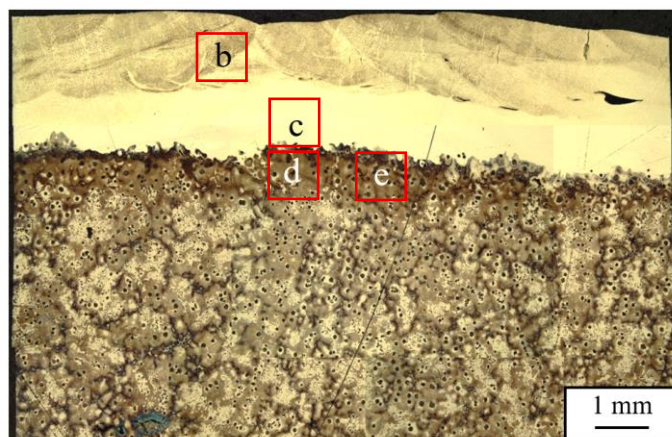
Obr. 69 Graf kolmo měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 1F.



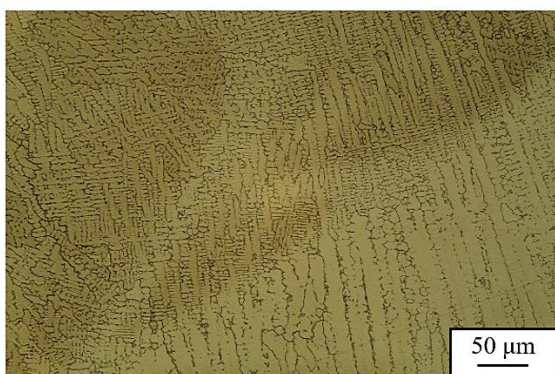
Obr. 70 Graf vodorovně měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 1F.

Na obr. 71 jsou zobrazeny snímky vzorku 2F, navařeného metodou MMA. Rozhraní FN2/FN1 (b) vykazuje odlišnosti v barevném naleptání, i když méně výrazné než u předchozího vzorku. Celá oblast vykazuje typickou dendritickou mikrostrukturu. Průměrná tvrdost ve vrstvě FN2 dosahuje hodnoty 282 HV graf obr. 72, což neodpovídá předepsaným požadavkům (příloha 3). Pro ověření rozložení tvrdosti byly provedeny měřicí vpichy v celé šířce vrstvy FN2, jak je znázorněno v grafu na obr. 73. Naměřené hodnoty se pohybují přibližně kolem 280 HV, což rovněž potvrzuje nedosažení požadované tvrdosti. Příčinou je pravděpodobně promísení s MZV.

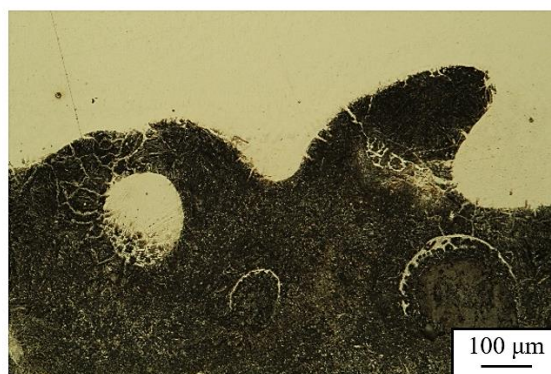
Na snímku (c) je zachyceno rozhraní mezi MZV a ZM, kde se vyskytují jemné jehlicovité útvary, avšak v menší míře než u vzorku 1F. Snímky (d) a (e), zachycující oblast směrem k ZM, vykazují zjemnění struktury v důsledku vysokého přehřátí tepelným zatížením při svařovacím procesu. Výskyt karbidických částic v této oblasti je zanedbatelný ve srovnání s metodou MMA u vzorku 1F.



(a)



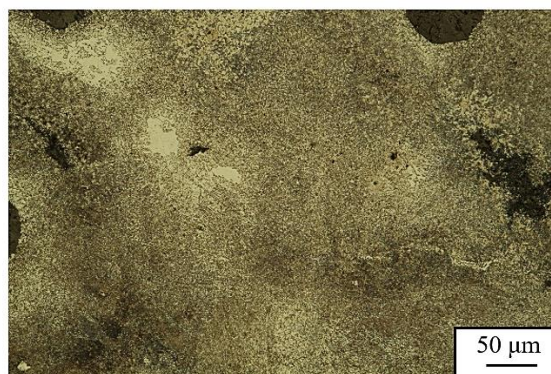
(b)



(c)

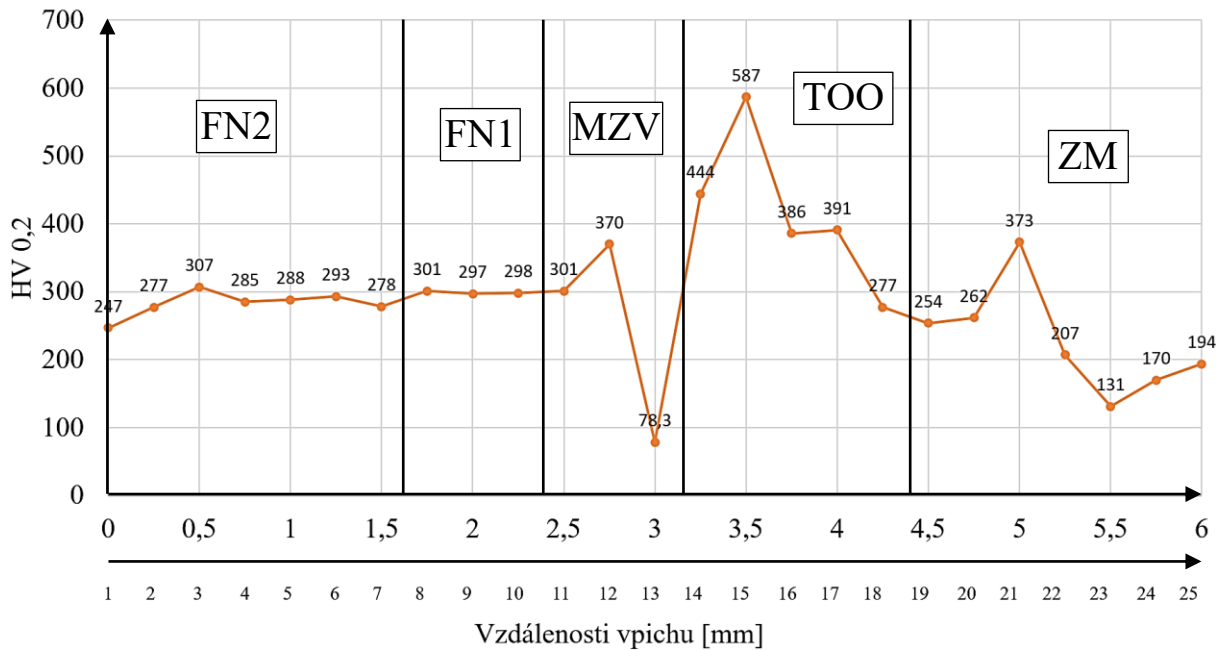


(d)

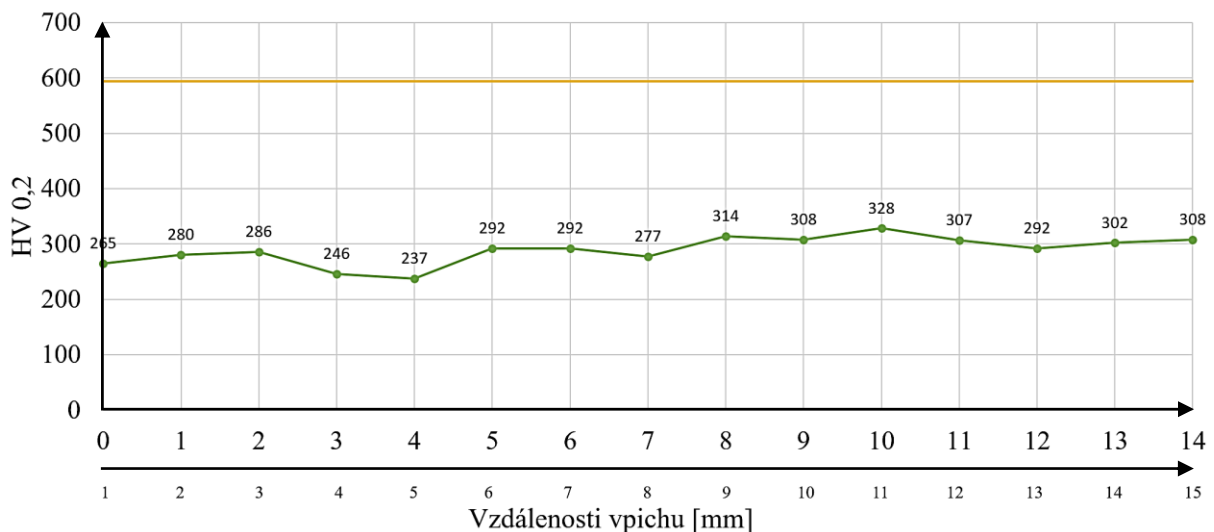


(e)

Obr. 71 Mikrostruktura vzorek 2F, leptání Kalling: (a) přehledový snímek 2 FN/MZV, (b) FN2/FN1, (c) MZV/ZM, (d) TOO (e) TOO leptání Nital.



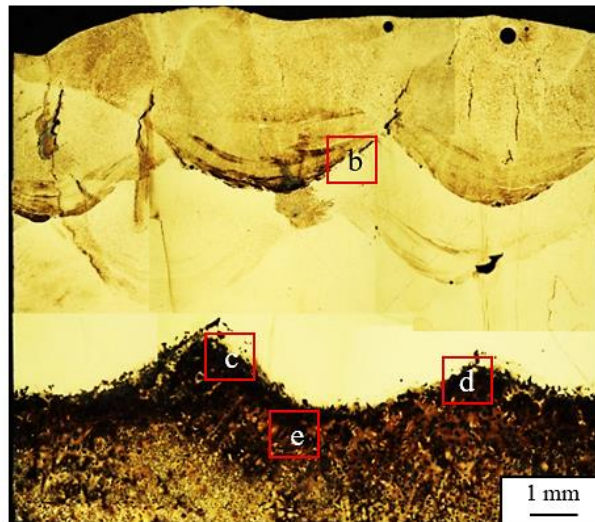
Obr. 72 Graf kolmo měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 2F.



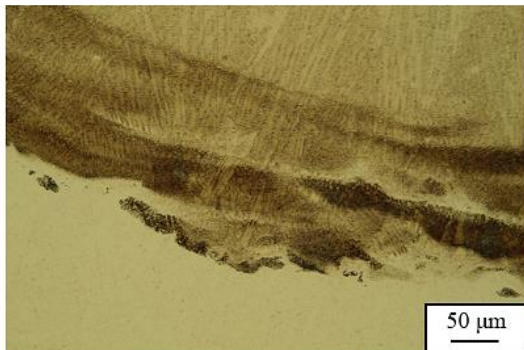
Obr. 73 Graf vodorovně měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 2F.

Mikrostruktura návaru provedeného technologií CMT je zobrazena na obr. 74. Snímek (b) zachycuje rozhraní mezi vrstvami FN2 a FN1, přičemž je patrné rozdílné zabarvení po leptání, které umožňuje jejich vzájemné rozlišení. Dendritická struktura ve vrstvě FN2 je jemnější než u předchozích dvou vzorků. Naměřená tvrdost ve vrstvě FN2 se pohybovala okolo 280 HV (obr. 75). Pro ověření tvrdosti v celém rozsahu návaru byly provedeny vpichy v obou vrstvách (FN1 a FN2). V žádné z měřených linií nebylo dosaženo požadované tvrdosti. Průměrná hodnota ve vrstvě FN2 činila 285 HV, zatímco ve vrstvě FN1 byla o něco vyšší, přibližně 323 HV (obr. 76).

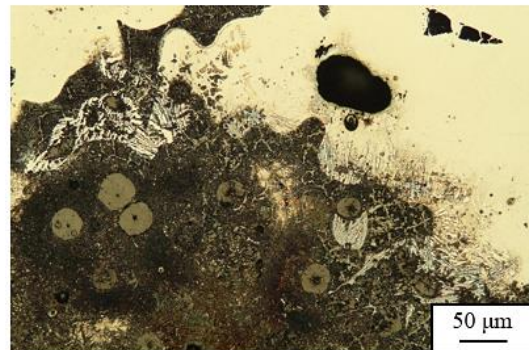
Na snímku (c), zobrazujícím rozhraní mezi MZV a ZM, byly pozorovány jehlicovité útvary, které mohou nepříznivě ovlivnit mechanické vlastnosti návaru. Směrem do základního materiálu došlo v důsledku působení tepla ze svařování k přehřátí oblasti a ke zjemnění mikrostruktury, což vedlo ke zvýšení tvrdosti, jak je patrné z výsledků měření uvedených v grafu na obr. 75. Na rozdíl od předchozích metod se v TOO vytvořily výraznější jehlicovité útvary, které jsou zřetelně viditelné na snímcích (d) a (e).



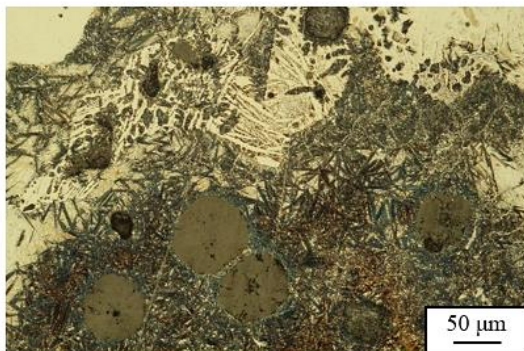
(a)



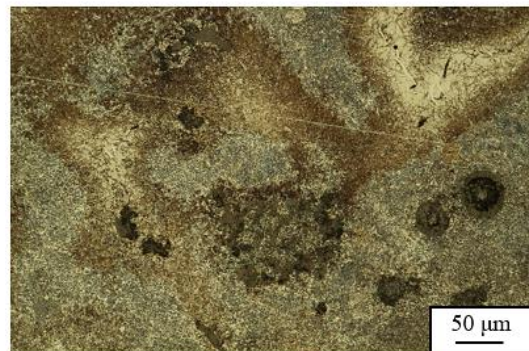
(b)



(c)

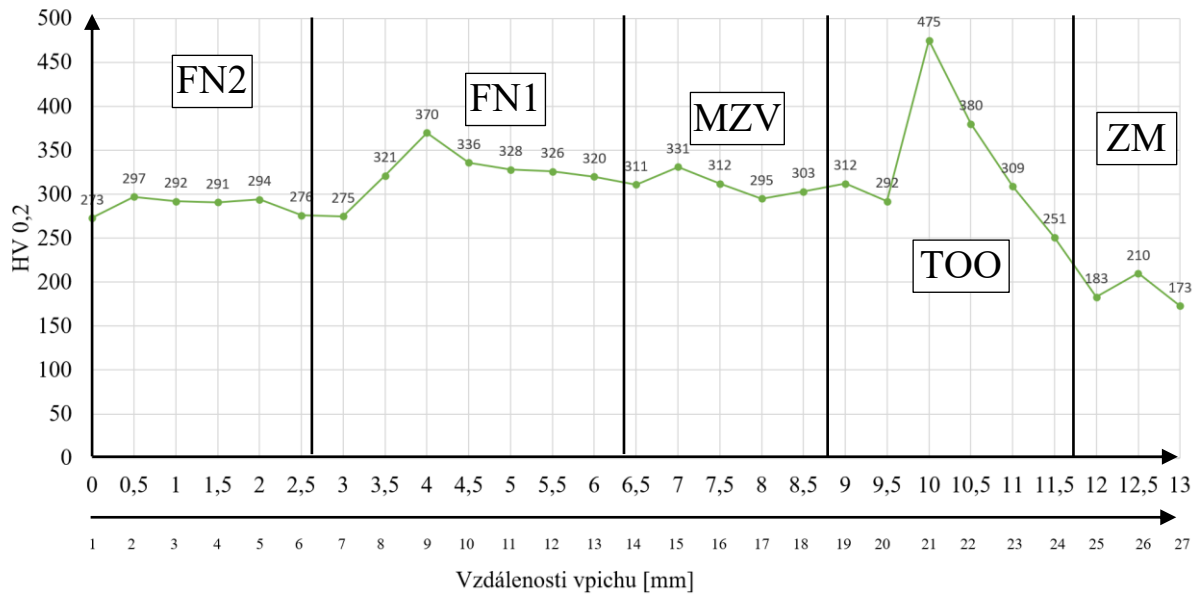


(d)

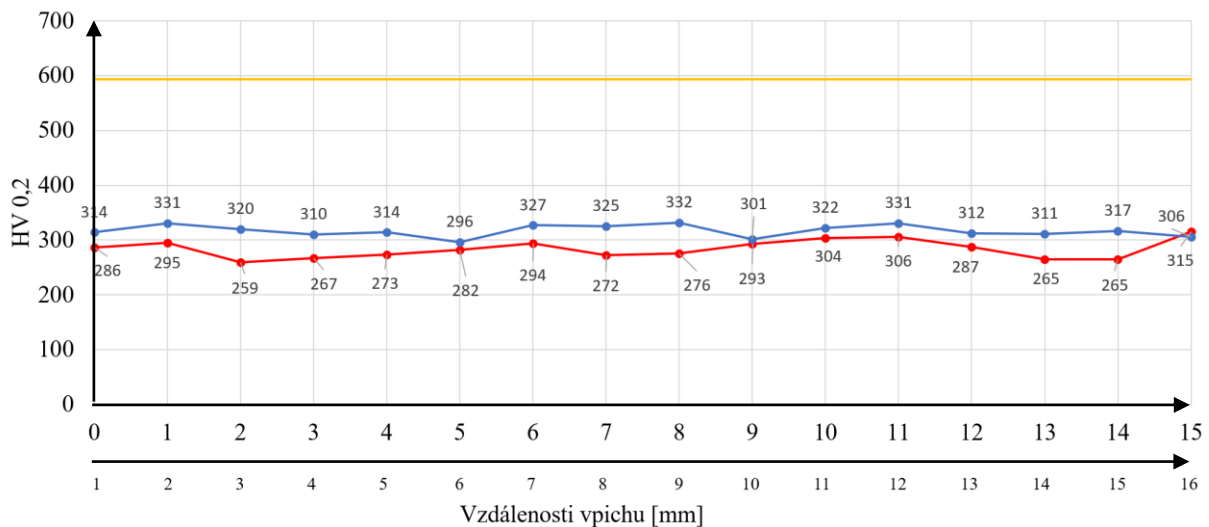


(e)

Obr. 74 Mikrostruktura vzorek 3F, leptání Kalling: (a) přehledový snímek 2 FN/MZV, (b) FN2/FN1, (c) MZV/ZM, (d) MZV/ ZM, (e) TOO leptání Nital.



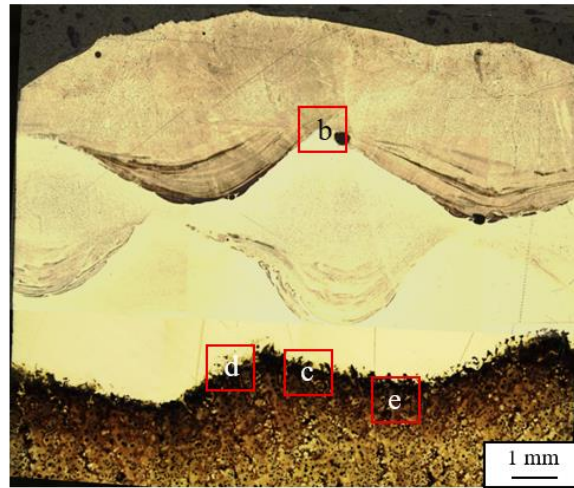
Obr. 75 Graf kolmo měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 3F.



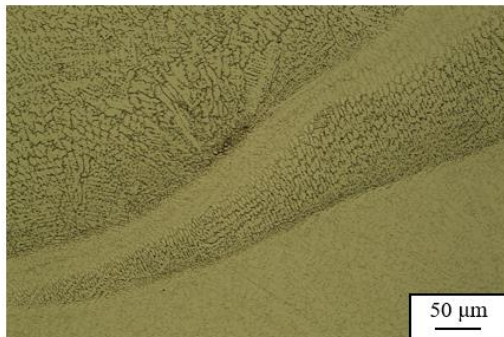
Obr. 76 Graf vodorovně měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 3F.

Jako poslední byl navrašen vzorek 4F, zobrazený na obr. 77. Použitá technologie CMT byla v tomto případě aplikována bez přehřevu, přičemž ochlazování probíhalo volně na vzduchu. Rozhraní mezi vrstvami FN2 a FN1, zachycené na snímku (b), vykazuje hrubší dendritickou mikrostrukturu ve srovnání se vzorkem 3F. Přesto se průměrná tvrdost ve vrstvě FN2 pohybovala na podobné úrovni – konkrétně 265 HV viz graf na obr. 78. Dále byla provedena kontrolní měření tvrdosti obou finálních vrstev, jejichž výsledky ukázaly hodnoty kolem 300 HV, což opět neodpovídá požadované tvrdosti (obr. 79).

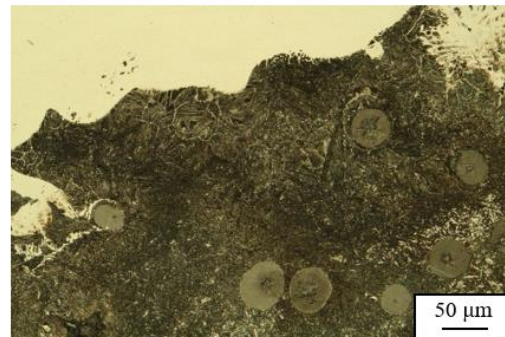
Snímky (c) a (d) zobrazují rozhraní MZV a ZM, kde byl obdobně jako u vzorku 3F zaznamenán výskyt jehlicovitých útvarů. Tvrdost v oblasti TOO směrem k základnímu materiálu opět narůstala, jak je doloženo na obr. 78. Tento nárůst je způsoben tepelným ovlivněním, které vedlo ke změně struktury ZM.



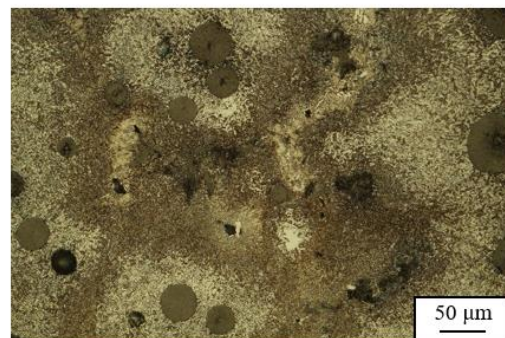
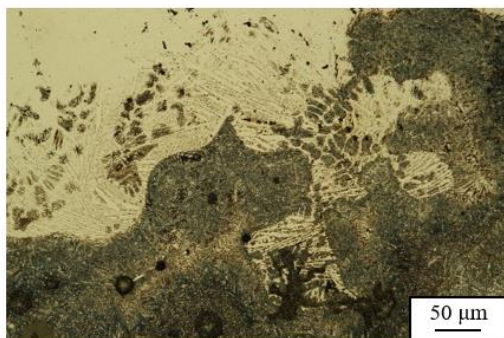
(a)



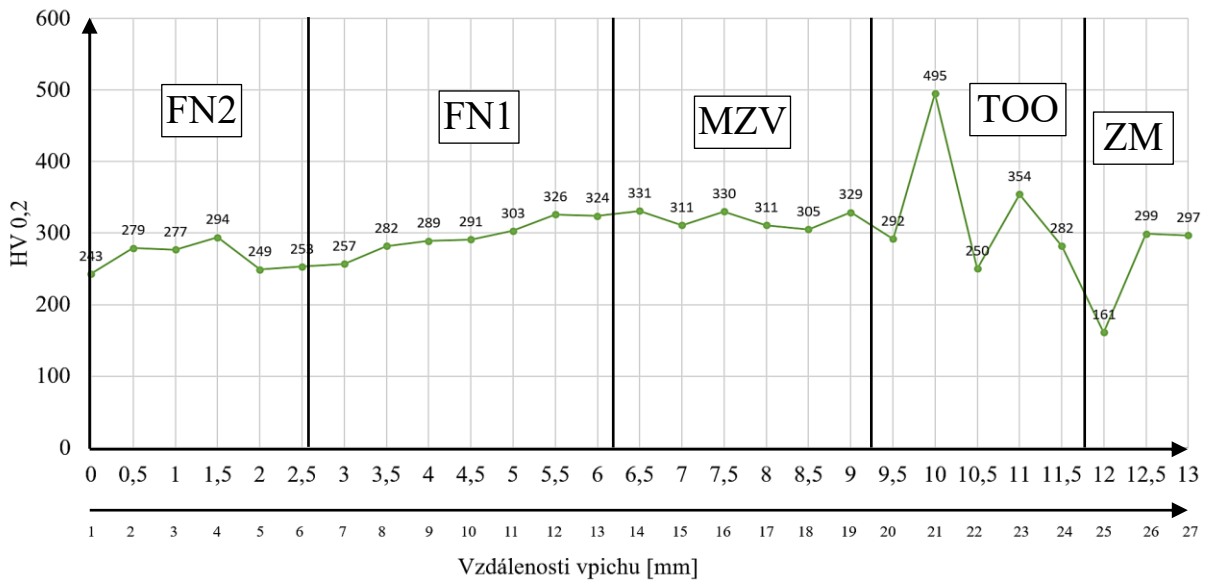
(b)



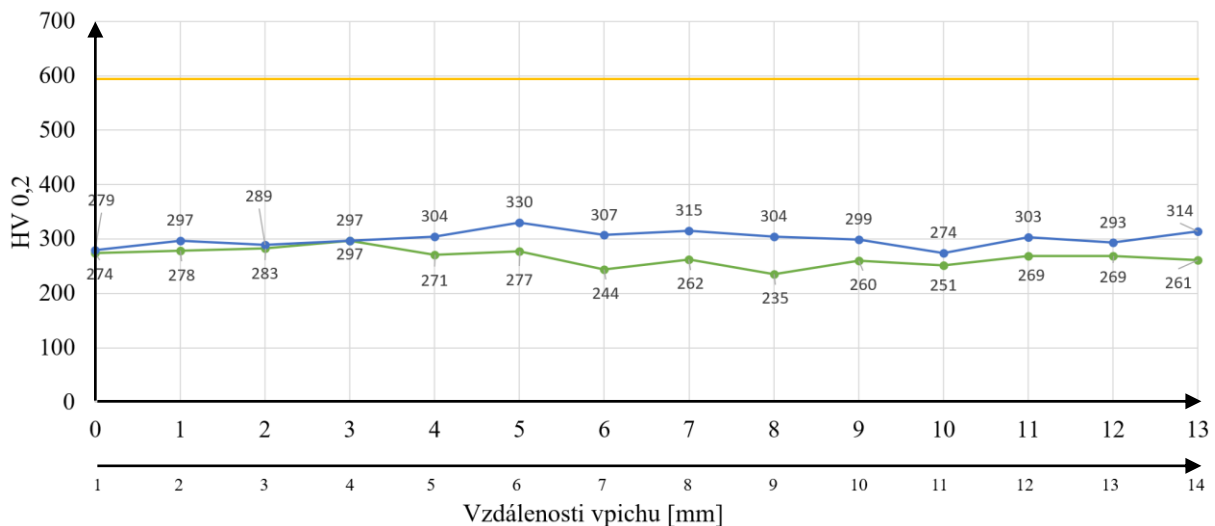
(c)



Obr. 77 Mikrostruktura vzorek 4F, leptání Kalling: (a) přehledový snímek 2 FN/MZV, (b) FN2/FN1, (c) MZV/ZM, (d) MZV/ ZM, (e) TOO leptání Nital.



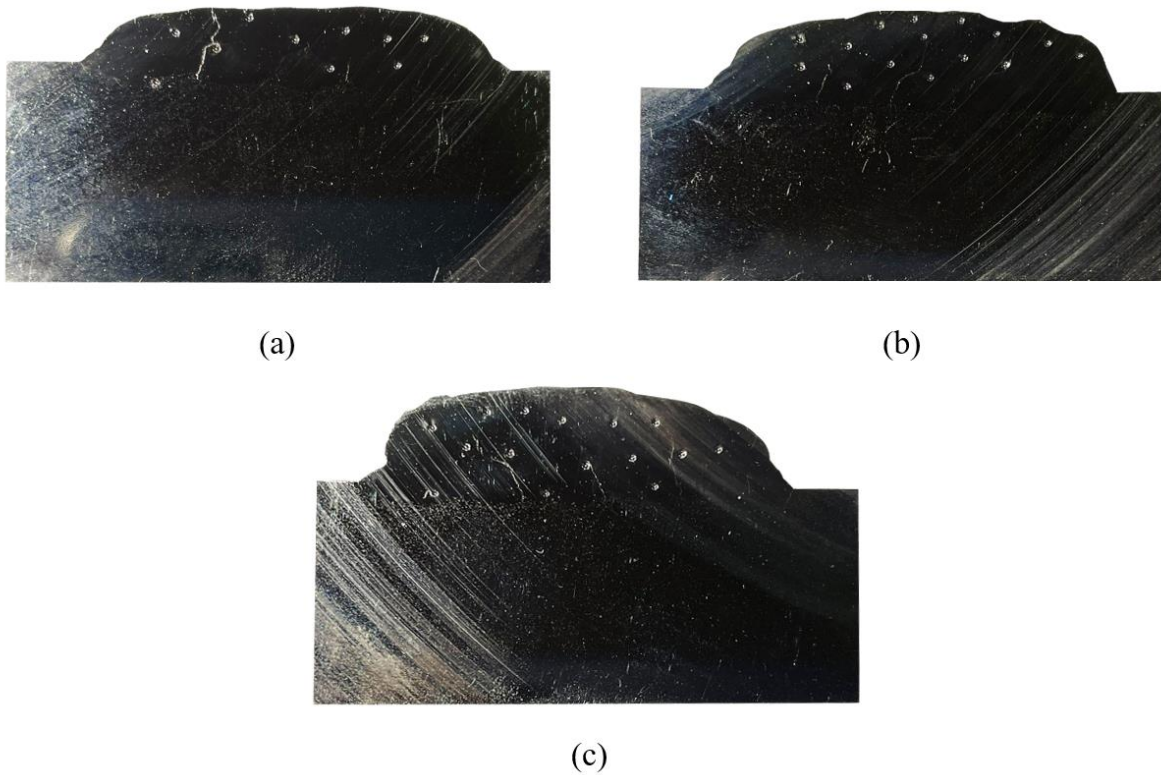
Obr. 78 Graf kolmo měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 4F.



Obr. 79 Graf vodorovně měřených tvrdostí jednotlivých vpichů, vzorek 4F.

Na základě předpokládaného nízkého vneseného tepla a nízkého promísení charakteristického pro režim CMT bylo očekáváno, že právě touto technologií bude možné dosáhnout požadovaných hodnot tvrdosti návaru. Vzhledem k tomu, že nedošlo k dosažení požadovaných výsledků tvrdosti, jak bylo uvedeno výše v této kapitole, bylo na závěr experimentální části provedeno ověřovací navaření tří zkušebních vzorků viz obr. 80. Na vzorek 1R byly navařeny dvě vrstvy FN1/FN2, přičemž ochlazování probíhalo na vzduchu. Vzorky 2R a 3R byly opatřeny třemi vrstvami FN1/FN2/FN3, vzorek 2R byl opět ochlazován na vzduchu, zatímco vzorek 3R byl bezprostředně po navaření prudce ochlazen ve vodní lázni. Po ochlazení byly vzorky podrobeny metalografickému rozboru, v rámci kterého byly provedeny řezy a následně měřena tvrdost dle Rockwella. Výsledky jsou uvedeny v tab. 16. Ve všech případech nebylo v horních vrstvách dosaženo požadované tvrdosti 55 HRC.

Jediný rozdíl vůči ostatním měl vzorek 3R, u něhož bylo v důsledku rychlého ochlazení ve vodě dosaženo tvrdosti až o 10 HRC vyšší. Výsledky naznačují, že chemické složení použitého návarového drátu není vhodné k dosažení udávané tvrdosti dané výrobcem (příloha 7) při použití režimu CMT. Zároveň tato zjištění vyvracejí původní předpoklad, že by přítomnost austenitické mezivrstvy měla zásadní vliv na nedosažení tvrdosti díky promísení s FN2/FN3.



Obr. 80 Vtisky Rockwella (a) vzorek 1R, (b) vzorek 2R, (c) vzorek 3R

Tab. 16 Měření tvrdosti vzorků dle Rockwella.

Vzorek	Měření 1 [HRC]	Měření 2 [HRC]	Měření 3 [HRC]	Měření 4 [HRC]	Měření 5 [HRC]	Měření 5 [HRC]	Průměrná [HRC]
1R (FN2)	23	21	25	20	24	22	22,5
2R (FN2)	22	20	23	21	24	21	21,8
2R (FN3)	25	22	27	24	28	21	24,5
3R (FN2)	25	23	22	24	21	20	22,5
3R (FN3)	33	35	31	36	30	22	31,2

Pro lepší přehled a porovnání výsledků jednotlivých kombinací metod a použitých drátů byla sestavena souhrnná tab. 17. Tabulka obsahuje přehled hlavních parametrů vyhodnocování. Řádek se zkratkou (V/N) značí, zda litina z hlediska tvrdosti vyhovuje/nevyhovuje. V posledním řádku tabulky je uvedeno hodnocení výsledků trhlin, vyjádřené pomocí symbolu hvězdičky. Jedna hvězdička značí že nebyl zaznamenán výrazný výskyt trhlin, zatímco pět hvězdiček představuje největší četnost v rámci všech hodnocených vzorků.

Tab. 17 Shrnutí výsledků.

Technologie	TIG	MMA	TIG	CMT	CMT
Dráty	RC 58 RC 252	1709 S 1960	RC 63 RC 252	M 760 A A 1960	M 760 A A 1960
Vzorek č.	2	1F	2F	3F	4F
Počet vrstev (FN)	2				
Ochlazovací médium	Křemičitý písek				Vzduch
Velikost TOO (mm)	2,0	1,5		3,0	
Promísení (%)	22,3	19,1	17,6	26,5	19,4
Tvrdost v FN (HV _{0,2})	671	622,4	288,9	283,7	266,5
Tvrdost ve FN (V/N)	V		N		
Tvrdost v TOO (HV 0,2)	350,8	328,8	417	336,5	334,6
Zhodnocení trhlin	*****	***	**	*	*

ZÁVĚR

Hlavním cílem této diplomové práce bylo posoudit vhodnost vybraných metod obloukového svařování pro navařování litin. Jako základní materiál byla zvolena litina s kuličkovým grafitem s označením GJS 700-2. Řešení problematiky bylo rozděleno do dvou hlavních fází. V první fázi byl realizován vstupní experiment, jehož cílem bylo ověřit technologickou proveditelnost navařování a stanovit optimální postup pro navařování. Během této části byly metodou TIG navařeny čtyři zkušební vzorky s různou konfigurací vrstev. Vzorek 1 obsahoval pouze MZV, vzorek 2 byl zhotoven v konfiguraci MZV + FN1/FN2, vzorek 3 ve variantě MZV+FN1 a vzorek 4 obsahoval pouze tři housenky FN. Vzorky 1 a 4 sloužily k porovnání mikrostruktur bez vlivu promísení mezi MZV a FN. Druhá fáze se zaměřila na zhotovení finálních vzorků s využitím vybraných metod MMA, TIG a MIG/MAG v režimu CMT. Tyto vzorky byly podrobeny penetračním zkouškám a následně destruktivním zkouškám makrostruktury, mikrostruktury a měření tvrdosti dle Vickerse. Na závěr byl proveden doplňkový experiment, při němž byly režimem CMT zhotoveny návary tvořené výhradně tvrdými vrstvami, které byly podrobeny měření tvrdosti dle Rockwella za účelem ověření deklarovaných, resp. požadovaných tvrdostí.

Vstupní experiment byl realizován s cílem optimalizovat navařovací parametry a stanovit vhodný postup pro provedení finálního experimentu. Zkušební vzorky z první fáze byly podrobeny analýze makrostruktury, přičemž vzorky 2 a 3 vykazovaly nejvyšší výskyt vad ve formě staženin a trhlin. Naopak u vzorku 1, tvořeného pouze MZV, se vady téměř nevyskytovaly, výsledek je přičítán vysokému obsahu niklu v návarovém materiálu, který vedl k vytvoření stabilní austenitické struktury s vyšší odolností proti vzniku trhlin. Přestože se u vzorků 2, 3 trhliny objevovaly zejména v důsledku rychlého odvodu tepla skrze MZV a ZM, jejich výskyt lze omezit vhodně zvoleným přehřevem a řízeným ochlazováním. Nicméně, z hlediska požadavku na tvorbu tvrdé struktury v horním návaru je žádoucí dosáhnout vyšších rychlostí ochlazování.

Za nejpříznivější výsledek vstupního experimentu lze označit vzorek 2 navařený technologií MMA, u kterého byla ve vrstvě FN2 dosažena požadovaná tvrdost. Při detailním měření v celé šířce návaru však bylo zjištěno, že odpovídající tvrdosti dosahovaly pouze poslední tři navařené housenky. Ve zbylých oblastech pravděpodobně došlo ke snížení tvrdosti v důsledku vyžhání způsobeného tepelným ovlivněním předešlých návarů. Vrstva FN1 u vzorků 2 a 3 nedosahovala požadované tvrdosti, což bylo způsobeno kombinací promísení s MZV a vyžháním díky teplotám od dalších navařených housenek. Na základě těchto poznatků byla pro finální experiment zvolena konfigurace návaru s MZV a dvou vrstev návaru FN1 + FN2. Zároveň byly sníženy interpass teploty z původních 600 °C na 450 °C s cílem minimalizovat vyžhání postupně kladených housenek. Pro finální návary byly vybrány dostupné dráty na základě jejich chemického složení a deklarovaných mechanických vlastností.

Ve fázi hlavního experimentu byly zhotoveny čtyři vzorky pomocí výše uvedených metod navařování, tj. MMA, TIG a MIG/MAG v režimu CMT. Bezprostředně po navaření a ochlazení byly na všech vzorcích provedeny penetrační zkoušky za účelem detekce povrchových a vnitřních vad. U vzorků byl zaznamenán výskyt trhlin po obvodu návarů, přičemž jejich vznik byl způsoben přetečením tvrdého svarového kovu přes MZV a následným kontaktem se ZM. V těchto místech docházelo k výraznému napětí, které vedlo k vzniku trhlin. Pro upřesnění rozsahu vad byly na vzorcích provedeny řezy, které penetrační zkouškou ukázaly, že nejmenší rozsah a velikost trhlin byl u vzorků 1F a 2F, zatímco nejvýraznější výskyt trhlin byl pozorován u vzorků 3F a 4F zhotovených režimem CMT. Řešením tohoto problému je úprava geometrie návarové plochy. Jedná se o vyfrézování kapsy v místě návaru, která by zamezila nežádoucímu přetékání tvrdého kovu mimo oblast MZV. V místech s rizikem přetečení by dále bylo vhodné rozšířit oblast pro navaření mezivrstvy, aby bylo zajištěno její rovnoměrné a dostatečné krytí.

Destruktivními zkouškami makrostruktury byly u vzorků 1F a 2F identifikovány trhliny v oblasti finální vrstvy FN2, které vznikly v důsledku pnutí při ochlazování svarového kovu. U vzorků 3F a 4F, zhotovených technologií CMT, trhliny ve svarovém kovu indikovány nebyly. U všech hodnocených vzorků se však vyskytovaly (mikro)staženiny, jejichž vznik je s vysokou pravděpodobností spojen s nedostatečným překrytím návarových housenek. Za účelem snížení výskytu trhlin je doporučeno optimalizovat postup ochlazování. Z hlediska omezení výskytu staženin je klíčové upravit technologii kladení housenek tak, aby bylo zajištěno rovnoměrné překrytí bez vzniku dutin.

Posledními provedenými zkouškami na zhotovených vzorcích byly analýzy mikrostruktury a měření tvrdosti. Vzorek 1F, navařený metodou MMA, dosahoval požadovaných hodnot tvrdosti ve vrstvě FN2. Z hlediska mikrostruktury byla finální vrstva tvořena dendritickou strukturou, přičemž tmavé oblasti mezi dendrity by měly obsahovat karbidy. Vzorek 2F, navařený metodou TIG s použitím odlišného návarového drátu než ve vstupním experimentu, vykazoval nižší tvrdost finální vrstvy, než byla požadována. Pravděpodobnou příčinou byla absence vyššího množství legujících prvků, především wolframu v chemickém složení drátu.

Vzorky 3F a 4F byly navařeny shodným režimem CMT, přičemž hlavní rozdíl byl v navaření vzorku 4F bez předehřevu. Finální vrstvy obou vzorků vykazovaly shodnou dendritickou mikrostrukturu a srovnatelné hodnoty tvrdosti, které však nedosahovaly požadovaných vlastností. Odlišnosti byly zaznamenány v oblasti rozhraní MZV a ZM. U vzorku 3F, navařeného s předehřevem, došlo k částečné stabilizaci martenziticko-bainitické struktury v oblasti TOO na rozhraní v důsledku pomalejšího ochlazování, což způsobilo krátkodobou výdrž v oblasti teplot bainitické přeměny. Vzorek 4F takové chování nevykazoval a jeho mikrostruktura TOO byla shodná s vzorky 1F a 2F.

Na rozhraní MZV/ZM byla u všech vzorků vytvořena jehlicovitá ledeburitcká struktura, která by mohla vést k delaminaci návaru v této oblasti. Nejmenší zastoupení ledeburitu bylo u vzorku 2F. Pravděpodobně díky malému natažení a promíšení se ZM.

Z porovnání metod MMA, TIG a CMT vyplývá, že nejvhodnější pro danou aplikaci je metoda MMA, a to i přes výskyt trhlin, které jsou při dané aplikaci akceptovatelné. Konfigurace metodou TIG navařená na vzorek 2 ze vstupního experimentu, který nebyl předmětem porovnání, by mohla být rovněž vhodná při úpravě interpass teploty nebo přidáním třetí vrstvy FN. Režim CMT ve zvolené konfiguraci nevyhovoval, protože použitý drát neobsahoval dostatek legujících prvků potřebných pro vytvoření tvrdého samokalitelného návaru tímto svařovacím režimem, což potvrdil i závěrečný experiment, který vyloučil ovlivnění MZV. Vzhledem k absenci trhlin ve FN by však při použití vhodnějšího drátu mohl být CMT režim perspektivní variantou a bylo by vhodné provést další výzkum.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SOTOLÁŘ, Vojtěch. *Posouzení vhodnosti svařovacích režimů MIG PULSE a MIG DOUBLE PULSE na opravy kovacích zápustek*. Brno, 2023. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
 2. ORŁOWICZ, A., M. RADOŃ, M. LENIK a G. WNUK. Usage of the Cast Iron Cylindrical Liner in an Automobile Engine Block. *Archives of Foundry Engineering* [online]. 2024, (24), 159-163 [cit. 2025-05-08]. ISSN 2299-2944. Dostupné z: doi:10.24425/afe.2024.149284
 3. SHIRANI, M. a G. HÄRKEGÅRD. Casting defects and fatigue behaviour of ductile cast iron for wind turbine components: A comprehensive study. *Materialwissenschaft und Werkstofftechnik* [online]. 2011, 42(12), 1059-1074 [cit. 2025-05-08]. ISSN 0933-5137. Dostupné z: doi:10.1002/mawe.201100911
 4. ŽUK, M, J GÓRKA, R DOJKA a A CZUPRYŃSKI. Repair welding of cast iron coated electrodes. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* [online]. 2017, 2017-08-01, 227, 1-8 [cit. 2025-05-08]. ISSN 1757-8981. Dostupné z: doi:10.1088/1757-899X/227/1/012139
 5. RIAHI, A.R. a A.T. ALPAS. Wear map for grey cast iron. *Wear* [online]. 2003, 255(1-6), 401-409 [cit. 2025-05-08]. ISSN 00431648. Dostupné z: doi:10.1016/S0043-1648(03)00100-5
 6. GERMANN, Holger, Peter STARKE, Eberhard KERSCHER a Dietmar EIFLER. Fatigue behaviour and lifetime calculation of the cast irons EN-GJL-250, EN-GJS-600 and EN-GJV-400. *Procedia Engineering* [online]. 2010, 2(1), 1087-1094 [cit. 2025-05-08]. ISSN 18777058. Dostupné z: doi:10.1016/j.proeng.2010.03.117
 7. NGQASE, Mbulelo a Xiaowei PAN. An Overview on Types of White Cast Irons and High Chromium White Cast Irons. *Journal of Physics: Conference Series* [online]. 2020, 2020-03-01, 1495(1), 1-13 [cit. 2025-05-08]. ISSN 1742-6588. Dostupné z: doi:10.1088/1742-6596/1495/1/012023
 8. GÓRKA, Jacek a Marcin ŽUK. MMA Repair Welding of Nodular Cast Iron GJS 350-22. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* [online]. 2018, 2018(3), 45-50 [cit. 2025-05-08]. ISSN 0867583X. Dostupné z: doi:10.17729/ebis.2018.3/4
 9. ABIMA, Cynthia Samuel, Stephen Akinwale AKINLABI, Nkosinathi MADUSHELE a Esther Titilayo AKINLABI. Comparative study between TIG-MIG Hybrid, TIG and MIG welding of 1008 steel joints for enhanced structural integrity. *Scientific African* [online]. 2022, 17(17), 1-18 [cit. 2025-04-08]. ISSN 24682276. Dostupné z: doi:10.1016/j.sciaf.2022.e01329
 10. GÓRKA, Jacek a Marcin ŽUK. MMA Repair Welding of Nodular Cast Iron GJS 350-22. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa* [online]. 2018, 2018(3), 45-50 [cit. 2025-05-02]. ISSN 0867583X. Dostupné z: doi:10.17729/ebis.2018.3/4
 11. MARTÍNEZ ALCÓN, Jorge, Manuel PASCUAL GUILLAMÓN, Lorenzo SOLANO GARCÍA a Fidel SALAS VICENTE. Análisis mecánico y microestructural en soldadura de fundición dúctil, mediante procedimiento TIG, con diferentes materiales de aporte y enfriamiento al aire. *Revista de Metalurgia* [online]. 2021, 2021-06-30, 57(2), 1-7 [cit. 2025-05-02]. ISSN 1988-4222. Dostupné z: doi:10.3989/revmetalm.194
 12. CHONDROS, T.G. a A.D. DIMAROGONAS. Identification of cracks in welded joints of complex structures. *Journal of Sound and Vibration* [online]. 1980, 69(4), 531-538 [cit. 2025-05-08]. ISSN 0022460X. Dostupné z: doi:10.1016/0022-460X(80)90623-9
-

-
13. ČANŽAR, P., Z. TONKOVIĆ a J. KODVANJ. Microstructure influence on fatigue behaviour of nodular cast iron. *Materials Science and Engineering: A* [online]. 2012, 556(556), 88-99 [cit. 2025-05-08]. ISSN 09215093. Dostupné z: doi:10.1016/j.msea.2012.06.062
 14. BLEICHER, Christoph, Steffen SCHOENBORN a Heinz KAUFMANN. An investigation on the fatigue strength of repair welded nodular cast iron for heavy sections. *Procedia Structural Integrity* [online]. 2023, 47, 478-487 [cit. 2025-05-01]. ISSN 24523216. Dostupné z: doi:10.1016/j.prostr.2023.07.076
 15. DHARMIK, Bhushan Y. a Nitin Kumar LAUTRE. CMT and GTA welding on microstructural characteristics and magnetic performance of thin CRNO electrical steel sheets. *Materials Chemistry and Physics* [online]. 2023, 295 [cit. 2025-05-08]. ISSN 02540584. Dostupné z: doi:10.1016/j.matchemphys.2022.127128
 16. BAGHEL, P. K. a D. S. NAGESH. Pulse TIG welding: Process, Automation and Control. *Journal of Welding and Joining* [online]. 2017, 35(1), 43-48 [cit. 2025-05-08]. ISSN 2466-2232. Dostupné z: doi:10.5781/JWJ.2017.35.1.43
 17. Šedý litinový blok motoru litím. *FHZL* [online]. [cit. 2025-05-17]. Dostupné z: <http://cz.fhzl3d.com/metal-casting-parts/gray-cast-iron-engine-block-by-casting.html>
 18. Nodular Cast Iron. In: *RKL Slévárna, s.r.o.* [online]. [cit. 2025-05-03]. Dostupné z: <https://www.rklslevarna.cz/en/nodular-cast-iron/a-13/>
 19. Wind Generator. In: *Made-in-china* [online]. 2021 [cit. 2025-05-03]. Dostupné z: <https://openex.en.made-in-china.com/product/XZvayrIEZzWg/China-Steel-Casting-Wind-Turbine-Body-Housing-Component-Large-Cast-Steel-or-Iron-Parts.html>
 20. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. 1998. Brno: PC-DIR, 1998. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1.
 21. ŠKOČOVSKÝ, Petr a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Grafitické liatiny*. Edis, 2005. ISBN ISBN 80-8070-390-6.
 22. PLUHAR, Jaroslav a Josef KORITTA. *Strojírenské materiály*. Praha: SNTL, 1966. ISBN ISBN 04-254-66.
 23. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, c2002. ISBN 80-720-4248-3.
 24. *Slévárenství-Systém označování litiny-Značky materiálů a číselné označování materiálů*. 2011.
 25. HEINZ ZUM GAHR, Karl a George T. ELDIS. Abrasive wear of white cast irons. *Wear* [online]. 1980, 1980(64), 1-20 [cit. 2024-11-17]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0043164880901015>
 26. PODRÁBSKÝ, Tomáš a Simona POSPÍŠILOVÁ. Struktura a vlastnosti grafitických litin. *FSI ústav materiálových věd a inženýrství* [online]. 2006 [cit. 2025-04-01]. Dostupné z: <https://ime.fme.vutbr.cz/opory/savgl/index.php?chapter=0>
 27. NOVÁ, Iva. *Teorie slévání*. Liberec: Technická univerzita, 2007. ISBN 978-80-7372-185-5.
 28. Základní druhy litin. *SlidePlayer* [online]. [cit. 2025-04-01]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/2802025/>
 29. In situ generation of 3D graphene-like networks from cellulose nanofibres in sintered ceramics. *Research Gate* [online]. 2018 [cit. 2025-04-01]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/figure/Microstructure-and-formation-of-intergranular-FLG-films-a-STEM-bright-field-BF-and_fig2_324816205
-

-
- [30. IACOVIELLO, Francesco. Degenerated graphite nodules influence on fatigue crack paths in a ferritic ductile cast iron. *Research Gate* [online]. 2015 [cit. 2025-04-02]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/283735276_Degenerated_graphite_nodules_influence_on_fatigue_crack_paths_in_a_ferritic_ductile_cast_iron
31. Indukční ohřev (3). *ELEKTRO časopis pro elektrotechniku* [online]. 2021 [cit. 2025-05-18]. Dostupné z: <http://www.odbornecasopisy.cz/elektro/casopis/tema/indukcni-ohrev-3--14655>
32. ŠMRHA, Jan. *Vliv zvýšeného obsahu křemíku na mechanické vlastnosti tenkostěnných odlitků z litiny s kuličkovým grafitem*. Liberec, 2009. Disertační. TU v Liberci.
33. NEUMANN, Heinz. *Teorie svařování a pájení*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014. ISBN 978-80-7494-171-9.
34. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. Bratislava: Citadella, 2013. ISBN 978-80-89628-18-6.
35. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
36. WELCO. *Pulzní Svařování MIG/MAG*. Uherský Brod, 2023.
37. WELCO. *Postup při svařování nástrojových ocelí metodou WIG*. Uherský brod, 2 s.
38. Welding of Uddeholm tool steels. *UDDEHOLM* [online]. [cit. 2023-05-24]. Dostupné z: <https://www.uddeholm.com/app/uploads/sites/41/2017/12/welding-eng-1710-e7.pdf>
39. WELCO. *Technologický postup opravy*. Uherský Brod, 2016.
40. Jak správně připravit materiál na svařování. *Svět Svářeček* [online]. 2025 [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: https://www.svetsvarecek.cz/blog/jak-spravne-pripravit-material-na-svarovani/?utm_source=chatgpt.com
41. Laserové čištění & povrchová úprava. *LASCAM* [online]. 2023 [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: https://www.lascam.cz/obecne-automotive/laserove-cisteni-a-povrchove-upravy/?utm_source=chatgpt.com
42. Repair welding of cast iron coated electrodes. *IOP Science* [online]. 2017, 2017(227), 1-8 [cit. 2025-02-07]. Dostupné z: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/227/1/012139/meta>
43. Svařovací dráty TIG pro litinu. *Valtec* [online]. 2024 [cit. 2025-02-07]. Dostupné z: <https://www.valtec.cz/svarovaci-draty-tig-pro-litinu/>
44. , ESAB. *Příručka svařování: opravy a údržba*. 6. aktualizované vydání. VAMBERK, 2011.
45. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
46. Vliv prvků na vlastnosti ocelí. *Kovintrade* [online]. Praha [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://www.kovintrade.cz/vliv-prvku-na-vlastnosti-oceli/>
47. Vliv jednotlivých prvků na vlastnosti ocelí. *TumliKOVO* [online]. 2011 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/vliv-jednotlivych-prvku-na-vlastnosti-oceli/>
48. IZÁK, Josef. *Posouzení degradace opakovaně opravovaných sřižných 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.
-

-
49. TONG, Li Ge, Hong Sheng DING, Li WANG, Shi Wu BAI, Yong Li SUI a Lu BAI. Influence of the Chemical Elements of Welding Materials on Mechanical Properties. *Advanced Materials Research* [online]. 2012, (562-564), 719-722 [cit. 2025-05-21]. ISSN 1662-8985. Dostupné z: doi:10.4028/www.scientific.net/AMR.562-564.719
 50. Obloukové svařování. *WikipediE* [online]. 2025 [cit. 2025-02-08]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Obloukov%C3%A9_sva%C5%99ov%C3%A1n%C3%AAD
 51. *COLLIE WELDING* [online]. [cit. 2025-04-28]. Dostupné z: <https://www.colliewelding.com/hicalculators.php>
 52. OCHODEK, Vladislav. Vliv teplotního režimu svařování na vlastnosti svarových spojů - I. *DOM ZO 13* [online]. 2011 [cit. 2025-04-13]. Dostupné z: https://www.domzo13.cz/dokumenty/vyuka/seminare/vliv_tepl_rezimu_a1.pdf
 53. Svařování litiny v příkladech. In: *Svarinfo* [online]. 2008 [cit. 2025-04-07]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2008010302>
 54. Jak svařovat litinu. In: *Svářecí kukla* [online]. 2025 [cit. 2025-04-07]. Dostupné z: <https://www.svarecikukla.cz/blog/jak-svarovat-litinu/?srsid=AfmBOopmNaLa9kbQiR3yIHg8aqyw8oNvxuOUqv575TkkAk5tRA57nXrg>
 55. MARTINEC, Jiří a Aleš PLÍHAL. Svařování a opravy litinových výrobků. *Průmyslové spektrum* [online]. 2005 [cit. 2025-02-07]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/svarovani-a-opravy-litinovych-vyrobku>
 56. Potřebujete svařit litinu? Seznamte se s potřebnými postupy a technologií. *Pantermax* [online]. 2022 [cit. 2025-04-07]. Dostupné z: <https://www.pantermax.cz/Potrebujete-svarit-litinu-Seznamte-se-s-potrebnymi-postupy-a-technologie-b121440.htm>
 57. Technologie svařování MMA. *Schinkmann* [online]. [cit. 2025-04-07]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/mma-rucne-obalenou-elektrodou>
 58. Sušící pece. *Svarservis* [online]. [cit. 2025-02-23]. Dostupné z: <https://www.svarservis.cz/produkty/susici-pece/>
 59. Naše výroba. *GG Filtration* [online]. [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.ggfiltration.cz/>
 60. Periodická tabulka: Argon. In: *Prvky* [online]. [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <http://www.prvky.com/18.html>
 61. Pulzní svařování MIG/MAG – proč vlastně. *Fronius Perfect Welding Blog* [online]. 2021 [cit. 2023-05-23]. Dostupné z: <https://blog.perfectwelding.fronius.com/cs/pulzni-svarovani-mig-mag/>
 62. SELVI, S, A VISHVAKSENAN a E RAJASEKAR. Cold metal transfer (CMT) technology - An overview. *ScienceDirect* [online]. 2018, 2018(14), 1-17 [cit. 2025-02-27]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214914717301022>
 63. FRONIUS. *COLD METAL TRANSFER*. 2014.
 64. What is Cold Metal Transfer Welding? Understanding It Thoroughly. *WATERWELDERS* [online]. 2023 [cit. 2025-03-02]. Dostupné z: <https://waterwelders.com/cold-metal-transfer-welding/>
 65. Cronitex 252 C. *WELCO* [online]. [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.welco.cz/cs/cronitex-252-c-1173-1173>
 66. CRONITEX RC 58. *WELCO* [online]. [cit. 2025-05-01]. Dostupné z: <https://www.welco.cz/cs/cronitex-rc-58-1192-1192>
-

-
67. CRONITEX RC 63. *WELCO* [online]. [cit. 2025-05-10]. Dostupné z: <https://www.welco.cz/cs/cronitex-rc-63-1199-1199>
 68. WELCO 1960. *WELCO* [online]. [cit. 2025-05-10]. Dostupné z: <https://www.welco.cz/cs/welco-1960-1025-1025>
 69. WELCO 1709S. *WELCO* [online]. [cit. 2025-05-10]. Dostupné z: <https://www.welco.cz/cs/welco-1709-s-925-925>
 70. WELCO A1960. *WELCO* [online]. [cit. 2025-05-10]. Dostupné z: <https://www.welco.cz/cs/welco-a-1960-1029-1029>
 71. Megafil A760M - návarový bežešvý trubičkový drát s kovovou náplní. *Wirpo* [online]. 2024 [cit. 2025-05-10]. Dostupné z: <https://eshop.wirpo.cz/megafil-a760m>
 72. Penetrační zkouška (PT). *Defektoskopie Gamalux* [online]. 2025 [cit. 2025-05-12]. Dostupné z: <https://www.gamalux.cz/pouzivane-metody/standardni-metody/penetracni-zkouska/>
 73. OPENAI. *ChatGPT: nástroj využitý k překlada a jazykové korektuře textu závěrečné práce* [online]. San Francisco: OpenAI, 2024 [cit. 2025-05-23]. Dostupné z: <https://chat.openai.com>
-

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK
Symbole

Označení	Legenda	Jednotka
Q_s	množství vneseného tepla	[J/mm]
U	navářovací napětí	[V]
I	navářovací proud	[A]
v_s	rychlost navařování	[mm/s]
D	výsledné promíšení	[%]
Oblast A	plocha nataveného materiálu nad navařovaným	[mm ²]
Oblast B	plocha nataveného materiálu pod navařovaným	[mm ²]
η	koeficient účinnosti navařování	[-]

Zkratky

Označení	Legenda
TOO	tepelně ovlivněná oblast
ZM	základní materiál
MZV	mezivrstva
FN	finální návar
FN1	první finální návar
FN2	druhý finální návar
NeS	neleptaný stav
NaS	naleptaný stav
HRC	tvrdost dle Rockwella
HV	tvrdost dle Vickerse
HB	tvrdost dle Brinella
V/N	vyhovuje/nevyhovuje

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list CRONITEX RC 252 [65]
 - Příloha 2 Materiálový list CRONITEX RC 58 [66]
 - Příloha 3 Materiálový list CRONITEX RC 63 [67]
 - Příloha 4 Materiálový list Welco 1960 [68]
 - Příloha 5 Materiálový list Welco 1709S [69]
 - Příloha 6 Materiálový list Welco A1960 [70]
 - Příloha 7 Materiálový list Welco Megafil 760 M [71]
 - Příloha 8 Vzorčky pro měření tvrdosti dle Brinella
 - Příloha 9 Vpichy vzorek 1
 - Příloha 10 Linie vpichů vzorek 2
 - Příloha 11 Linie vpichů vzorek 3
 - Příloha 12 Penetrační zkoušky
-

CRONITEX

252 C



Vysoce legovaný přídavný
svařovací materiál na bázi Ni s
výjimečnými vlastnostmi.



VLASTNOSTI

Vysoce legovaný přídavný svařovací materiál na bázi Ni s výjimečnými vlastnostmi. Houževnatý za studena až do -252°C . Odolný proti vysokým teplotám až do $+1400^{\circ}\text{C}$. Stabilizující přísady zabraňují vzniku tvrdých karbidových okrajů. Minimální smrštění, vyrovnává pnutí, vysoká tažnost. Struktura tepelně neměnitelná. Nelze chromovat.

POUŽITÍ - SPOJOVÁNÍ A NÁVARY

Spoje téměř všech vysoce a středně legovaných ocelí, bez nebo při minimálním předehřátí. Ocelolitina, legovaná vysoce pevná šedá litina až do GGG-70. Svařování jádra nástrojů pro práci za tepla, forem pro tlakové lití, konzol (ramen) těles z ocelolitin, spojování trhlin na zápustkách, vyrovnávání. Odolný proti kyselině solné, dusičné a sírové. Odolný proti iontům chlóru. Opravy chladicích kanálů.

Označení	Skladové číslo	Průměr mm	Balení kg
Croni WIG 252 C	07W10508	0,8	2,5
	07W10510	1,0	2,5
	07W10512	1,2	2,5
	07W10516	1,6	2,5
	07W10520	2,0	2,5
	07W10524	2,4	2,5
Croni MAG 252 C	07M50508	0,8	15,0
	07M50510	1,0	15,0
	07M50512	1,2	15,0
Croni MMA 252 CR	07E30525	2,5	6,0
	07E30532	3,2	7,0
	07E30540	4,0	7,0
Laser 252 C	07L10503	0,3	cívka 150g
	07L10504	0,4	cívka 150g
	07L10505	0,5	cívka 150g
	07L10506	0,6	cívka 150g
	07S10503	0,3	tyčky 100g
	07S10504	0,4	tyčky 100g
	07S10505	0,5	tyčky 100g
	07S10506	0,6	tyčky 100g
	07SX10503	0,3	tyčky 50g
	07SX10504	0,4	tyčky 50g
	07SX10505	0,5	tyčky 50g
	07SX10506	0,6	tyčky 50g

ZÁKLADNÍ MATERIÁL

Velice vysoký stupeň použití. Středně a vysoce legované oceli, oceli na odlitky.

MECHANICKÉ PARAMETRY SVAROVÉHO KOVU

Pevnost v tahu: 710 N/mm^2
Pevnost v tahu - zušlechtěný: 1280 N/mm^2
Tažnost: 38 - 46 %
Tvrdost: 205 HB
Vrubová houževnatost: $125 \text{ J} / +20^{\circ}\text{C}$
 $70 \text{ J} / -252^{\circ}\text{C}$

CRONITEX

**Metallurgisch-technisches Datenblatt
für CRONITEX - Schweißzusätze**

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:

WIG-Stab

MSG-Draht

Laser-Draht

Stabelektrode

Füllstab/Fülldraht

CRONITEX Bezeichnung: **252-C**

Anwendung - Eigenschaften:

Höchstlegierter Ni-Basis-Schweißzusatz mit außergewöhnlichen Eigenschaften. Kaltzäh bis -252°C und hitzebeständig bis 1400°C. Stabilisierende Zusätze vermeiden harte Carbidsäume. Geringste Schrumpfung aller hochlegierten Schweißzusätze. Spannungsausgleichend, höchste Dehnungswerte. Das Gefüge ist thermisch nicht umwandelbar, schlecht verchrombar.

Für die Verbindung und Auftragung fast aller hoch- und mittellegierter Stähle, Stahlguß, legierter hochfester Grauguß bis GGG70, ohne oder bei geringster Vorwärmung. Kernschweißung von Warmarbeitswerkzeugen, Druckgußformen und Gesenken. Für die Reparatur von Kühlkanälen und als Pufferlage geeignet.

Das Schweißgut ist beständig gegenüber Salz-, Salpeter- und Schwefelsäure.

$R_m > 710 \text{ N/mm}^2$ $R_{p0,2} > 400 \text{ N/mm}^2$ $A_5 > 38-46 \%$ ISO-V₁ > 125 J

Richtanalyse % - Stähle

C	Al	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Si	V	W	Stabilisierzusätze (Ce-Nb/Cb-B-Ti)		Su%
0,03			21,5		2,0	2,5		Rest	0,6			x	x	2,5

Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle

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

Die technischen Ergebniswerte sind von der Aufmischung zu den Grundwerkstoffen, sowie als Hinweis verfahrensabhängig.

Datum 11/2005

Qualitätswesen

CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH

CRONITEX

Metallurgie-Schweißtechnik GmbH · D-51467 Bergisch Gladbach
Zum Scheider Feld 18 · Tel. 0 22 02 / 98 44-0 · Fax 0 22 02 / 8809
E-Mail: info@cronitex.de · Internet: www.cronitex.de

CRONITEX



Rc 58

Vysoce legovaný přídatný
svařovací materiál Cr-Mo-Si-V-W.



VLASTNOSTI

Vysoce legovaný přídatný svařovací materiál Cr-Mo-Si-V-W. Svarový kov je podobný strukturou ocelím pro práci za tepla, ale má vyšší životnost. Odolný proti střídavým teplotám. Chromovatelný za určitých podmínek.

POUŽITÍ - SPOJOVÁNÍ A NÁVARY

Obzvláště vhodný pro opravy nástrojů pro práci za tepla s obsahem W, pro 1 - 3 vrstvé návary bez vyrovnávání. Břity pro práci za tepla, válcovací trny, ostříhovací nástroje, nástroje pro tlakové lití. U spojů přehřívát na min. 550°C! Vhodný také pro návary středně legovaných ocelí pro řezání za studena.

Označení	Skladové číslo	Průměr mm	Balení kg
Croni WIG Rc 58	07W12008	0,8	2,5
	07W12010	1,0	2,5
	07W12012	1,2	2,5
	07W12016	1,6	2,5
	07W12024	2,4	2,5
Croni MAG Rc 58	07M51808	0,8	15,0
	07M51810	1,0	15,0
	07M51812	1,2	15,0
Croni MMA Rc 58	07E32025	2,5	6,0
	07E32032	3,2	7,0
	07E32040	4,0	7,0
Croni Laser Rc 58	07L12002	0,2	cívka 50g
	07L12003	0,3	cívka 150g
	07L12004	0,4	cívka 150g
	07L12005	0,5	cívka 150g
	07L12006	0,6	cívka 150g
	07S12002	0,2	tyčky 100g
	07S12003	0,3	tyčky 100g
	07S12004	0,4	tyčky 100g
	07S12005	0,5	tyčky 100g
	07S12006	0,6	tyčky 100g
	07SX12002	0,2	tyčky 50g
	07SX12003	0,3	tyčky 50g
	07SX12004	0,4	tyčky 50g
	07SX12005	0,5	tyčky 50g
	07SX12006	0,6	tyčky 50g

ZÁKLADNÍ MATERIÁL

DIN: 1.2606 - 2365 - 2603 - 2343, 1.2344 - 2311 - 2314 - 2744, 1.2548 - 2550 - 2367 - 2842, M340 jakož i středně legované oceli pro práci za studena
ČSN: 19 541 - 19 552 - 19 554 - 19 520 - 19 735 - 19 312 a pod.

MECHANICKÉ PARAMETRY SVAROVÉHO KOVU

Tvrdość po navařeni: 54 - 58 HRc
Žihání naměkko (760 – 800°C): 230 HB
Kalení plamenem: 57 - 60 HRc
Ochlazení vodou: 59 - 62 HRc
Kalení do oleje: 1060°C



Metallurgisch-technisches Datenblatt für CRONITEX - Schweißzusätze

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:



WIG-Stab



MIG-MAG-Draht



Laser-Draht



Stabelektrode



Füllstab/Fülldraht

CRONITEX Bezeichnung: **Rc 58**

Anwendung - Eigenschaften:

Siehe CRONITEX Katalog "Produktgruppe 7", Seite 20

Richtanalyse % - Stähle

C	Al	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Si	V	W	Stabilisierzusätze (Ce-Nb/Cb-B-Ti)	Su%
0,45			6,20		Rest	0,60	2,10		0,50	0,50	1,80	x	0,15

Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle

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

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

Datum 02/2000

Qualitätswesen

CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH



Metallurgie-Schweißtechnik GmbH · D-51467 Bergisch Gladbach
Zum Scheider Feld 18 · Tel. 0 22 02 / 98 44-0 · Fax 0 22 02 / 8809
E-Mail: info@cronitex.de · Internet: www.cronitex.de

CRONITEX



Rc 63

Vysoce legovaný přídavný
svaročací materiál Cr-W-V.



VLASTNOSTI

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

POUŽITÍ - SPOJOVÁNÍ A NÁVARY

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

Označení	Skladové číslo	Průměr mm	Balení kg
Croni WIG Rc 63	07W12208	0,8	2,5
	07W12210	1,0	2,5
	07W12212	1,2	2,5
	07W12216	1,6	2,5
	07W12224	2,4	2,5
Croni MAG Rc 63	07M52008	0,8	15,0
	07M52010	1,0	15,0
	07M52012	1,2	15,0
	07M52016	1,6	15,0
Croni MMA Rc 63	07E32225	2,5	5,0
	07E32232	3,2	7,0
	07E32240	4,0	7,0
Croni Laser Rc 63	07L12202	0,2	cívka 50g
	07L12203	0,3	cívka 150g
	07L12204	0,4	cívka 150g
	07L12205	0,5	cívka 150g
	07L12206	0,6	cívka 150g
	07S12203	0,3	tyčky 100g
	07S12204	0,4	tyčky 100g
	07S12205	0,5	tyčky 100g
	07S12206	0,6	tyčky 100g
	07SX12203	0,3	tyčky 50g
	07SX12204	0,4	tyčky 50g
	07SX12205	0,5	tyčky 50g
	07SX12206	0,6	tyčky 50g

ZÁKLADNÍ MATERIÁL

DIN: 1.2601 - 2080, 1.2201 - 2376 - 2379, 1.2362 - 2363 - 2436, 1.2880 - 2884, K 360
ČSN: 19 436 - 19 569

MECHANICKÉ PARAMETRY SVAROVÉHO KOVU

Tvrdost po navaření WIG+MAG: 59 - 62 HRc
Tvrdost po navaření EL.: 61 - 63 HRc
Po zakalení v oleji 1070°C: 60 - 63 HRc
Žihání 850°C / 4 hod: 260 HB



Metallurgisch-technisches Datenblatt für CRONITEX - Schweißzusätze

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:

WIG-Stab

MIG-MAG-Draht

Laser-Draht

Stabelektrode

Füllstab/Fülldraht

CRONITEX Bezeichnung: **Rc 63**

Anwendung - Eigenschaften:

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

Richtanalyse % - Stähle

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

Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle

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

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

Datum 12/2003

Qualitätswesen

CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH



Metallurgie-Schweißtechnik GmbH - D-51467 Bergisch Gladbach
Zum Scheider Feld 18 - Tel.: 02202 / 9844-0 - Fax 02202 / 8809
E-Mail: info@cronitex.de - Internet: www.cronitex.de



1960



Univerzální SUPER elektroda
na niklové bázi pro opravy a
renovace.



Použití

WELCO 1960 je ideální elektroda pro spojování a návary při opravách a renovacích. Potrubí letadel a výfukové systémy. Systémy obrabečů tahu motorů. Bandážovací kroužky turbin. Měchy, dilatační spoje. Těsnění spojů a tlumičů. Výfuky a svorky pro motoristické sporty. Návary a distanční vložky pro systémy rekuperace tepla. Muflové pece. Sedla ventilů a součásti ventilů.

Oblast použití

WELCO 1960 je univerzální elektroda ke spojování a návarům vysoce namáhaných součástí z neznámých nízko i vysokolegovaných ocelí, ocelolitin a šedé litiny, tvrdých manganových ocelí, niklových slitin, mědi, barevných kovů a spojování libovolných kombinací uvedených materiálů. Je houževnatá a netvoří trhliny. Vhodná pro elastické mezivrstvy a návary namáhané rázy a tlakem. Odolává kyselinám, luhům a jiným korozivním médiím s teplotou až +500°C. **WELCO 1960** vykazuje vynikající kombinaci korozní odolnosti a vysoké pevnosti. **WELCO 1960** je díky vysokému obsahu niklu odolná vůči korozivnímu praskání způsobenému chloridy. Má také dobrou odolnost proti vzniku důlkové a štěrbinové koroze. Má vynikající tepelnou stabilitu, a je proto vhodná pro návary v ropném a plynárenském / petrochemickém průmyslu a v rafinériích.

Svařovací vlastnosti

WELCO 1960 je snadno svařující elektroda s dobře odstranitelnou struskou. Výtěžnost: 170%. Svařitelnost za studena, svarový kov odolává korozi a teplotám od -196°C do +1100°C.

Návod k použití

Krátký oblouk, strmé vedení elektrody. Pro tvrdé Mn-oceli je doporučeno nižší nastavení proudu. Používejte pouze suché elektrody. Přesušení: 300°C / 2 hod.

Nastavení proudu (DC+)	
Ø mm	Proud A
2,5	60 - 90
3,2	90 - 110
4,0	100 - 150

Klíčové vlastnosti

- WELCO 1960** je vhodná pro spojování a návary neznámých ocelí, ocelolitin a šedé litiny, niklových slitin, mědi a barevných kovů, spojování libovolných kombinací všech výše uvedených materiálů.
- WELCO 1960** má vysokou tažnost.
- WELCO 1960** má vysokou pevnost a vysokou korozní odolnost.
- WELCO 1960** je žáruvzdorná do +1100°C. Žáropevná do +1000°C.
- WELCO 1960** je tažná za studena do -196°C.

Normy

EN ISO 14172 : E Ni 6625
AWS A5.4 / E Ni Cr Mo 3

Mechanické vlastnosti, svařitelnost

Mez kluzu N/mm ²	Pevnost v tahu N/mm ²	Tažnost A ₅ %	Vrubová houževnatost (+20°C / -196°C) J	Tvrdost po navažení HB	Tvrdost po zpevnění za studena HB
550	800	45	110 / 85	220	300

Chemické složení svarového kovu cca (%)

C	Cr	Nb	Mo	Ni
0,02	22,0	3,0	9,0	Zbytek

Rozměry a balení

Sklad.číslo	Ø mm	délka mm	kg / bal	cca ks / bal
21196025	2,5	300	4,3	239
21196032	3,2	350	5,0	140
21196040	4,0	350	5,3	96



1709S



Vysokovýkonná elektroda pro
návary typu rychlořezná ocel.
Excelentní svařovací vlastnosti.



Použití

Sekáče, hoblovací nože, velké vrtáky, odkorňovače, frézy, tvářecí nástroje, nástroje pracující za tepla, řezné desky, střížné hrany.

Oblast použití

WELCO 1709S je vysokovýkonná elektroda s výtěžností 150%. Je určena pro opravy a zhotovení obráběcích nástrojů a pro návary s vysokou odolností proti opotřebení. Odolává namáhání vlivem otěru, rázů, tlaku a teplot do 600°C. **WELCO 1709S** je vhodná pro řezné a střížné nástroje všech druhů. **WELCO 1709S** je použitelná na návary nízké až vysoce legovaných ocelí s následným tepelným zpracováním i bez něj.

Návod k použití

Velké nástroje je nutné předeheřt na 400 - 600°C, a tuto teplotu udržovat i během svařování. Pro malé nástroje stačí menší předeheřev, který vznikne vlivem oblouku při svařování. Výška návaru může být až do 15 mm. Po svařování musí být zajištěno pomalé ochlazování. Návar je po ochlazení obrobitelný pouze broušením, je možné provádět i žíhání na měkko. Používejte pouze suché elektrody.

Přesušení: 200°C / 2 hod.

Nastavení proudu (AC / DC+)	
Ø mm	Proud A
2,5	60 - 100
3,2	90 - 130

Klíčové vlastnosti

- **WELCO 1709S** je určena pro opravy nástrojů pro třískové obrábění a nástrojů pracujících za tepla.
- **WELCO 1709S** je použitelná na návary nízké i vysoce legovaných ocelí s následným tepelným zpracováním i bez něj.
- **WELCO 1709S** odolává otěru, rázům, tlaku a vysokým teplotám.
- **WELCO 1709S** má stabilní oblouk, svařuje velmi malým proudem, bez odstříku, netvoří trhliny.
- **WELCO 1709S** má vysoký obsah molybdenu, který umožňuje použití do +600°C.
- **WELCO 1709S** je tepelně zpracovatelná pro dosažení vyšší tvrdosti.
- **WELCO 1709S** má excelentní svařovací vlastnosti.

Normy

DIN 8555 / E 4 UM 60 ST

Mechanické vlastnosti, svařitelnost						
Žíhání (°C)	Kalení (°C)	Popouštění (°C)				
850 / 5 hod.	1220	540-560 / 2 hod.				
Tvrdość po navaření HRC	Tvrdość po žíhání HRC	Tvrdość po zakalení HRC	Tvrdość po popouštění HRC			
58 - 62	25 - 30	64 - 66	63 - 65			
Chemické složení svarového kovu (%)						
C	Mn	Si	Cr	Mo	W	V
0,9	0,5	0,4	4,5	8,5	2,0	1,1
Rozměry a balení						
Sklad. číslo	Ø mm	délka mm	kg / bal	ks / bal		
22170925	2,5	350	4,0	136		
22170932	3,2	350	4,0	82		



A1960

Univerzální MIG drát na niklové bázi, pro opravy a renovace.



Použití

WELCO A1960 je ideální TIG drát pro spojování a návary při opravách a renovacích. Potrubí letadel a výfukové systémy. Systémy obrabečů tahu motorů. Bandážovací kroužky turbín. Měchy, dilatační spoje. Těsnění spojů a tlumičů. Výfuky a svorky pro motoristické sporty. Návary a distanční vložky pro systémy rekuperace tepla. Muflové pece. Sedla ventilů a součásti ventilů.

Oblast použití

WELCO A1960 je univerzální MIG drát ke spojování a návarům vysoce namáhaných součástí z neznámých nízko i vysokolegovaných ocelí, ocelolitiny a šedé litiny, tvrdých manganových ocelí, niklových slitin, mědi, barevných kovů a spojování libovolných kombinací uvedených materiálů. Je houževnatý a netvoří trhliny. Vhodný pro elastické mezivrstvy a návary namáhané rázy a tlakem. Odolává kyselinám, louchům a jiným korozivním médiím s teplotou až +500°C. **WELCO A1960** vykazuje vynikající kombinaci korozní odolnosti a vysoké pevnosti. **WELCO A1960** je díky vysokému obsahu niklu odolný vůči koroznímu praskání způsobenému chloridy. Má také dobrou odolnost proti vzniku důlkové a štěrbinové koroze. má vynikající tepelnou stabilitu, a je proto vhodný pro návary v ropném a petrochemickém průmyslu a v rafinériích.

Svařovací vlastnosti

WELCO A1960 má dobrou svařitelnost za studena, svařový kov odolává korozi a teplotám od -196°C do +1100°C.

Ochranný plyn dle ČSN EN ISO 14175 :

I1 : Argon 99,99%

Klíčové vlastnosti

- **WELCO A1960** je vhodný pro spojování a návary neznámých ocelí, ocelolitiny a šedé litiny, niklových slitin, mědi a barevných kovů, spojování libovolných kombinací všech výše uvedených materiálů.
- **WELCO A1960** má vysokou tažnost. **WELCO A1960** má vysokou pevnost
- a vysokou korozní odolnost. **WELCO A1960** je žáruvzdorný do +1100°C. Žáropevný do +1000°C. **WELCO A1960** je tažný za studena do -196°C.

Normy

EN ISO 14172 : E Ni 6625
AWS A5.4/E Ni Cr Mo 3

Mechanické vlastnosti, svařitelnost

Mez kluzu N/mm ²	Pevnost v tahu N/mm ²	Tažnost A ₅ %	Vrbová houževnatost (+20°C / -196°C) J	Tvrdost po navaření HB	Tvrdost po zpevnění za studena HB
550	800	45	110 / 85	220	300

Chemické složení svarového kovu cca (%)

C	Cr	Nb	Mo	Ni
0,02	22,0	3,0	9,0	Zbytek

Rozměry a balení

Sklad. číslo	Ø mm	kg / cívka
27196012	1,2	15,0
27196016	1,6	15,0



Materiálový list



Megafil® A 760 M

SKUPINA:	Návary a renovace
METODA:	Plněné elektrody pro metodu MAG/MIG/MOG (135, 136, 138, 114)
TYP:	Trubičkový drát s kovovou náplní FCAW / MAG
NORMY:	EN ISO 14700 : T Fe 2
JINÉ:	DIN 8555 : MSG 1-GF-60-P
VÝROBCE:	Drahtzug Stein - ITW Welding
MATERIÁLY:	Houževnatý návarový kov vysoce odolný trhlínám odolný otěru při současném zatížení těžkými rázy a šoky. Interpass teplota nesmí překročit teplotu 250°C. Návar lze strojně obrábět pouze nástroji se speciálními reznými destičkami nebo broušením, lze jej dále tepelně zpracovávat. Nepoužívat pro dostavbu materiálu, pouze jako vrstvy odolné opotřebení, pro dostavbu chybějícího materiálu použít Megafil 731 B. Dosahovaná tvrdost je závislá na základním materiálu.
POUŽITÍ:	Sřídenně legovaný trubičkový drát s kovovou náplní pro navařování metodou MAG, netvoří strusku. Rypadla, dobývací korečky a lžice, zuby nakladačů, dopravníky, otěru vzdorné plochy, kuželové a čelistové drtiče.

CHEMICKÉ SLOŽENÍ

C	Mn	Si	Cr	Mo	Fe
0,5	1,5	0,6	6	0,5	rest

MECHANICKÉ VLASTNOSTI

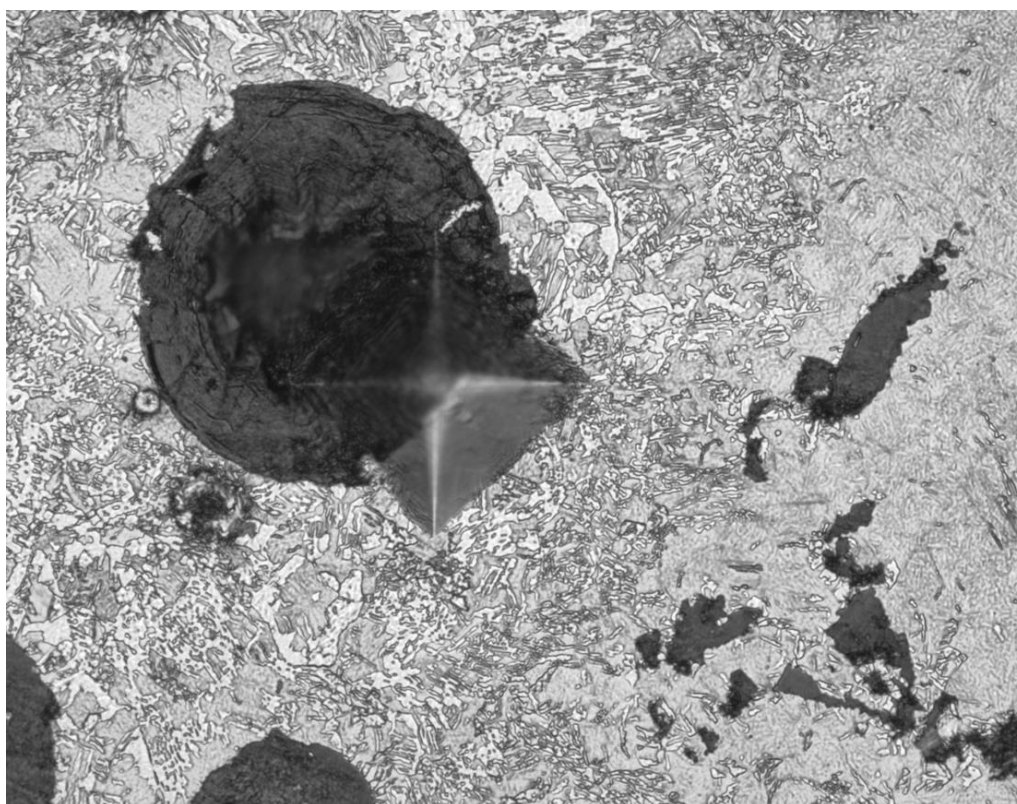
Výsledná tvrdost, stejně jako struktura návaru je závislá na základním materiálu, parametrech navařování, tepelném režimu (předehřev, interpass teplota, chladnutí apod.), počtu vrstev, síle a tvaru navařovaného komponentu.

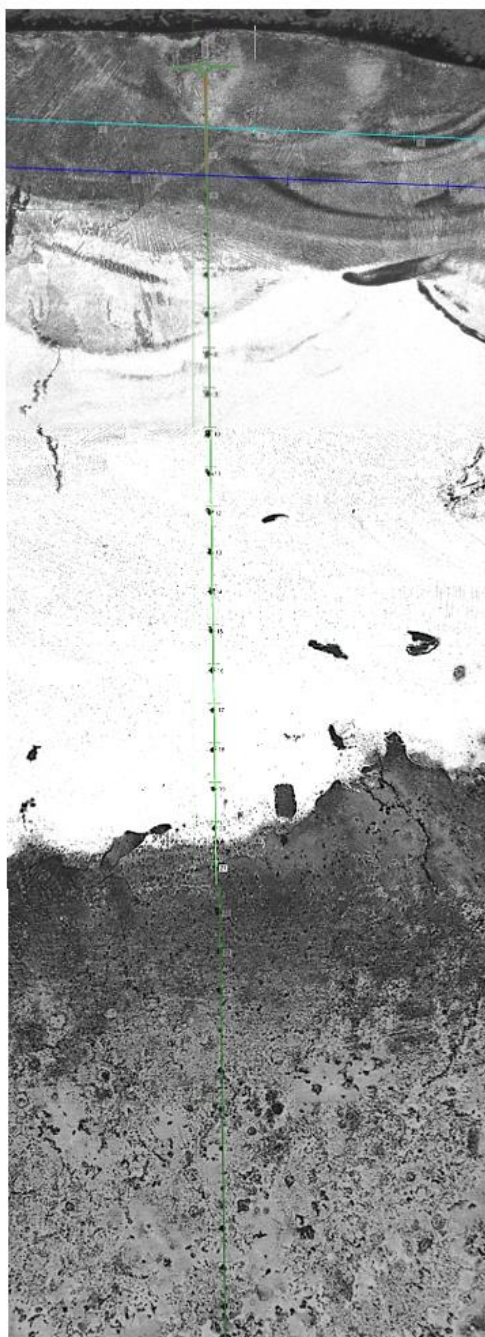
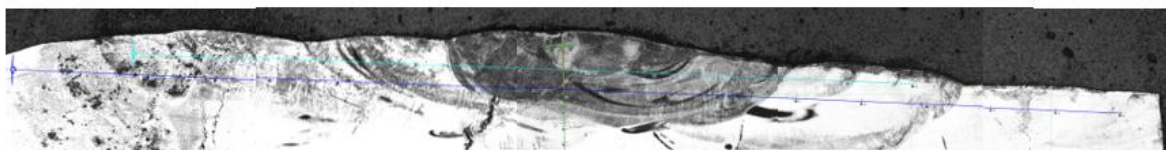
TVRDOST:	55-65 [HRC] ve 3. vrstvě
POLARITA:	DC+
PLYN:	M21
POLOHY:	   

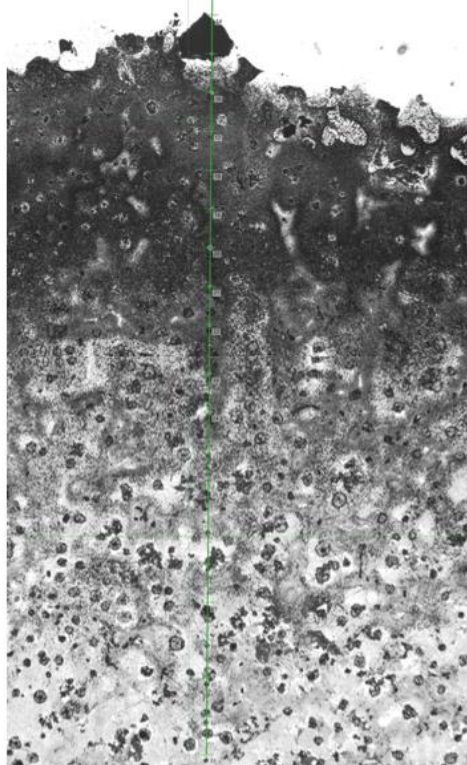
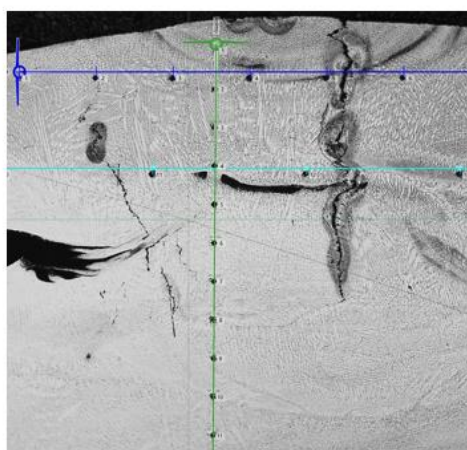
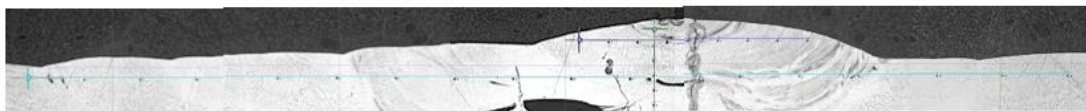
PRŮMĚRY A BALENÍ

Objednací číslo	Průměr	Balení
MFA760M12	1,2 mm	16 kg / K300
MFA760M16	1,6 mm	16 kg / K300
MFAD760M12	1,2 mm	300 kg / POP 570









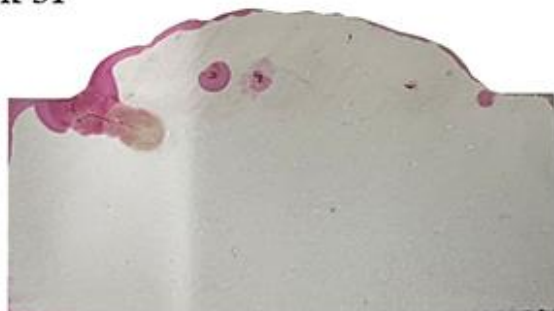
Vzorek 1F



Vzorek 2F



Vzorek 3F



Vzorek 4F

