



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

POSTUP OPRAVY BERANU LISU

THE REPAIR PROCEDURE OF THE PRESS FRAME

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Lukáš Švarc

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2018

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Bc. Lukáš Švarc
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Jaroslav Kubíček
Akademický rok:	2017/18

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

Postup opravy beranu lisu

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nové velké tvářecí stroje jsou pro výrobní firmy výraznou investicí. Často jsou repasovány a opravovány jsou i praské rámy a pohyblivé části z ocelových odlitků. Zaměření diplomové práce je na ověření postupu svařování při opravě rámu lisu.

Cíle diplomové práce:

1. Vypracování literární studii se zaměřením na renovační metody svařování.
2. Zhodnocení současného stavu a výběr optimální metody svařování.
3. Návrh a doporučení pro zpracování experimentální části.
4. Zpracování experimentu a technického hodnocení.
5. Formulování závěrů a doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

ASM handbook Welding, brazing, and soldering Volume 6. 10th editon. Materials Park, Ohio: ASM International, 2016. ISBN 978-0871703828.

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

AMBROŽ, Oldřich a kolektiv autorů. Technologie svařování a zařízení. 2., upr. vyd. Ostrava ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-81-0.

TURŇA, Milan. Špeciálne metódy zvárania, 1. vyd. Bratislava: ALFA, 1989. ISBN 80-05-000097-9.

BARTÁK, Jiří a kolektiv autorů. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2000. ISBN 80-85771-72-1.

ONDREJČEK, Peter. Zváranie ocelí v ochrane plynov taviacou sa elektródou, 1. vyd. Bratislava:
ETERNA PRESS, 2003. ISBN 80-968359-5-5.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2017/18

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

ŠVARC Lukáš: Postup opravy beranu lisu.

Diplomová práce se zabývá postupem opravy prasklého beranu lisu – strojní součásti vyrobené odléváním z šedé litiny. Beran je součástí opravovaného tvářecího lisu LET 160. Předložená práce obsahuje přehled a rozbor technologií oprav litiny svařováním. Na základě teoretické část je navržen postup experimentálních zkoušek. Experimentální zkoušky mají za cíl vybrat nejvhodnější přídavný materiál a ověřit navržený postup svařování. Metoda svařování byla zvolena ruční obloukové svařování obalenou elektrodou s nízkou teplotou předehřevu. Pro svařování všech zkušebních vzorků byly vypracovány pWPS. Experimentální vzorky byly podrobeny vizuální, makroskopické, mikroskopické analýze a měření tvrdosti. Na základě výsledků experimentů byl navržen postup opravy svařováním s podloženou vypracovanou pWPS.

Klíčová slova: Beran, ČSN 42 2424, svařitelnost litiny, tepelně ovlivněná oblast, svarový spoj.

ABSTRACT

ŠVARC Lukáš: The repair procedure of the press ram.

The diploma thesis is dealing with the repair procedure of the cracked ram of the press – machine parts made from gray cast iron by casting. The ram is a part of the repaired forming press LET 160. The presented work contains an overview and analysis of the technologies of repair of cast iron by welding. On the basis of the theoretical part is designed the procedure of repairing. The aim of the experimental tests is selecting the most suitable additional material and verifying the proposed welding process. The welding method was selected by a low preheating manual metal arc. All the pWPS were prepared for the welding of all test specimens. Experimental samples were subjected to visual, macroscopic, microscopic analysis and hardness measurement. Based on the results of the experiments was suggested a welding repair procedure with a pWPS.

Key words: Ram, ČSN 42 2424, weldability of the cast iron, heat-affected area, weld join

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ŠVARC, Lukáš. *Postup opravy beranu lisu*. Brno, 2018. 61 s, 4 výkresy, 26 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubiček

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V dne 25.5.2018

.....
Bc. Lukáš Švarc

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval vedoucímu práce Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady týkající se technického zpracování diplomové práce.

Poděkování rovněž patří kolegům z firmy ŠMERAL Brno, kteří se aktivně podíleli na inovativním projektu opravy beranu, zejména Martinovi Šulovi za obětavou pomoc při zařizování a urychlení procesu. Dále bych rád poděkoval všem akademickým pracovníkům strojírenského ústavu, kteří byli nápomocní s prováděním zkoušek a analýz.

V poslední řadě patří velké poděkování celé mé rodině a blízkým za motivaci a podporu, nejen při zpracování diplomové práce, ale i při celém studiu na FSI VUT v Brně.

Bc. Lukáš Švarc

OBSAH

Zadání	
Abstrakt	
Bibliografická citace	
Čestné prohlášení	
Poděkování	
Obsah	
ÚVOD	9
1 ROZBOR ŘEŠENÉ SOUČÁSTI	10
1.1 Variantní řešení opravy	12
2 TECHNOLOGIE OPRAV ODLITKŮ SVAŘOVÁNÍM	15
2.1 Problematika litin a jejich rozdělení	16
2.1.1 Značení litin dle ČSN 42 0006	19
2.1.2 Značení litin dle EN ISO 1560	19
2.2 Svařitelnost šedé litiny	20
2.3 Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	23
2.4 Svařovací metody a přídavné materiály	24
2.4.1 Předehřev a měření teploty	26
2.5 Příprava svarových ploch	26
2.5.1 Zjištění rozsahu poškození	26
2.5.2 Svařovací kapsa a svarové úkosy	28
3 TECHNOLOGICKÝ NÁVRH OPRAVY	30
3.1 Základní materiál	31
3.2 Návrh a výroba zkušebních vzorků	32
3.3 Volba metody svařování a přídavného materiálu	34
3.4 Příprava a zhotovení zkušebních vzorků	36
3.4.1 Návrh postupu svařování vzorků	38
3.5 Vyhodnocení vzorků	41
3.5.1 Makroskopická analýza	43
3.5.2 Mikroskopická analýza	47
3.5.3 Hodnocení tvrdosti	51
3.6 Příprava svarových ploch beranu	53
3.7 Postup svařování beranu	56
4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	58
5 ZÁVĚRY	61
Seznam použitých zdrojů	
Seznam použitých symbolů a zkratk	
Seznam obrázků	
Seznam tabulek	
Seznam příloh	
Seznam výkresů	

ÚVOD [1], [2], [3], [4], [5]

Neustálý zvyšující se objem výroby při růstu spotřebovaných prvotních surovin, vede k hromadění stále většího množství odpadu různého charakteru a druhu. V oblasti provozu těžkých strojů mají veškerá opatření pro udržení dobrého technického stavu valné ekonomické a ekologické důsledky. Při obnově provozuschopnosti obtížně opravitelných částí těžkých strojů může nastat dilema mezi investicí do pořízení součásti nové, případně celého nového stroje a obtížné opravě poškozené součásti. Mimo investičních nákladů je často rozhodující i časová náročnost. S tím souvisí opravy poškozených částí strojů z obtížně opravitelných materiálů, jako např. hojně využívaná litina s lupínkovým grafitem. Problematice oprav litých strojních součástí a zejména vyrobených z litiny s lupínkovým grafitem se dostává stále větší pozornosti, a to nejen z důvodu historické produkce tohoto materiálu, ale i z důvodu neustálého růstu celosvětové produkce a snahy o zdokonalení procesu opravy, např. metodou oprav svařováním. Na obr. 1 je možné vidět různé způsoby oprav litinových odlitků.



Obr. 1 – Různé metody oprav litinových odlitků [4], [5]

1 ROZBOR ŘEŠENÉ SOUČÁSTI [6], [7], [8], [9]

Práce se zabývá opravou prasklého litinového beranu z výstředníkového lisu. Před samotným započítí řešení problematiky postupu opravy odlévané součásti je nutné, daný řešený dílec představit v širším záběru.

Beran je pohybovou součástí výstředníkového lisu LET 160 se jmenovitou tvářecí silou 1600 N, je znázorněn konstrukčním návrhem bez krytů, viz obr. 2, na kterém je beran zvýrazněn žlutě. Stroj byl vyroben firmou ŠMERAL Brno, která se v první řadě specializuje na vývoj a výrobu tvářecích linek automatizovaných pomocí robotů nebo transferů. Dále se zabývá výrobou svislých kovací lisů, bucharů a tvářecích strojů pro příčné klínové válcování. Sekundárním segmentem výrobního programu jsou generální opravy a renovace tvářecích strojů své i cizí konstrukce.

Výstředníkové lisy spadají do kategorie mechanických tvářecích lisů, které k převodu kroučícího momentu na přímočarý pohyb využívají výstředníkový hřídel. Stroj je poháněn elektromotorem, který přenáší kroučící moment na setrvačnickou sadu klínových řemenů. Setrvačnický je uložen na spojivém hřídeli spolu s lamelovou brzdou funkčně spřaženou se spojkou. Pastorek spojivého hřídele zabíhá do ozubeného kola, které je uloženo na výstředníkovém hřídeli. Otáčivý pohyb výstředníkového hřídele je ojnicí převáděn na přímočarý pohyb výstupního členu-beranu.

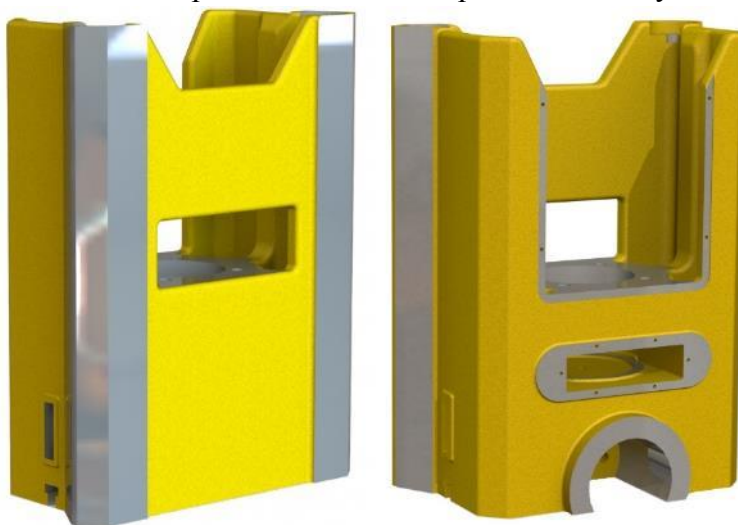
Výšku beranu lze přestavovat mechanismem zabudovaným v ojnici. Na výstředníkový hřídel je dále uloženo šroubové kolo, které zabírá s protikolem hřídele podávání. Nevýhodou výstředníkového lisu a obecně mechanických lisů je dosažení největší jmenovité síly těsně před dolní úvratí a nebezpečí překročení jmenovitého kroučícího momentu stroje. Výstředníkové lisy jsou určeny pro střední a malo-sériovou výrobu pro technologie stříhání, mělké tažení, pýchování a ohýbání.

Beran lisu je výstupní součástí pohybové soustavy stroje. Pohyb beranu je určován ojnicí a veden mezi vodícími lištami. Na obr. 3 je možné vidět konstrukční návrh

beranu, který je tzv. skříňovitého tvaru. Jedná se o hmotný odlitek z šedé litiny ČSN EN 42 2424. Při svých rozměrech tento beran váží 498 kg. Na obr. 3 lze vidět kvádrou dutinu, ve které je umístěna tlaková pojistka, která se v případě nadměrného přetížení přestřihne a zdeformuje. Následkem toho dojde k uvolnění spojovacích mechanismů v beranu, čímž beran



Obr. 2 – Konstrukční návrh výstředníkového lisu LET 160



Obr. 3 – Konstrukční návrh beranu lisu

přestane pracovat. Ke spodní funkční ploše beranu jsou upevňovány tvářecí nástroje pomocí T drážky.

Po dlouholeté pracovní vytiženosti stroje LET 160 a nepřímých známek poškození hlavních mechanických částí stroje požadoval zákazník celkovou generální opravu stroje. Velmi výraznou skupinou opravy je sestava beranu. Aktuální stav beranu lze vidět na obr. 4, který na první pohled poukazuje na rozsáhlé opotřebení. Průběh celkové opravy beranu lze ve stručnosti popsat následujícím postupem: Otryskávání, změření funkčních rozměrů dle měřicích výkresů, defektoskopická kontrola na odhalení případných trhlin, oprava případných trhlin, konstrukční a technologická renovace funkčních ploch. Po otryskání a následné defektoskopické kapilární zkoušce byla zjištěna rozsáhlá prasklina zadní stěny beranu, viz obr. 4 (zakroužkovaná pozice) a detailní pohled na trhlinu po defektoskopické zkoušce na obr. 5. V Oblastech rohů a zákoutí odlitků jsou nejčastěji iniciované trhliny z důvodů koncentrace napětí nebo výskytu nehomogenit. Poškození tohoto beranu mohlo nastat z důvodu možného přetížení stroje, které dokazuje prasklá a zdeformovaná tlaková pojistka beranu, viz příloha 1. Obsáhlejší fotodokumentace je umístěna v přílohách 2-3.

Na obr. 5. je znázorněná tloušťka prasklé stěny 35 mm. Orientační délka trhliny byla změřena na zadní vnější ploše 40 mm a na vnitřní ploše stěny 30 mm. Volba technologie opravy bude rozebrána v pozdější kapitole, určovat ji budou různé okolnosti a požadavky na výsledek opravy. Jedním z mnoha kritérií jsou nároky na mechanické vlastnosti spoje. Beran lisu pracuje při dynamických podmínkách zatěžování, musí tudíž odolávat cyklicky se opakujícím rázům a tlakovému napětí. Materiál řešené součásti, jak již bylo zmíněno, je šedá litina označení ČSN 42 2424. Litiny obecně vykazují dobré mechanické vlastnosti při namáhání tlakem. Šedá litina obsahující grafit ve formě lupínků navíc velmi dobře tlumí rázy a vibrace.



Obr. 4 – Stav beranu po demontáži



Obr. 5 – Trhлина beranu

1.1 Variantní řešení opravy [2], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19]

Vzhledem k rozsahu poškození součásti je možné prasklý beran opravit různými technologiemi. Je nutné vybrat takovou technologii opravy, která bude nejen nejlépe splňovat požadavky na bezvadný provoz beranu lisu, ale také bude vhodná z ekonomického hlediska. To znamená že je snaha o co největší kvalitu opravy s nízkými počátečními a provozními náklady. S počátečními náklady souvisí znalost technických a dispozičních možností, kterou disponuje konkrétní firma. V případě, že by byla zvolena technologie, na kterou firma nemá dané potřebné technologie, náklady na nákup by buď výrazně vzrostly nebo by oprava musela probíhat v kooperaci.

Na opravu poškozeného beranu je možné použít technologii pájení, Metalock anebo svařování – konkrétně svařování plamenem a ruční obloukové svařování s obalenou elektrodou:

- Pájení – je technologie nerozebíratelné spojování materiálů doprovázená tepelným procesem, kdy nedochází k natavení základního materiálu. Taví se pouze přídavný materiál – pájka. Spoj vzniká difuzním spojením základního materiálu, pájky a tavidla. Podle teploty tavení přídavného materiálu se pájení dělí na:

- Měkké pájení (do 450 °C)
- Tvrdé pájení (nad 450 °C)

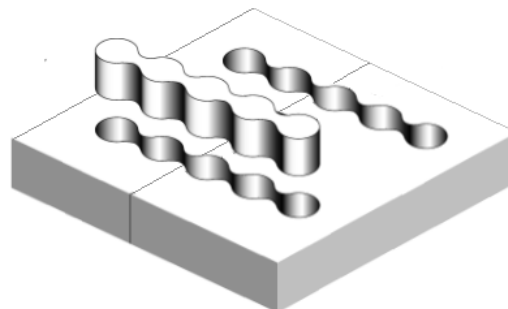
Litiny za účelem opravy lze pájet metodou tvrdého pájení. Zdrojem tepla je kyslíko-acetylenový plamen, viz obr. 6. Při pájení se litina nesmí natavovat, pouze ohřívat na teplotu kolem 650 °C. Pájitelnost litiny znesnadňuje horší smáčivost vlivem velkého množství grafitu. Použití pájky na bázi mědi lze dosáhnout mechanických vlastností



Obr. 6 – Pájení plamenem [13]

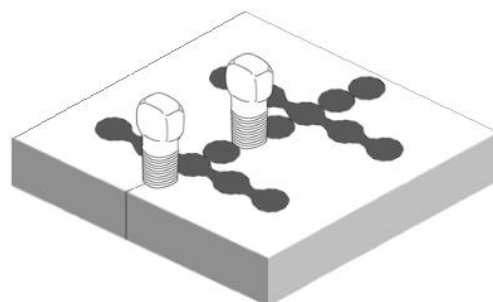
základního materiálu. Pevnost pájeného spoje však záleží na druhu spoje a pájené mezeře. Oproti svařování dosahují pájené spoje mnohem menších pevností. Pájení litiny za účelem opravy je vhodné tehdy, kdy je primární požadavek těsnost spoje. Pro opravu prasklého beranu není pájení vhodné z důvodů vysokých nároků na mechanické zatížení.

- Metalock – je speciální metoda oprav prasklin, trhlin odlitků při netepelném procesu. Principem je spojování prasklých částí pomocí ocelových svorek Metalock ze speciální vysokopevné oceli do předem připravených otvorů, viz obr. 7. Vkládáním a zapěchováním „Metalocků“ se obnoví mechanická únosnost a těsnost součásti. Po zjištění rozsahu praskliny je nutné navrhnout velikost svorek v závislosti na tloušťce stěny a velikosti praskliny. Pro umístění svorek se napříč (jako stehy) vyvrtají otvory pomocí šablony. Stehy se dělají různé délky, aby nebylo napětí, které je přenášeno do opravovaného materiálu koncentrováno do jedné linie konců stehů. Do dutin se vloží svorky a následně se zatěmují. Pro zajištění těsnosti spoje se vkládají podél trhliny



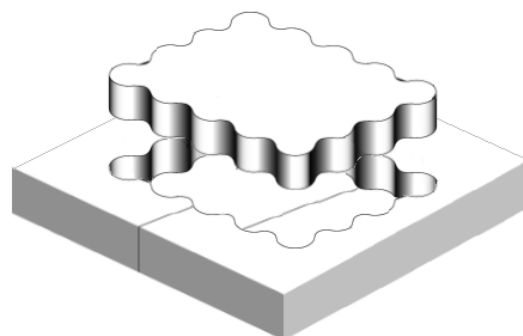
Obr. 7 – Schéma metody Metalock [16]

količky se závitem, tzv. „Metalace“ viz obr. 8. Převyšující materiál svorek a kuliček je následně odsekán nebo odbroušen do roviny s původním materiálem.



Obr. 8 – Metalace [16]

Jedná-li se o trhlinu v místě koncentrace napětí od provozního namáhání opravované součásti, nebo tam kde již na rozsah poškození nestačí svorky, přistupuje se k použití zvláštních vložek „Masterlock“ z vysokopevné oceli. Vložky Masterlock jsou tvarované na míru pro danou opravu. Jejich tvar je dán rozsahem poškození, tvarem vady a součásti. Schéma této formy metody je na obr. 9.



Obr. 9 – Metoda Masterlock [16]

Hlavní výhodou této metody je fakt, že nedochází k tepelnému ovlivnění základního materiálu, dále univerzální použití jak tvarové, tak i materiálové.

Opravovat lze všechny druhy litin, ocelolitín, ale také neželezné kovy, které mají tloušťku stěny větší jak 4 mm. Vysoká pevnost spojů je dána materiálem svorek, kuliček a vložek. Pokud to umístění vady nevyžaduje, není nutná demontáž součásti. Při zkušené obsluze lze opravu provést velmi rychle a na místě.

Nevýhodou je pracnost opravy, její specifikum vyžaduje vysokou kvalifikaci obsluhy. Oprava není vhodná pro tenkostěnné součásti. Metoda Metalock je však licenční metoda a pro její vykonávání je nutná licence, nebo sublicence s omezeným oprávněním použití této metody.

- Svařování plamenem – patří mezi základní metody oprav litinových odlitků. Schéma metody je uvedeno na obr. 10. Zdrojem tepla je chemická energie hoření plamene, který vznikne hořením směsi oxidujícího a hořlavého plynu. U svařování litiny se jedná výhradně o kyslíko-acetylenový plamen. Při svařování litiny je nutné obě svařované plochy materiálu předehřát na teplotu (550-650 °C). Následné tavení litiny a přídavného materiálu probíhá nepřímou přes roztavenou svarovou lázeň pod tavidlem na bázi boru. Tavidlo zde slouží k odstranění povrchových oxidů



Obr. 10 – Svařování plamenem [12]

při tavení litiny. Jako přídavný materiál se používají litinové „tyčinky“ stejného nebo podobného chemického složení jako základní materiál. Vysoká teplota předehřevu zajišťuje snížení rychlosti ochlazování. Po svaření následuje dohřev v peci s řízeným pomalým ochlazením (3-5 h) až na 150 °C. Díky tomu nedochází ke vzniku tvrdých struktur v TOO (tepelně ovlivněné oblasti). Naopak tomu je tímto procesem metoda

energeticky náročná a svařování při tak vysokých teplotách je pro svářeče velice nepříjemné.

- Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou – dle evropského pojmenování Manual metal arc welding (MMA) je nejrozšířenější metodou svařování litin. Jako u všech metod obloukového svařování je zdroj tepla pro roztavení základního a přídavného materiálu je využíván elektrický oblouk, hořící mezi elektrodou (přídavný materiál) a základním materiálem, viz obr. 11.

Obalená elektroda se skládá z jádra a obalu. Při svařovacím procesu se tvoří z obalu struska, která chrání svarový kov před oxidací. Kovové jádro jakožto přídavný materiál je pro svařování litiny složeno z prvků podporující správné tuhnutí svarového kovu a vyrovnává tahové pnutí při chladnutí. Nejčastěji se



Obr. 11 – Svařování metodou MMA [19]

jedná o prvky (Ni, Cu a jejich slitiny s železem). Obalené elektrody jsou velmi náchylné na vlhkost, čímž se do svarového kovu dostává nežádoucí vodík. Před svařováním je nutné elektrody vysušet v peci. Při svařovacím procesu se z obalu dostávají rafinační prvky a ochranné prvky, které čistí svarový kov a vytváří ochrannou atmosféru.

Výhodou této metody je její jednoduchost, rozšířenost z hlediska dostupného zařízení a kvalifikovaných pracovníků. Dále není potřeba externího zdroje plynu, metoda je vhodná pro svařování širokého spektra materiálů včetně litin. V neposlední řadě výhod při svařování litiny se využívají nižší teploty předehřevu jako u plamene.

Nevýhodou je horší kvalita svarů, častá výměna elektrod a nutnost odstranění strusky po každé svarové vrstvě.

Z navrhovaných a výše popsaných technologií se nejlépe jeví pro opravu řešené součásti ruční obloukové svařování obalenou elektrodou. Důvodem zvolení jsou vyhovující technologická i ekonomická hlediska. Firma Šmeral Brno disponuje kvalifikovanými pracovníky pro zvolenou metodu a vzhledem k zavedené technologii ve firmě Šmeral, budou investiční náklady minimální.

2 TECHNOLOGIE OPRAV ODLITKŮ SVAŘOVÁNÍM [20], [10], [11], [21]

Litiny, jak to z jejich názvu vyplývá jsou určeny vzhledem ke svým vlastnostem k odlévání. Součásti vyrobené z litin se svařují výhradně za účelem opravy. Opravují se vady vzniklé při odlévání, trhliny a lomy odlitků vzniklé po dlouhodobém užívání stroje či nadměrném namáháním, jak je možné vidět na obr. 12, na kterém je prasklá součást a následně výsledek opravy svařováním.



Obr. 12 – Oprava prasklé litinové součásti [17]

K opravě odlitků svařováním můžeme také přistoupit po procesních chybách při obrábění, např. oprava chybně vyvrtaného otvoru. Litiny obecně se svařují obtížně, ale při dodržení správných procesních parametrů jsou téměř všechny druhy litin svařitelné. Výjimkou je bílá litina, která kvůli své vysoké křehkosti je prakticky nesvařitelná. Z těchto důvodů je základním předpokladem správného návrhu technologie opravy znalosti problematiky litin a technologie svařování. Činitele a jejich vzájemné působení, mající největší vliv na kvalitu provedené opravy:

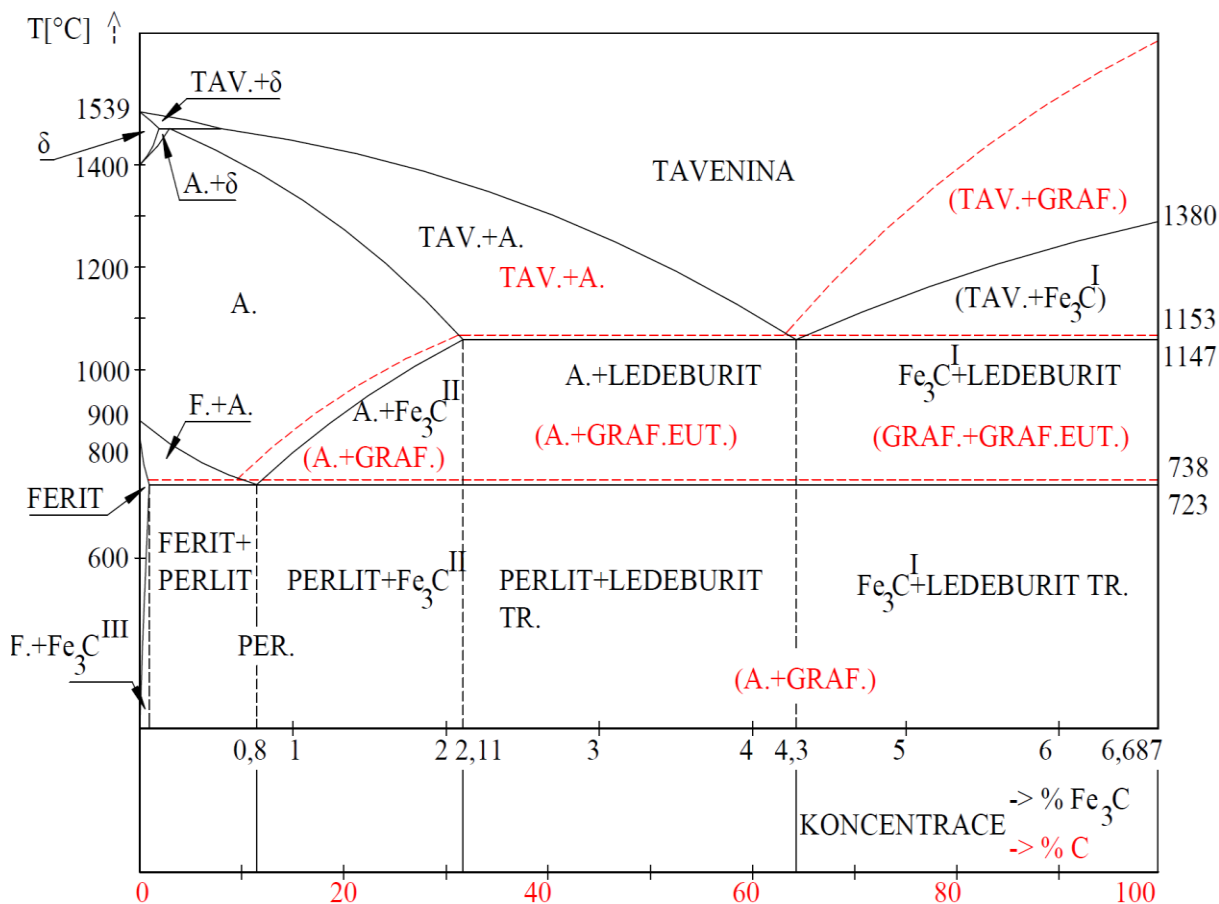
- svařitelnost opravovaného materiálu
- metoda svařování
- přídavné materiály
- příprava svarových ploch
- tepelné zpracování svarků
- vlastní vliv svářeče

Při návrhu technologie opravy svařováním a jejího postupu je nutné zvážit různé okolnosti, se kterými je poškozená součást spjata. Záleží především na požadovaných vlastnostech svarového spoje, které musí být v souladu se správným fungováním opravené součásti. Kromě primárních požadavků na mechanické vlastnosti svarového spoje, může být návrh technologie opravy ovlivněn požadavky na vzhled opravovaného místa. Tím je myšlen případ, kdy je opravovaná součást svařovaná přídavným materiálem s odlišným zbarvením a také s odlišnými korozními vlastnostmi. Dále záleží na dispozičních, technických a kvalifikačních možnostech firmy, která se na opravě podílí.

2.1 Problematika litin a jejich rozdělení [1], [20], [22], [23]

Litiny mají největší procentuální zastoupení z celé škály slévárenských slitin. Litina je slitina železa s uhlíkem a dalších přísadových prvků, kde uhlík se vylučuje ve formě grafitu, případně u litiny bílé ve formě karbidu Fe_3C . Uhlík v litinách dosahuje hmotnostního procenta vyššího než 2 %. Grafit porušuje kovové vazby v litinách, jeho pevnost je velice nízká, prakticky tak zmenšuje nosný průřez kovové matrice, čímž způsobuje nízkou pevnost v tahu a vysokou křehkost. Je tedy důležitý nejen obsah uhlíku, ale i tvar grafitu a jeho rozložení ve struktuře. Nevhodný tvar grafitu jako např. lupínkovitý může na svém konci působit vrubovým účinkem. Další zásadní vliv na mechanické vlastnosti litiny má její základní kovová hmota. V závislosti na jejím obsahu a struktuře (feritická, perlitická, ledeburitická, austenitická) se mění vlastnosti litin. Čím větší je obsah feritu, tím je litina houževnatější a lépe se svařuje. Naopak tomu se zvyšujícím se obsahem Fe_3C litina získává pevnost a tvrdost.

Na základě strukturního hlediska rozlišujeme litiny dle formy uhlíku vzniklého při eutektické krystalizaci. Při vysokých rychlostech ochlazení a vysokém obsahu karbidotvorných prvků (Mn, Cr, S, V) dochází ke vzniku ledeburitického eutektika, které je složeno z austenitu^{ET} a cementitu^{ET}. Krystalizace se tak řídí dle metastabilního diagramu Fe – Fe_3C , viz obr. 13. Tyto litiny se nazývají ledeburitické, nebo též bílé litiny. Vyznačují se vysokou tvrdostí, křehkostí a špatnou obrobiteľností. Jejich využití je omezeno na součásti, u kterých není podstatná houževnatost, ale vyžadující velkou otěruvzdornost. Z bílé litiny je tepelným zpracováním vyráběná litina temperovaná.



Obr. 13 – Diagram Fe-Fe₃C a Fe-C [1]

Naopak při nižší rychlosti ochlazení a obsahu grafitotvorných prvků (Si, Ni, Cu, Al), vzniká ve struktuře grafitické eutektikum, které je složeno z austenitu^{ET} a grafitu^{ET}. Krystalizace

probíhá podle stabilního diagramu Fe-C, viz obr. 13 (červený popis a hranice), obsažený uhlík se ve struktuře je tedy ve formě grafitu. Grafitické litiny lze dělit dvojím způsobem:

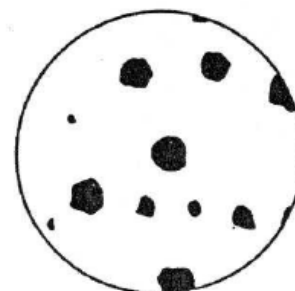
- dle tvaru grafitu – hodnotí se dle normy ČSN EN ISO 945 (lupínkový, kuličkový, vermikulární, vločkový)
- dle základní kovové hmoty (feritická, perlitická, ferito-perlitická, austenitická, ledeburitická, martenzitická)

Rozdělení grafitických litin dle tvaru vyloučeného grafitu:

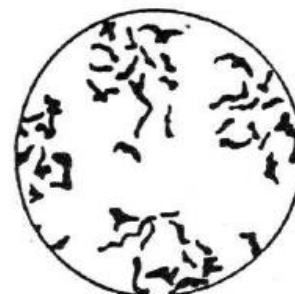
- ❖ Litina s lupínkovým grafitem – nazývána také šedá litina obsahuje grafit, který je tvarem podobný zelné hlávce a na metalografickém výbrusu se projeví tvarem lupínků, viz obr. 14. Konce lupínků jsou ostré a koncentrují v těchto místech napětí, ze kterých se dále mohou šířit trhliny. Litina s lupínkovým grafitem vzniká bez jakýchkoliv metalurgických zásahů a je nejčastěji využívanou litinou. Z mechanických vlastností vykazuje dobrou odolnost proti tlakovému napětí, tvárnost a houževnatost je však mizivá. Z technologického hlediska se vyznačuje dobrou obrobiteľnosť a slévateľnosť. Její výraznou kladnou vlastností je velice dobré tlumení rázů a vibrací.
- ❖ Litina s kuličkovým grafitem – neboli litina tvárná, s grafitem v ideálním stavu ve tvaru kuliček na obr. 15, obvykle je však grafit „nedokonale zrnitý“ a je získáván očkovaním přísadovými prvky (Mg, Ce). Vzhledem k výhodnému tvaru grafitu, je základní matrice porušována podstatně méně než lupínkovým grafitem. Mechanické vlastnosti tohoto typu litiny se blíží k vlastnostem ocelolitiny a ocelí. Vyznačuje se na poměry litin relativně dobrou houževnatostí a tažností.
- ❖ Litina s vermikulárním grafitem – tvar grafitu je červíkovitého charakteru, viz obr. 16, a podobá se lupínkovitému grafitu. Má však nižší poměr délky ku šířce a zaoblenější konce. Vykazuje lepší hodnoty tažnosti a houževnatosti než litina s lupínkovitým grafitem. Využívá se k výrobě bloků válců motorů.
- ❖ Temperovaná litina – grafit je ve tvaru vloček, které jsou na obr. 17. Temperovaná litina vzniká dlouhodobým žíháním bílé litiny v temperovacích hrncích, zasypána temperovací hmotou, a rozpadem ledeburitického karbidu z bílé litiny. Dle tepelného zpracování a výsledné struktury se dělí na litinu s černým a bílým lomem. Vyznačuje se dobrou korozní odolností a vhodnými mechanickými vlastnostmi.



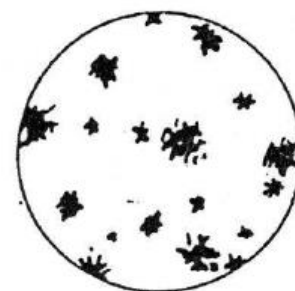
Obr. 14 – Lupínkový grafit [1]



Obr. 15 – Kuličkový grafit [1]



Obr. 16 – Vermikul. grafit [1]



Obr. 17 – Vločkový grafit [1]

Dalším kritériem pro bližší rozdělení litin je podle struktury základní kovové matrice. Různé druhy struktur mohou zásadním způsobem ovlivňovat mechanické vlastnosti litin. U nelegovaných litin za normálních teplot vznikají struktury: feritické, perlitické, ferito-perlitické, případně ledeburitické. Legováním litiny přísadovými prvky nebo též tepelným zpracováním lze docílit vzniku struktur jako např.: austenitické, bainitické nebo martenzitické. Vznik určité struktury základní kovové hmoty závisí na chemickém složení, rychlosti ochlazování a tepelném zpracování.

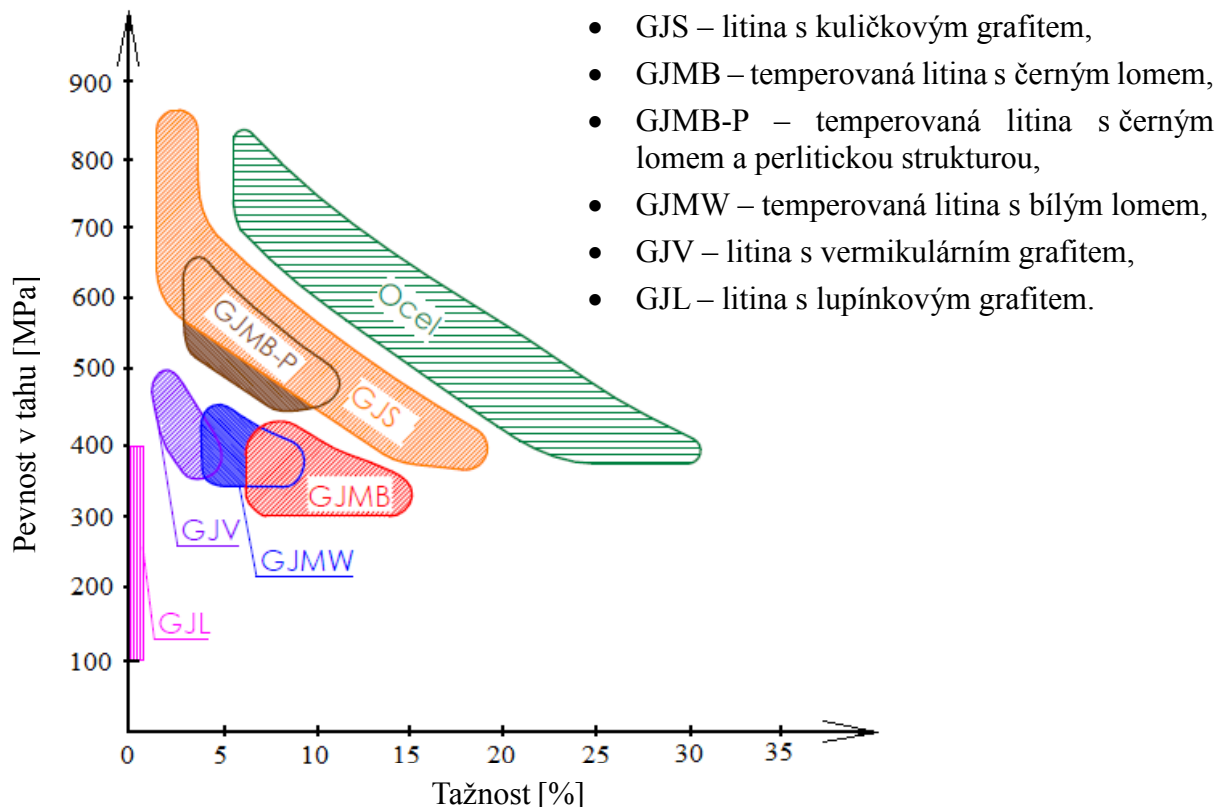
Feritická struktura vzniká při pomalém ochlazování dle stabilního diagramu, kdy při eutektoidní přeměně se austenit transformuje na ferit. Feritická struktura je měkká, relativně tvárná čímž je nositelkou houževnatosti a dále zlepšuje obrobiteľnosť litiny.

Perlitická struktura vzniká rozpadem austenitu na ferit a perlitický cementit podle metastabilního diagramu. Cementit zvyšuje pevnost a tvrdost struktury, avšak na úkor horších plastických vlastností a obrobiteľnosti, než má ferit. Perlit se může tvořit ve formě lamel nebo globulí. Globulární perlit vzniká např. sferoidizačním žháním a zlepšuje obrobiteľnosť litiny.

Austenitická struktura se objevuje u nelegovaných litin pouze při teplotách nad hranicí eutektoidní přeměny. Při naletování litiny niklem (více jak 18 %) je austenit ve struktuře stabilní i za normální teploty. Austenitická struktura zvyšuje tvárnost, odolnost proti korozi a odolnost proti působení vysokých teplot.

Ledeburitická struktura je primárně tvořena austenitem a ledeburitickým cementitem, při eutektoidní přeměně vzniká ledeburit transformovaný, ve kterém se transformuje austenit na perlit. Tvoří základní strukturu bílých litin a je nositelem vysoké pevnosti, tvrdosti a hlavně křehkosti. V grafitických litinách vzniká při vysoké rychlosti ochlazení jako tzv. zákalka, zejména u tenkých stěn odlitků, u kterých je odvod tepla nejvyšší.

Porovnání mechanických vlastností různých druhů litiny lze vidět na obr. 18. a vysvětlení zkratk značení:

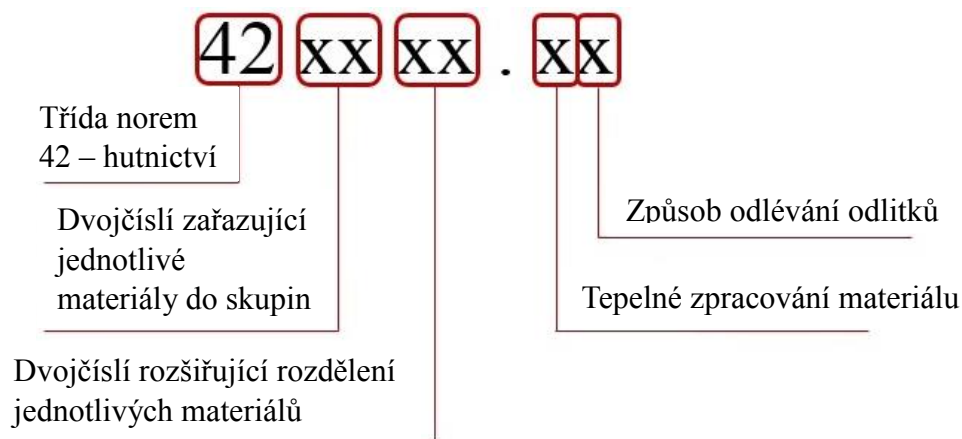


- GJS – litina s kuličkovým grafitem,
- GJMB – temperovaná litina s černým lomem,
- GJMB-P – temperovaná litina s černým lomem a perlitickou strukturou,
- GJMW – temperovaná litina s bílým lomem,
- GJV – litina s vermikulárním grafitem,
- GJL – litina s lupinkovým grafitem.

Obr. 18 – Mechanické vlastnosti nelegovaných litin [1]

2.1.1 Značení litin dle ČSN 42 0006 [24], [25]

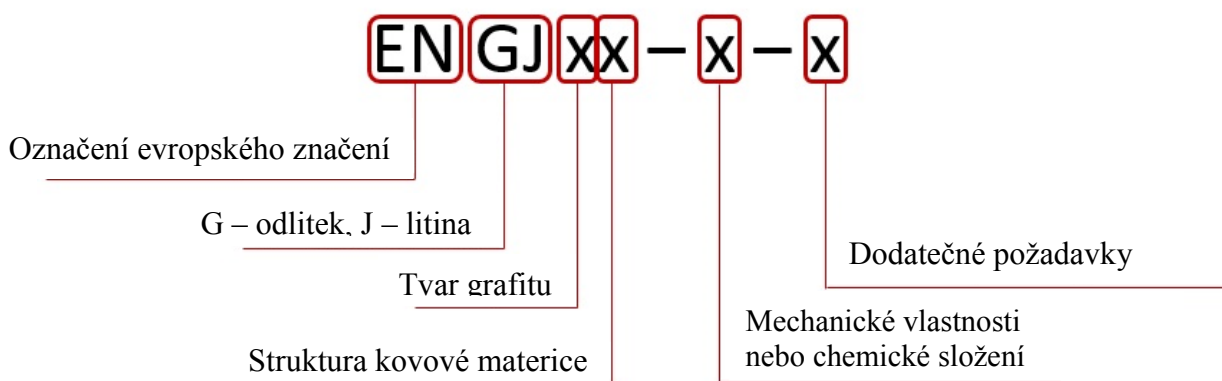
Číselné značení litin dle české normy ČSN 42 0006 je tvořeno základními šesti čísly, k nimž je možné přidat dvě doplňkové číslice vyjadřující stav materiálu a způsob zpracování. Značení litin a ocelí dle české normy je v posledních letech na ústupu na úkor sjednocování značení materiálů dle evropských norem. Avšak stále se využívá v mnohých podnicích, zvláště v těch, které mají českou základnu, a hlavně odebírajících hutní polotovary od českých dodavatelů. Jednotlivé části značení lze nejlépe vysvětlit schématem, viz obr. 19. Významy jednotlivých dvojčíslí a doplňkových čísel viz příloha 4.



Obr. 19 – Schéma číselného označení litin dle ČSN [24]

2.1.2 Značení litin dle EN ISO 1560 [1], [26]

Systém značení litin řízen dle normy EN ISO 1560 je rozdělen do dvou způsobů značení. Jedná se o značení číselné, které nemá souvislost s žádnou vlastností materiálu a je založeno na principech a struktuře stanovené EN 10027-2. Druhý způsob je značení podle vlastností, kterým se litiny označují symboly a čísla, vyjadřující hodnoty určitých mechanických vlastností. Značení je složeno z písmen označující typ grafitu a typ základní kovové hmoty, dále následují číslice vyjadřující mechanické vlastnosti (R_m , HB, A). Schéma značení dle vlastností lze vidět na obr. 20. Podrobnější popis jednotlivých skupin je v příloze 5.



Obr. 20 – Evropské značení litin [26]

2.2 Svařitelnost šedé litiny [1], [2], [3], [10], [11], [20], [23], [27], [28], [29]

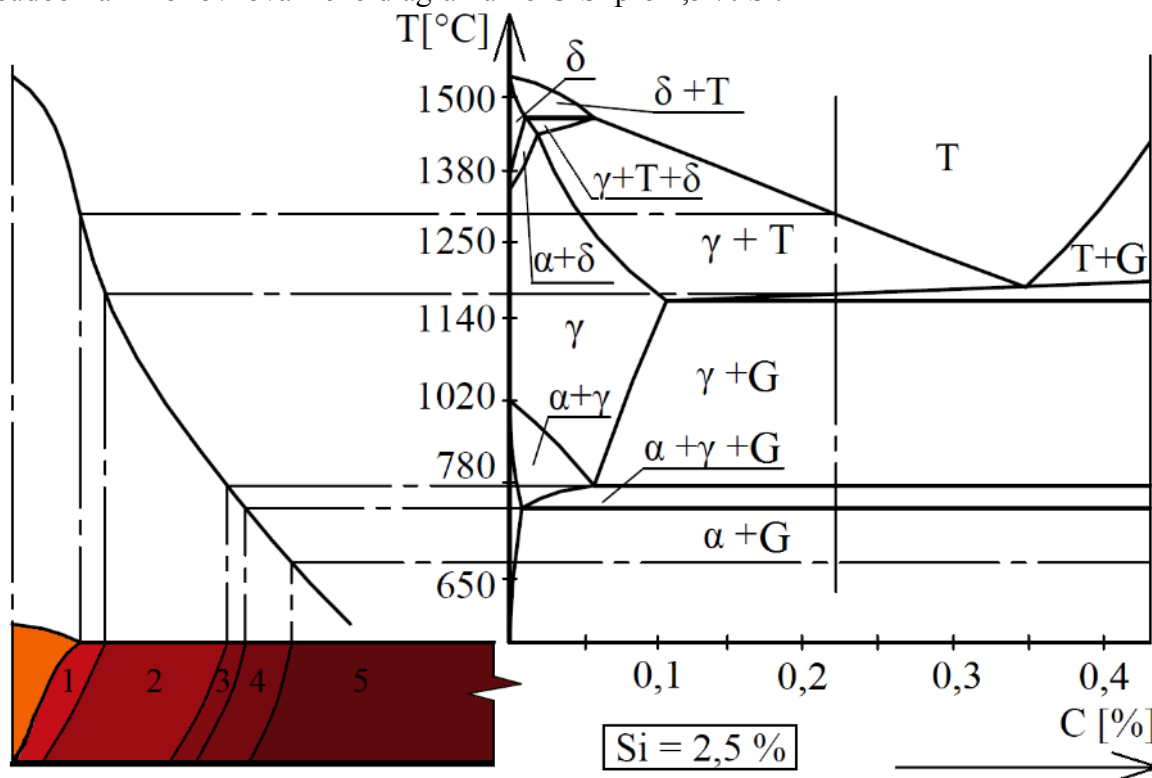
Mezi nejčastěji opravované odlitky patří právě ty, které jsou vyrobené z šedé litiny. Problematika svařování je do jisté míry podobná u všech druhů grafitických litin. Nejhůře svařitelná je však litina šedá. Postupem vývoje kovových materiálů a jejich výroby se zlepšily mechanické vlastnosti litin obecně. Svařitelnost však zůstává prakticky stejná. Napříč tomu se zdokonalují metody svařování a jakost přídavného materiálu.

Špatná svařitelnost šedé litiny pramení z chemického složení, vysoké heterogenity struktury a fyzikálně-mechanických vlastností. I přesto, že se šedá litina skládá ze stejných prvků jako ocel, rozhoduje o její svařitelnosti množství daných prvků. Zejména vysoký obsah uhlíku, křemíku, fosforu a síry, viz tabulka 1 – srovnání obsahů prvků uhlíkové oceli a šedé litiny, uvedené chemické složení litiny není normalizováno a liší se dle pevnostní třídy.

Tab. 1 – Srovnání obsahů prvků v uhlíkové oceli a šedé litině [1], [23]

Materiál	C [%]	MN [%]	Si [%]	P [%]	S [%]
Uhlíková ocel	0,17	0,7	0,2	0,045	0,045
Šedá litina	2,8-3,7	0,5-1,1	1,5-2,5	0,5	0,15

Strukturní změny ve svarových spojích šedé litiny s přídavným materiálem na bázi niklu jsou doprovázeny vznikem tvrdých a křehkých karbidických částic vlivem vysokého obsahu uhlíku a vysoké rychlosti ochlazování. Důsledkem legování vysokým obsahem niklu z přídavného materiálu vzniká ve svarovém kovu austenitická struktura. Nezávisle na přesném chemickém složení svarového kovu, celou tepelně ovlivněnou oblast lze rozdělit do pěti oblastí. Na obr. 21 lze vidět rozložení jednotlivých oblastí svarového kovu a přiřazení k teplotám do pseudobinárního rovnovážného diagramu Fe-C-Si pro 2,5 % Si.

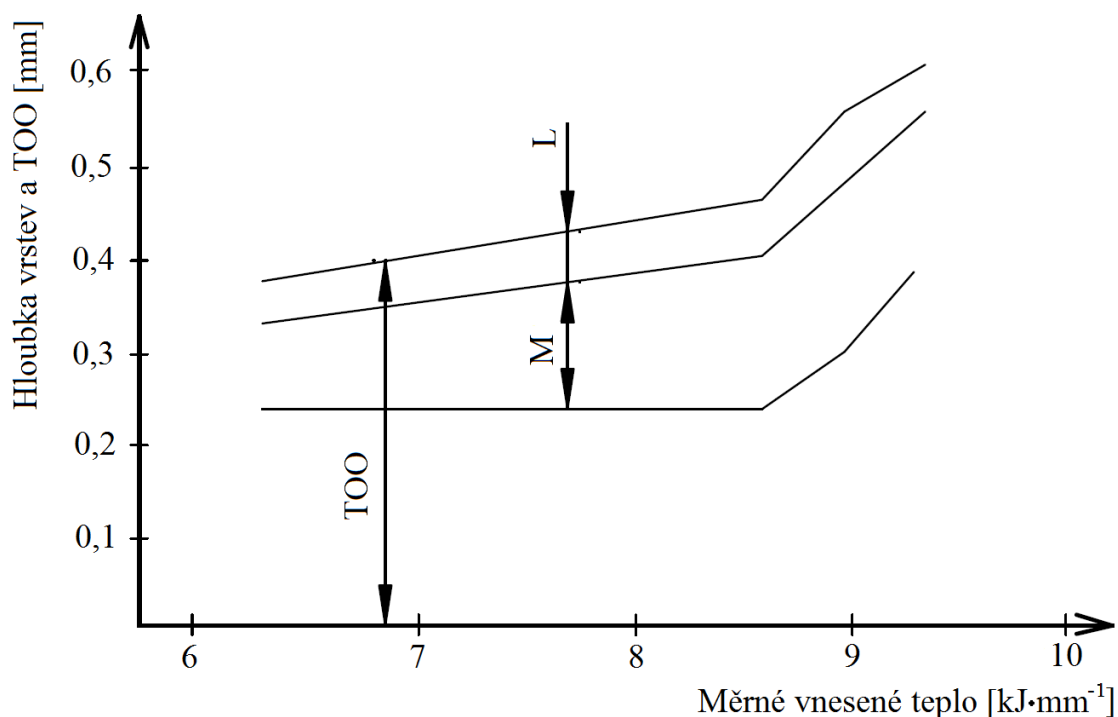


Obr. 21 – Oblasti TOO při svařování šedé litiny [3]

Oblast 1 je oblastí částečného natavení, ve které se teploty kovu pohybují v intervalu 1150 až 1250 °C. Tuhá fáze může být složena z austenitu, cementitu a grafitu. V tekuté fázi je rozpuštěné větší množství uhlíku a rychlosti ochlazování v ní dosahují vyšších rychlostí.

Z těchto důvodů se při tuhnutí vytvoří ledeburit. Úplné zamezení vzniku ledeburitu nezabrání použití přídavných materiálů s obsahem grafitotvorných prvků (Ni, Cu, C) a též ani použití vysokých teplot předehřevu.

Oblast 2 je austenitizační, ohřátá na teplotu v intervalu eutektické a eutektoidní přeměny. Vlivem vysokého obsahu křemíku eutektoidní rozpad probíhá mezi teplotami $A_{1.1}$ a $A_{1.2}$. Obsažené rovnovážné tuhé fáze jsou austenit, ferit a grafit. Při ochlazování této oblasti pod teplotu stability austenitu vznikají v závislosti na rychlosti ochlazování různé rozpadové struktury, jež jsou podobné jako při rozpadu austenitu v ocelích. A to jsou ferit, perlit, bainit, martenzit a zbytkový austenit. Rychlost ochlazování je dána dle času $t_{8/5}$, je to čas, který uběhne při ochlazení z teploty 800 °C na 500 °C. Rozdíl rozpadu austenitu v litině je odlišný od rozpadu v oceli tím, že probíhá v intervalu teplot a je způsobený mikrokvací křemíku, případně fosforu. Při vysokých časech $t_{8/5}$ vzniká ferit primárně v místech s vysokým obsahem křemíku. Perlit vzniká naopak v místech nižší koncentrace křemíku. Při kratších časech $t_{8/5}$ a tedy vyšších rychlostech ochlazování austenitu pod teplotou přibližně 400 °C dochází ke vzniku bainitu. Martenzitická struktura vzniká při ještě vyšší rychlosti ochlazování a přibližně při 220 °C. Hodnota $t_{8/5}$ je ovlivněna množstvím vneseného tepla do svarového spoje a hodnotou předehřevu. Šířka martenzitické a ledeburitické vrstvy se zvětšuje s růstem vneseného tepla Q . Při studeném svařování šedé litiny uvádí tuto závislost obr. 22.



M – martenzit, L – ledeburit

Obr. 22 – Závislost šířky TOO, M. a L. vrstvy na množství vneseného tepla [3]

Oblast 3 částečné překrystalizace je často velice úzká a tím i obtížně identifikovatelná. Dle experimentálních zkoušek teplotních cyklů byla prokázána částečná austenitizace při 750 °C ve středu eutektických buněk. Pokud probíhá svařování při teplotě předehřevu pod hodnotou martenzit start (cca 220 °C), po vychladnutí se v místech austenitu vytvoří ostrůvky martenzitu.

Oblast 4 se vyskytuje pod teplotou eutektoidní přeměny, nedochází zde k překrystalizaci základní kovové struktury. Při delším setrvání na teplotách této oblasti může nastat sferoidizace nebo případně rozpad perlitického cementitu.

Oblast 5 je základní teplem neovlivněná struktura. Hlavním tepelným účinkem na tuto oblast je snížení vnitřního napětí.

Snížení vzniku tvrdých a křehkých struktur v různých vrstvách TOO lze docílit následujícími opatřeními:

- použití předehřevu a dohřevu – snížení rychlosti ochlazení
- snížení množství vneseného tepla
- přidání grafitotvorných prvku do přídatného materiálu (Si, Ni, Cu)
- tepelné zpracování po svaření – žihání

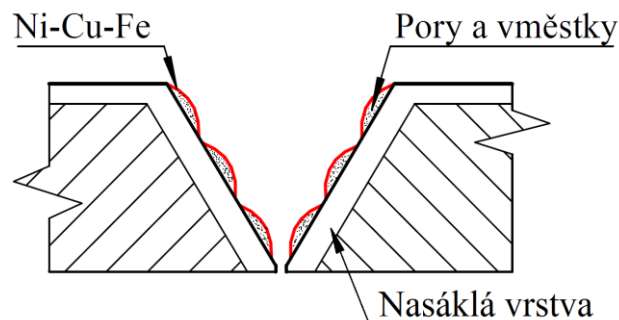
Snížení vnitřních napětí vyvolanými tepelným zatížením a výslednou deformací je možné dosáhnout

- rovnoměrným předehřevem,
- tvoření krátkých housenek,
- symetrickým kladením svarových housenek,
- prokování místa svaru ihned po dokončení housenky,
- volbou metody svařování s nižším vneseným teplem,
- volbou přídatného materiálu s velkou tažností.

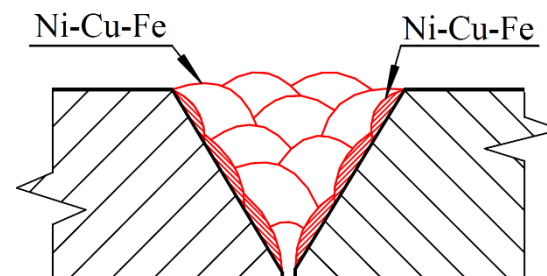
Obsah nečistot ve formě síry a fosforu je obecně v litinách taktéž zvýšený oproti ocelím. Což může mít za následek vznik horkých trhlin s následnou iniciací trhlin za studena.

Litiny jsou do značné míry pórovité a mají velkou schopnost nasákavosti. Když jsou vystaveny po delší dobu olejům, nasákne jimi materiál do hloubky a svařování je tak výrazně ztíženo. Ve svaru vzniká velké množství pórů, objevují se vměstky a ostatní nedokonalosti, které výrazně zhoršují mechanické vlastnosti spoje. V takovém případě je jedno z řešení provést návarovou odplyňovací vrstvu speciální elektrodou Ni-Cu-Fe, viz obr. 23. Důležité je nepřekrývat jednotlivé svarové housenky jednak z důvodů maximálního tepelného ovlivnění základního materiálu, které je v tomto případě poměrně žádané a z druhého důvodu, možného praskání svaru v překrytí. Mastnota a tuky se v povrchové vrstvě kolem svaru spálí, nebo vzlínají do svarového kovu a strusky, kde tvoří pórovitost. Tato vrstva se následně obrousí a dále se postupuje dle běžného postupu, viz. Obr. 24.

Velmi špatně se svařují nebo nejsou svařitelné vůbec odlitky, které byly vystaveny po delší dobu vysoké teplotě (u šedé litiny nad 750 °C). Hranice zrn kovové matrice zoxiďují a spálí se, při svařování se nevytváří tavná lázeň. Roztavený kov se shlukuje do kuliček a nespojí se.



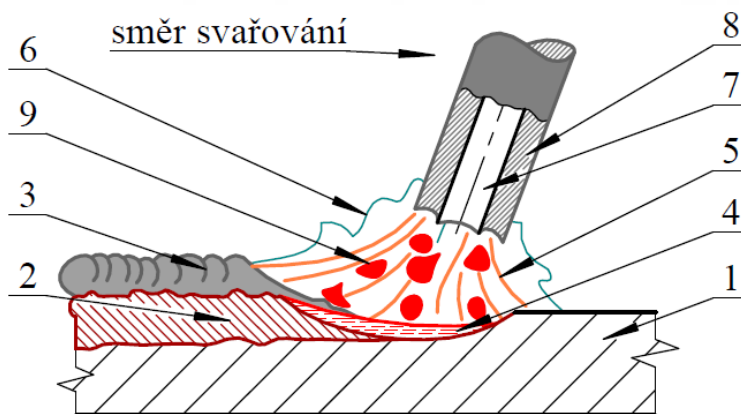
Obr. 23 – Odplyňovací vrstva [2]



Obr. 24 – Postup kladení housenek [2]

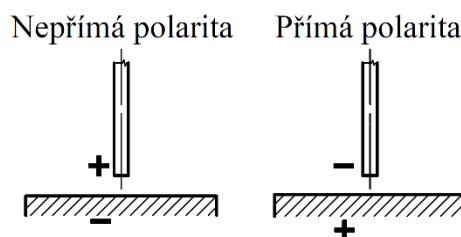
2.3 Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou [15], [18], [30], [31], [32]

Technologie ručního obloukového svařování obalenou elektrodou neboli Manual metal arc welding (MMA) je základní obloukovou metodou, pro které obecně je charakteristický zdroj tepla elektrický oblouk, hořící mezi základním materiálem a elektrodou. Vlivem tepla elektrického oblouku je základní svařovaný materiál a přídavný materiál elektrody ohříván na tavní teplotu. Roztavený kov elektrody přechází vlivem elektromagnetických a gravitačních sil sloupcem el. oblouku do svarové lázně. Vzájemným smíšením roztaveného přídavného a základního materiálu se vytváří svarový kov, který je povrchově chráněn struskou. Schéma metody je vyobrazené na obr. 25.



1 – základní materiál, 2 – svarový kov, 3 – struska, 4 – tavná lázeň, 5 – hořící oblouk, 6 – ochranný plyn, 7 – kovové jádro, 8 – obal elektrody, 9 – kapky kovu
obr. 25 – Schéma metody MMA [18]

Elektrický oblouk je vysokotlaký, nízkonapěťový výboj, hořící v prostředí ionizovaného plynu (plasmy). Udržení el. oblouku je závislé na dostatečně velkém proudu a vyšším napětí, než je ionizační napětí. Hořící oblouk je chráněn před vlivy okolního prostředí prvky, které jsou obsaženy v obalu elektrody. Elektrický oblouk výrazně ovlivňuje své okolí vlivem svými elektrickými, mechanickými a tepelnými účinky. Rozložení tepla mezi elektrodou (anoda) a svařovaným materiálem (katoda) není rovnoměrné a závisí na více faktorech. Souvisí však s dopadem záporných částic (elektronů) na elektrodu, která se vlivem dopadu částic zahřívá. Naopak tomu katoda se jejich termoemisí ochlazuje. Tepelný poměr závisí na materiálu elektrody prostředí, v němž oblouk hoří a na typu elektrického proudu. Běžně teplota v blízkosti elektrody dosahuje hodnot v rozmezí (2300 – 2600) °C, teplota u svařovaného materiálu se pohybuje v rozmezí (2100 – 2400) °C. Při svařování stejnosměrným proudem je využita volba polarity oblouku. Rozeznáváme přímou a nepřímou polaritu, obě jsou patrné z obr. 26. Zvolení konkrétního zapojení závisí na druhu obalu elektrody.



Obr. 26 – Způsoby polarity [32]

Pro svařování jsou využívány zdroje střídavého nebo stejnosměrného proudu. Zdroje střídavého proudu jsou transformátorového typu. Důvodem jejich používání je jednoduchost, nízké pořizovací náklady a snadná údržba. Nevýhodou je však omezení při volbě elektrod (nutné užití elektrod se speciálně upraveným obalem) a také nelze svařovat ve všech polohách. Mnohem více se využívají zdroje stejnosměrného proudu, které jsou mnohem lehčí, přenosnější, lépe ovladatelnější, umožňují svařovat ve všech polohách a dovolují svařovat pomocí jakýkoliv typů elektrod. Zdroje stejnosměrného proudu mohou být např.: dynamy, usměrňovače s tyristorovým řízením nebo usměrňovače na bázi invertorů.

Charakteristickým rysem metody MMA je svařování pomocí elektrody, která je tvořena obalem a kovovým jádrem. Jádro elektrody je kovový přídavný materiál určitého chemického

složení, které je voleno na základě požadovaných mechanických a chemických vlastností spoje. Obal elektrody obsahuje prvky, které slouží mnohými způsoby:

- legováním svarového kovu feroslitinami,
- rafinací tavné lázně dezoxidujícími prvky,
- ochranou, stabilizací hoření a usnadnění zapálení el. oblouku je dosažena obsahem ionizačních látek na bázi solí alkalických kovů,
- ochranou roztaveného kovu před oxidačními účinky okolní atmosféry vlivem hoření plynotvorných sloučenin (např. celulózy),
- tvorbou strusky, která při chladnutí chrání svarový kov,

Elektrody se podle obsahu obalu a jeho charakteristických vlastností dělí na mnoho typů, ty nejzákladnější jsou:

- Kyselý obal – je složen z železité a manganové rudy, která slouží jako dezoxidační přísada. Další obsažené prvky slouží k lepší odstraňování strusky a formování svaru. Užívají se při svařování stejnosměrným i střídavým proudem.
- Rutilový obal – se skládá z oxidu titaničitého a dalších přídavných prvků, které napomáhají k příznivé tvorbě strusky, vytváří ochranné plyny a stabilizují oblouk. Svařovat lze stejnosměrným i střídavým proudem při obou polaritách.
- Bazický obal – obsahuje v největším množství vápenec, kazivec a feroslitiny. Vápenec se při hoření rozkládá na oxid uhličitý a uhelnatý a vytváří ochranné plyny pro tavnou svarovou lázeň. Tato plynová ochrana není tak účinná jako při rutilovém obalu a je nutné dodržovat kratší vzdálenost elektrody od svařovaného materiálu. Bazický obal je nejvíce náchylný na vlhkost, a tudíž je nutné vždy před svařováním vysoušet. Z důvodu vytváření husté tavné lázně a společného tuhnutí strusky s kovem, je možné svařovat ve všech polohách.
- Obal obsahující speciální prvky, např. grafit (pro svařování litiny)

Typické pro obalené elektrody je vysoká náchylnost na pohlcování vlhkosti, vlivem které nabývají na obsahu vodíku. Difúzní vodík je nežádoucím prvkem při svařování a má vysoký vliv na tvorbu studených trhlin. Elektrody musí být skladované při maximální relativní vlhkosti vzduchu 50 % a při teplotě nad 10 °C. Vlhké, nebo výrobcem doporučené elektrody je nutné před jejím použitím vysoušet. Režim sušení je volen dle doporučení výrobce.

2.4 Svařovací metody a přídavné materiály [2], [10], [11], [12], [27], [33], [34]

Pro svařování litiny elektrickým obloukem s obalenou elektrodou existují tři základní metody. Liší se především v intervalech teploty předehřevu, dále v použitých přídavných materiálech a také v samotném postupu svařování. Kritérii pro správnou volbu metody je více, např. požadavky na mechanické vlastnosti svarového spoje, technické zázemí pro ohřev součásti, rozměry a hmotnost součásti, demontážní možnosti opravované součásti, stejný barevný odstín svaru jako základní materiál apod.

- a) Svařování za vysokých teplot předehřevu ($T_p = 550\text{--}650\text{ °C}$) - Svařování za vysokých teplot předehřevu se využívá u menších součásti, které lze kompletně demontovat. Vysoký ohřev je však energeticky a ekonomicky náročný a dochází k deformaci ploch vyhotovených na čisto. Tato metoda je tedy vhodná např. pro hrubé odlitky, nebo součásti které lze znovu obrobit na požadované funkční rozměry.

Vysoká teplota předehřevu zajišťuje snížení rychlosti ochlazování. Po svaření by měl následovat dohřev v peci s řízenou rychlostí ochlazení 50 °C/h od teploty 450 °C do 150 °C. V okolí svaru nedochází k zakalení struktury a nevzniká bílá litina. Zároveň dochází ke snížení vnitřního napětí. Vzhledem k nízké rychlosti chladnutí a nízké viskozitě litiny se svařuje převážně ve vodorovných polohách PA a PB.

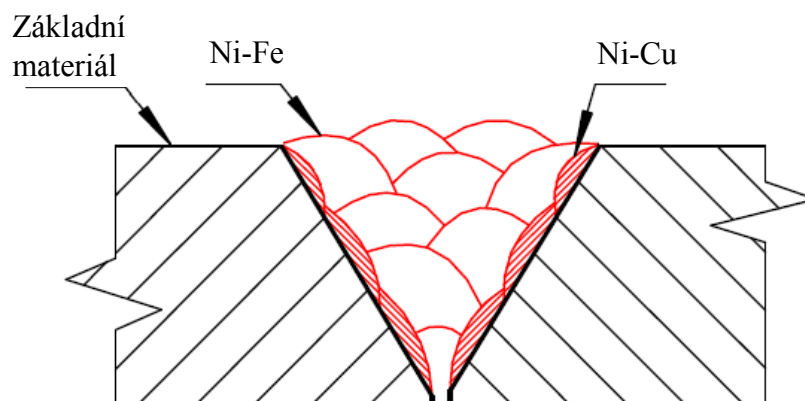
Svařuje se s litinovým přídatným materiálem, stejného nebo podobného chem. složení jako má základní materiál. Přídatný materiál je ve formě obalené litinové (GJL) tyčinky nebo legované obalené elektrody.

- b) svařování za středních teplot předehřevu ($T_p = 150\text{--}300\text{ °C}$) - Tento způsob se využívá u těch součástí, které nelze ohřát na vysokou teplotu předehřevu. Tedy u větších tvarově složitějších součástí. Dochází k částečnému omezení vzniku vnitřních napětí. Dosahuje se poměrně kvalitních svarů a svařeči nejsou obtěžováni nepříjemným sálavým teplem.

Přídatné materiály musí obsahovat prvky, které minimalizují vylučování cementitu. Jedná se tedy o prvky grafitotvorné a jsou to nejčastěji Cu, Ni. V závislosti na požadavcích svarového spoje jsou voleny přídatné materiály různých poměrů složení slitin (Fe+Ni), (Fe+Cu), (Ni+Cu). Kromě grafitizační vlastnosti musí mít přídatný materiál schopnost vyrovnávat tahové napětí při tuhnutí svarového kovu. To je dosaženo díky vhodných mechanických vlastností, zejména vysoké tažnosti Ni.

- c) svařování za studena (T_p do 70 °C) - Oproti výše zmíněným metodám se svařování za studena uplatňuje v případech, kdy je nutné součást opravovat přímo na stroji bez demontáže. Tato výhoda operativnosti souvisí s vyšší rychlostí procesu opravy a ekonomickou úsporou. Využívá se u součástí, u který by byl riskantní ohřev z hlediska vysokého tepelného napětí. Avšak vlivem vyšších rychlostí ochlazování při svařování za studena narůstá riziko vzniku křehkých struktur v přechodové oblasti TOO. A zvyšuje se náchylnost na zbytkové vnitřní napětí. Tyto tahové napětí lze do jisté míry eliminovat hned po vykonání svaru tzv. temováním, tedy vnášením tlakového napětí rázy. Temování může být prováděno buď kladívkem se zaobleným nosem, nebo pneumatickým oklepávačem s upravenými zaoblenými jehlicemi.

Přídatné materiály se používají na stejné bázi jako u svařování za poloohřevu. S tím rozdílem, že se volí slitiny materiálů na bázi niklu s vyšší tažností, nebo přímo čistě niklové elektrody. Nikl je však drahý prvek, a to se projevuje na ceně elektrody. Proto se i z tohoto důvodu přistupuje u svarů větších rozměrů k volbě odlišného přídatného materiálu pro návarovou vrstvu a pro výplň, viz obr.27. Tento způsob je stejný jako při svařování mastnotou nasáklé litiny, avšak v závislosti na preferencích, zdali je řešena mastnota,



Obr. 27 – Polštářování při svařování za studena [12]

mechanické vlastnosti nebo pohledové plochy, je volen přídavný materiál.

Přídavné materiály pro tavné svařování litiny jsou klasifikovány podle normy ČSN EN ISO 1071 zejména z hlediska chemického složení. Dále z hlediska tvorby svarového kovu stejné, podobného nebo odlišného chemického složení a struktury od základního materiálu. Dalším z hlavních hledisek je použití přídavného materiálu pro daný svařovaný materiál. Doporučené podmínky pro svařování výrobce předepisuje na obal elektrod, nebo dokládá v atestačním protokolu.

2.4.1 Předehřev a měření teploty [10], [12], [14], [30], [35], [36]

Teploty předehřevů metod a-c byly rozebrány v předcházející kapitole. Předehřevem je dosahováno zmenšení tepelného spádu mezi svarovým kovem a základním materiálem. Tím je výrazně je ovlivňována rychlost ochlazování, snížení difuzního vodíku a snížení zbytkového napětí. Fyzikální vlastností litiny je nízká tepelná vodivost, s tím souvisí vysoká citlivost na tepelné změny. S ohledem na tyto vlastnosti, musí být ohřev na teplotu předehřevu prováděn s nízkou rychlostí 50 °C/h do teploty 450°. Pomalým ohřevem a prohřátí odlitku v celém objemu je sníženo tepelné pnutí a riziko vzniku trhlin. Při svařování litin metodou MMA se využívají nejvyšší teploty do 650 °C (s výjimkou speciálně určených elektrod s vyšší doporučenou teplotou předehřevu dle výrobce). Kritickou teplotou pro šedou litinu je 750 °C, kdy dochází k poklesu mechanických vlastností vlivem zhrubnutí struktury a povrch součástí začíná oxidovat.

Měření teplot je prováděno pomocí různých měřicích zařízení pracujících na různých fyzikálních principech. Jsou to např. termokamery, pyrometry, termočlánky, termokřídly. Termo kamery a pyrometry pracují na základě měření termoemise vyzařující z ohřivaného tělesa. Termo křídly jsou materiály, které mají jasně danou teplotu tavení, dle které se přiložením měří povrchová teplota součásti.

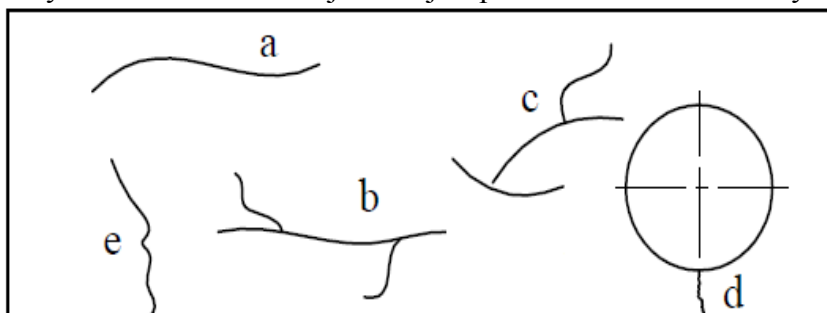
2.5 Příprava svarových ploch [2], [27], [36]

Nedílnou součástí opravy je příprava povrchu součásti. Zejména při svařování za studena je nutné ze všeho nejdříve okolí kritických míst před samotným zásahem do materiálu odmastit, očistit, zbavit rzi a nátěrů. Odmaštění se provádí vyvařením v odmašťovacím prostředku. Rez a nátěry jsou odstraňovány pískováním.

2.5.1 Zjištění rozsahu poškození [10], [11], [37], [38], [39], [40]

Velké trhliny a lomy jsou přímo viditelné okem, často jsou však na hrubém povrchu odlitku hůře čitelné hlavně u rozvětvených trhlin. Je nutné zjistit nejen průběh a ukončení velkých

trhlin, ale také na první pohled nepatrné trhliny. Právě takové opomenutí na nepatrné trhliny může způsobit další šíření během opravy, nebo při obráběcím procesu. Proto využíváme nedestruktivní defektoskopické zkoušky, nejčastěji práškovou



Obr. 28 – Druhy litin [11]

magnetickou a kapilární metodou. Různé druhy trhlin je možné vidět na obr. 28. Nejsnáze odhalitelné jsou trhliny a, d, e.

U trhlin u všech typů je však nutné, prověřit jejich rozvětvení defektoskopickými zkouškami:

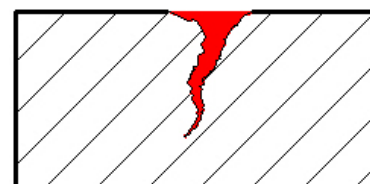
- ❖ kapilární metody – Zkoušení součástí kapilárními metodami je založeno na smáčivostních a vzlínavostních vlastnostech některých kapalin (penetrantů) a činidel podporujících vzlínavost penetrantů k indikaci povrchových trhlin, porezity, studených spojů atd. Vnitřní vady těmito metodami zkoušení není možné odhalit. Hlavními výhodami těchto metod jsou: jednoduchost, relativní rychlost vyhodnocení, univerzálnost, nízké pořizovací náklady. Naopak od ostatních nedestruktivních metod není podstatná složitost tvaru součásti. Kapilárními metodami lze zkoušet materiály kovové (feromagnetické i paramagnetické), nekovové (plasty, sklo, glazovaná keramika). Materiály, na které tato metoda uplatnit nelze jsou vesměs všechny porézní materiály. Kapilární metody lze rozdělit dle použitého penetrantu a tím vzniklé dané indikace:
 - barevná indikace (vada materiálu se projeví výrazným barevným znakem, viditelná při umělém bílém nebo denním světle)
 - fluorescenční (vzniklá fluorescenční indikace se projeví pod ultrafialovým světlem)
 - dvoj účelová (necelistvost povrchu součásti se projeví buď barevně nebo fluorescenčně, v závislosti na tom, jaké použijeme světlo)

Penetrant je kapalina, kterou nanášíme na zkoumaný povrch. Vniká do trhlin a necelistvostí, kde přečkává po přebytečném odstranění z povrchu až do nanesení vývojky. Nejdůležitější vlastnosti penetrační kapaliny: penetrační vlastnost, nízká těkavost, chemická netečnost, bez zápachu a toxicity.

Vývojka, která je nanášena na povrch součásti až po odstranění přebytečného penetrantu, napomáhá vzlínavosti, a tak indikaci vady. Nejčastěji se jedná o oxid zinečnatý, uhličitán vápenatý, kaolin, mastek.

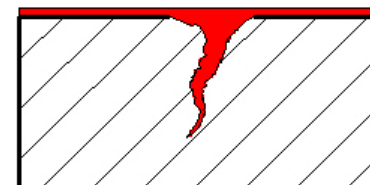
Postup provedení kapilární zkoušky:

Fáze 1 Na očištěný a odmaštěný povrch zkoušené součásti je nanesena (nástríkem, nátěrem, ponorem) penetrační látka, viz obr. 29. Aby penetrant dobře pronikl do případných necelistvostí je nutné jej nechat působit 5-10 min.



Obr. 29 – Fáze 1 [40]

Fáze 2 Přebytečná penetrační látka na povrchu zkoumané součásti je odstraněna setřením a následně se povrch očistí přípravkem na bázi rozpouštědla. Penetrant poté zůstává pouze v prasklinách a ostatních necelistvostech povrchu (obr.30)



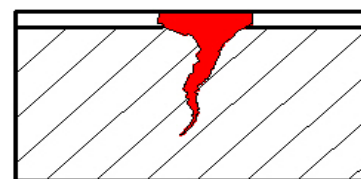
Obr. 30 – Fáze 2 [40]

Fáze 3 Dále se na povrch nanáší nástríkem vyvolávací vývojka (suspence bílého pigmentu v těkavé látce), viz obr. 31.



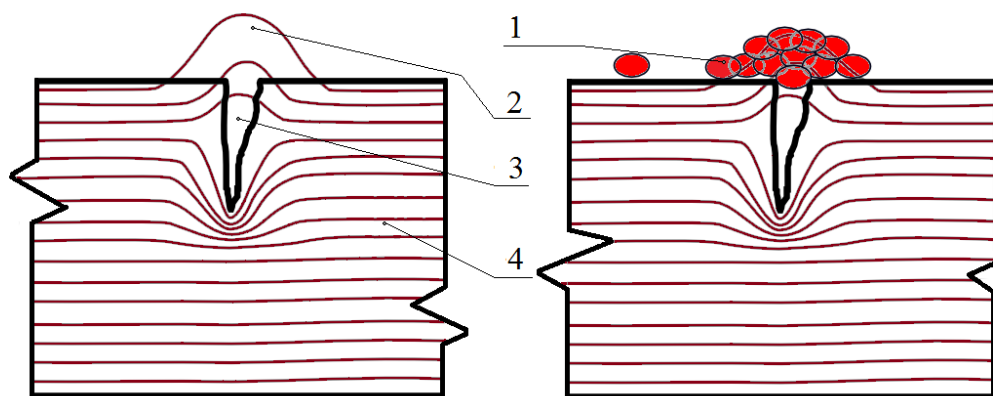
Obr. 31 – Fáze 3 [40]

Fáze 4 Ukrytá penetrační látka vyplyne na povrch součástí vlivem vzlinavosti a savosti vývojky. Na povrchu se tak vytvoří indikující obraz vady – obr. 32. Nejčastěji užitý pigment penetrační látky je červený, případně fluoreskující pod ultrafialovým zářením.



Obr. 32 – Fáze 4 [40]

- ❖ Prášková magnetická zkouška – tato metoda lze použít při zjišťování povrchových vad nebo vad těsně pod povrchem součástí. Základem je procházející magnetický tok zkoumanou součástí. V místě vady a jejím blízkém okolí, viz obr. 33, vzniká rozptýlení magnetických toků z důvodů náhlého nárůstu odporu. Rozptylový tok je právě ta část magnetických toků, která vystoupí nad vadou mimo průřez feromagnetického materiálu. Rozptylový tok, a tedy i vady materiálu u této metody detekujeme pomocí shluku částic feromagnetického prášku, viz obr. 33. Používané magnetické prášky jsou obvykle jemně rozemleté částice oxidů železa nebo měkkých ocelí s barevným pigmentem. Na místo prášku lze použít také tekutinu obsahující oxidy železa. Zkouška magnetického prášku je jednoduchá, investičně a provozně nenáročná. Pro její úspěšnou aplikaci je potřeba znát faktory, které ovlivňují konečný výsledek, jako jsou např. druh prášku (tekutiny), způsob magnetizace.



1 – Indikace shlukem magnetických částic, 2 – Rozptýlený tok, 3 – Trhlina, 4 – Magnetický tok siločar

Obr. 33 – Schéma práškové magnetické zkoušky [39]

2.5.2 Svařovací kapsa a svařové úkosy [2], [10], [11], [12], [35]

Trhliny musí být bez podmíněně upravené pro proces svařování, odebráním materiálu a vytvoření správného rozevření místa svaru (tedy vytvoření svařových úkosů vhodné geometrie pro svařování litin). Nejprve je nutné odvrtat konce trhliny, a to z důvodu zabránění dalšího šíření při tepelném nebo obráběcím procesu vytváření svařových úkosů. Při odvrtávání je důležité zvolit vhodný průměr vrtáku v závislosti na tloušťce svařovaného materiálu. Pro tl. stěny do 15 mm je nejvhodnější otvor $\varnothing 6\text{--}8$ mm. Pro tl. do 25 mm vyhovuje vyvrtaná díra $\varnothing 8\text{--}12$ mm. Při svařovaných tloušťkách stěn nad 25 mm není vrtání konců trhlin nutné, avšak je doporučeno volit průměr vrtáku $1/3$ tl. stěny. Při příliš malých průměrech vyvrtaného otvoru není zabráněno šíření trhlin, a naopak příliš velký otvor může být sám iniciací trhlin. Odvrtané konce se buď zavaří, nebo při méně hodnotnějších opravách zázátkují, viz obr. 34.

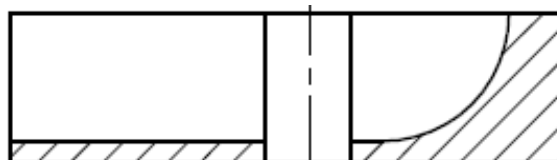


Obr. 34 – Zátkováný konec vybrání [11]

Odebrání materiálu v místě trhliny se provádí nejčastěji dvěma způsoby. Prvním způsobem je obrábění, kdy se svarové plochy vhodné geometrie frézují, nebo jednoduše brousí ruční úhlovou bruskou. Při broušení je nevýhoda rozmazání nečistot a mastnot po povrchu úkosu, které se udržely uvnitř litinového materiálu. Příčinou toho je výrazné zhoršení svařitelnosti. Druhým způsobem přípravy úkosů se nazývá drážkování, jedná se o technologii využívající hořící elektrický oblouk mezi elektrodou a základním materiálem. Dle použité elektrody rozdělujeme drážkování na:

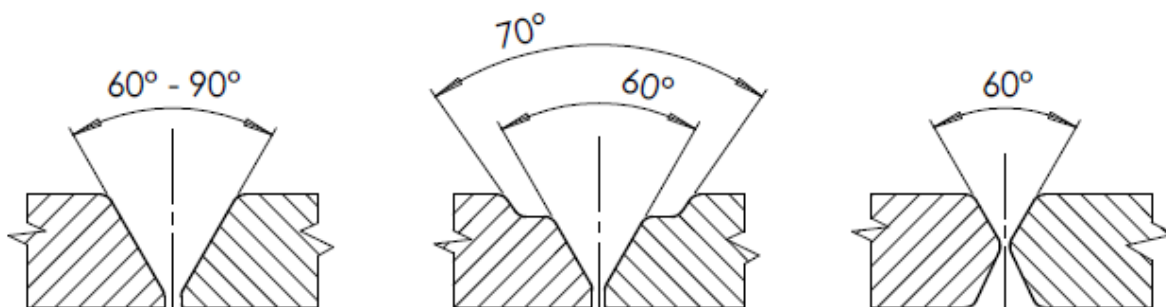
- Drážkování pomocí uhlíkové elektrody – vlivem hoření el. oblouku se taví drážkovaný materiál a pomocí stlačeného vzduchu je tavenina vyfukována z místa řezu. Tlak vzduchu je nejvýhodnější 5–6 atm. Tento způsob vyžaduje zkušenosti a zručnost obsluhy. Další nutností je zásoba externího stlačeného vzduchu.
- Drážkování pomocí speciální elektrody – zásadním rozdílem mezi uhlíkovou a speciální elektrodou je, že není potřeba externí zdroj stačeného vzduchu. Obal elektrody je složen z takových sloučenin, že dochází při působení el. oblouku a tavení základního materiálu ke vzniku velkého množství plynů. Tyto plyny spolu s dynamičností el. oblouku odstraňují taveninu z místa řezu. Pracovní rychlost drážkování je mnohem vyšší než rychlost při svařování.

Drážkovat lze ocel, litinu, ale také i neželezné kovy. U litiny metoda drážkování mnohdy nahrazuje dělení pomocí kyslíko-acetylového plamenu, při které litina nevyhovuje podmínkám řešitelnosti plamenem. Bod tavení strusky a zápalná teplota kovu jsou nižší než bod tavení samotného kovu. Litina se začíná tavit dříve, než dojde k jejímu zapálení. Zrna v místě řezu zoxidují, litina se spálí a nelze dále pokračovat v řezání. Průvodním jevem u drážkování litiny je spálení povrchových nečistot a mastnoty. Nevýhodou je vznik ledeburitické vrstvy na povrchu úkosu o tloušťce 1-2 mm. Tato vrstva následně znesnadňuje podmínky pro případné obrábění. U trhlin uvnitř plochy na obr. 28, je doporučeno ukončit vybrání rádiusem svařovací kapsy za vyvrtaným otvorem dle obr. 35.



Obr. 35 – Vybrání ukončené rádiusem [11]

Při svařování součástí větších tlouštěk stěny (více jak 5 mm) je doporučeno zhotovit svarové úkosy, které umožňují lepší přístup ke dnu vydrážkované kapsy a lépe se natavují svařované plochy. Ostré hrany úkosů by měly být zaoblené, aby byly omezeny koncentrátoři napětí a při ohřevu nedošlo k rychlé oxidaci. Nejčastěji využívaný je V úkos s vrcholovým úhlem 60° . Volba geometrie však záleží na tvaru součásti, tloušťce svařované plochy a dostupnosti ke svaru. Některé z možných tvarů úkosů jsou vyobrazené na obr. 36. Při horším přístupu do svaru se užívá odlehčený svarový úkos, viz obr. 36 b. V případě přístupu k odvrácené straně součásti je vhodné použít symetrický úkos X s úhlem 60° nebo 70° , viz obr. 36 c.



Obr. 36 – Svarové úkosy [11], [12]

3 TECHNOLOGICKÝ NÁVRH OPRAVY

Experimentální část se zabývá technologickým návrhem opravy prasklého beranu lisu. Beran je součástí výstředníkového tvářecího lisu řadící se z hlediska velikosti tvářecí síly mezi menší tvářecí lisy. Při generální opravě stroje a konkrétně skupiny beranu byla po defektoskopické kontrole zjištěna prasklá zadní stěna beranu, viz zvýraznění na obr. 37.

Největší rozměry, tloušťka prasklé stěny a hmotnost beranu jsou uvedené v tabulce 2.

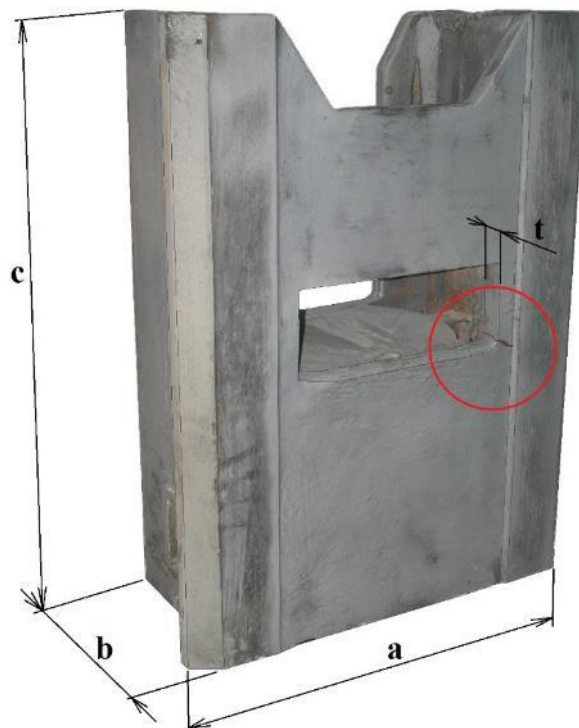
Tab. 2 – Hlavní rozměry beranu.

a	[mm]	640
b	[mm]	360
c	[mm]	840
t	[mm]	35
m	[kg]	498

Správný technologický návrh opravy a její provedení vyžaduje uvážení a rozebrání vlivů různých technologických a materiálových aspektů, jako jsou:

- Technologie svařování,
- základní materiál,
- Návrh a výroba vzorků pro experimentální zkoušky svarů,
- příprava svarových úkosů,
- důkladné zbavení nasáklých tuků,
- zvolený přídavný materiál,
- stanovený předehřev,
- postup svařování,
- provedení experimentálních zkoušek svarů a vyhodnocení výsledků,
- návrh postupu svařování v závislosti na výsledcích zkoušek,
- volba náběhového plechu.

V úvodní kapitole byla zvolena vzhledem k uvážení různých hledisek technologie opravy svařování ruční obalenou elektrodou (MMA). Hlavními důvody zvolení této metody jsou technologické a technické výhody. Technologickou výhodou této metody je, že není nutný použít vysoký předehřev. Častá výměna elektrod nijak výrazně nenarušuje proces svařování, protože v každém případě je nutné po navaření krátké housenky svařování přerušit a svar temovat. Technickou výhodou je dostupné svařovací zařízení, rozšířený sortiment přídavného a kvalifikovaných pracovníků.



Obr. 37 – Řešený prasklý beran

3.1 Základní materiál [1], [41]

Materiálem odlévaného beranu je litina s lupínkovým grafitem označení dle ČSN 42 2424. Jedná se o šarži materiálu, která se v dnešní době již nepoužívá a nejbližším ekvivalentním materiálem dle české normy je ČSN 42 2425. Dle evropského značení je ekvivalentním materiálem EN GJL 250, viz příloha 9.

I když je znám daný druh materiálu, u litin a odlitků obecně velmi záleží na konkrétní tavně, tudíž chemické složení stejných druhů materiálů z rozdílných taveb je odlišné. Je to dáno především tím, že obsah jednotlivých prvků u nelegovaných litin není normalizovaný. Dle materiálového listu, této litiny je zaručený pouze maximální obsah nežádoucích prvků, a to fosforu a síry. Maximální obsah těchto prvků je uveden v tabulce 3. a v příloze 6.

Tab. 3 – Max. obsah nežádoucích prvků [41]

Chemické složení [hm. %]	
P	S
max. 0,50	max. 0,15

dle posledního dvojčíslí ve značení se jedná o litinu z pevnostní třídy 240 MPa. Pevnost a tvrdost litiny je však závislá na tloušťce stěny, viz obr. 38. Čísla na koncích křivek na obr. 38. značí právě danou pevnostní třídu.

Pro přesné zjištění chemického složení a tvrdosti konkrétního materiálu řešené součásti byly provedené potřebné materiálové analýzy.

Pro tyto analýzy bylo nutné destruktivně odebrat vzorek, z takového místa součásti, aby nebyla narušena strukturální integrita a funkčnost. Vzorek byl odebrat z přední stěny beranu (stejně tloušťky jako je řešené místo s prasklinou). V následující tabulce 4. je uvedeno základní chemické složení z odebraného vzorku. Kompletní atest složení je uveden v příloze 7.

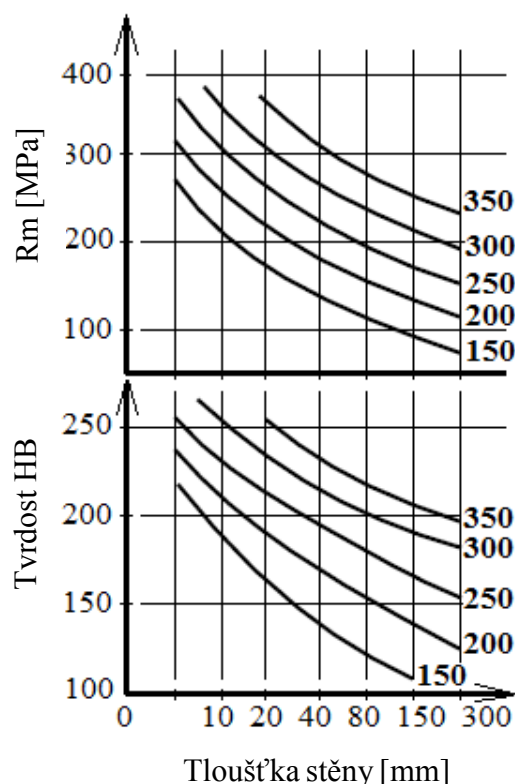
Tab. 4 – Chemické složení materiálu beranu.

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Cu [%]	Fe [%]
3,32	1,42	1,28	0,53	0,075	0,11	0,13	92,9

Pro orientační zjištění tvrdosti, a tak i meze pevnosti materiálu řešené součásti byla provedena zkouška tvrdosti dle Brinela. Tvrdost odlitku se liší v místech s rozdílnou tloušťkou stěny, což je zapříčiněno rozdílnou rychlostí tuhnutí. Tvrdost byla měřena na zkoumaném odebraném vzorku, který má stejnou tloušťku jako řešená prasklá stěna. Hodnota tvrdosti byla změřena 180 HV při zatížení 5 kg.

Tažnost šedé litiny je prakticky zanedbatelná a tato veličina se při zkoušení vynechává, její hodnota se pohybuje do 1 %.

Velkou výhodou litinových materiálů je vysoká pevnost v tlaku R_d , která je přibližně 840 MPa. Proto se kritické průřezy litinových součástí konstrují tak, aby jejich namáhání mělo spíše tlakový charakter. Další výhodou, zejména litiny s lupínkovým grafitem je překvapivě malá vrubová citlivost a tím i vysoká hodnota meze únavy.



Obr. 37 – Závislost tvrdosti a pevnosti šedé litiny na tloušťce stěn [1]

3.2 Návrh a výroba zkušebních vzorků

Jak již bylo zmíněno v předchozí kapitole, nelegované litiny nemají normou předepsaný obsah jednotlivých prvků, tedy stejný materiál z rozdílné tavby může mít rozdílné chemické složení, a tudíž i jiné mechanické vlastnosti a chování kovu při svařování. Důsledkem toho nelze normou předepsat doporučený postup svařování a vhodný přídavný materiál. K tomuto problému lze přistoupit experimentálními zkouškami svarů, které budou, co možno nejlíže simulovat následné skutečné podmínky při opravě beranu. Je tedy vyžadováno, aby zkušební vzorky byly z totožného materiálu jako je základní svařovaný materiál, nebo alespoň podobného chemického složení. V ideálním případě by to znamenalo odebrat vzorky přímo ze svařované součásti, avšak ve většině případů a také u tohoto konkrétního to v rámci zkušebních svarů není možné.

Při rozboru toho problému se naskytlo řešení v podobě využití zkušebního materiálu ze součástky tlakové pojistky tohoto beranu. Tlaková pojistka slouží k indikaci přetížení, tedy působení větší síly klikového hřídele přes ojnici na beran, než na kterou je dimenzován. Pojistka tedy musí být ze stejného materiálu jako je materiál beranu a musí vykazovat stejné mechanické vlastnosti. Vzhledem k tomu, že tato pojistka je umístěna přímo v těle beranu, musela po celou pracovní životnost snášet stejné podmínky, jako jsou např. rázové zatížení, změny teplot, ale hlavně přítomnost vysokého množství mazacích prostředků. Což je důležitým vlivem hlediska svařitelnosti a stejného chování kovů při svařování.

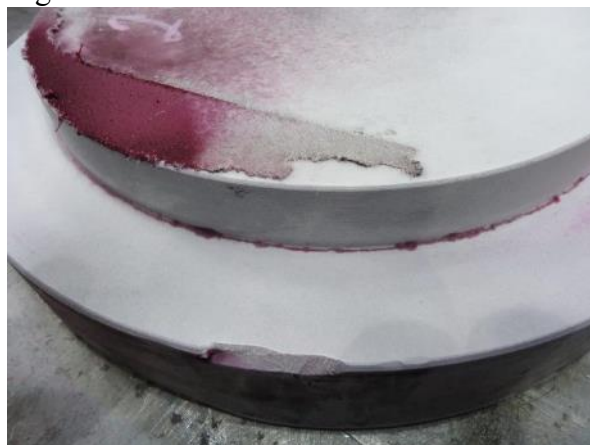
Stejně jako u součásti beranu, taktéž u pojistky byly provedeny stejné materiálové analýzy pro zjištění přesného chemického složení a mechanických vlastností v podobě tvrdosti. Chemické složení je uvedeno v tabulce 5. Podrobný atest materiálu je uveden v Příloze 8.

Tab. 5 – Chemické složení materiálu pojistky.

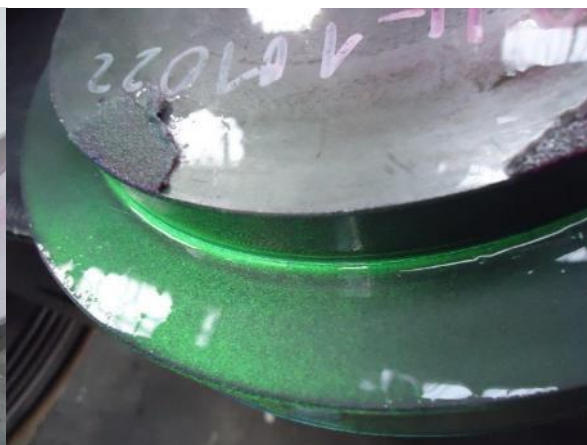
C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Cu [%]	Fe [%]
3,35	1,55	1,13	0,13	0,09	0,20	0,15	93,3

Zjištěné chemické složení jak materiálu beranu, tak materiálu pojistky je velmi podobné a z tohoto hlediska lze očekávat podobné chování při svařování.

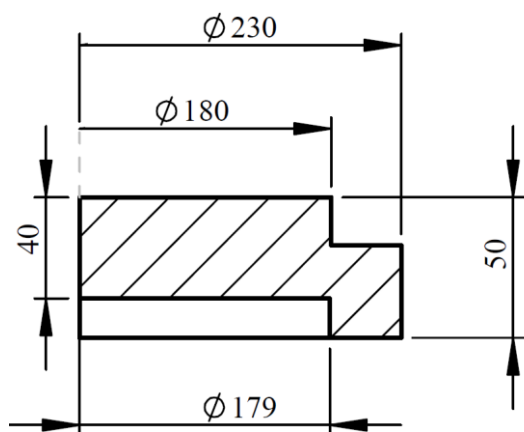
V úvodní kapitole byla zmíněna možná příčina poškození beranu a to přetížením, ke kterému rozhodně došlo a důkazem toho je prasklá a zdeformovaná tlaková pojistka. Destrukce pojistky byla indikována defektoskopickými zkouškami, konkrétně magnetickou a kapilární metodou. Na obr. 40 lze vidět výsledek kapilární zkoušky a na obr. 39 lze vidět výsledek zkoušky magnetické.



Obr. 40 Výsledek kapilární zkoušky



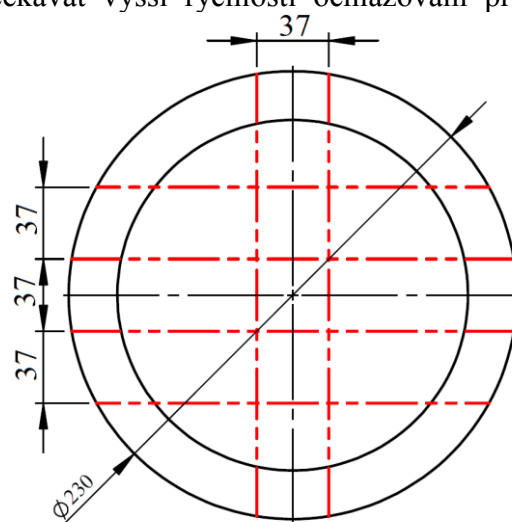
Obr. 39 – Výsledek magnetické zkoušky



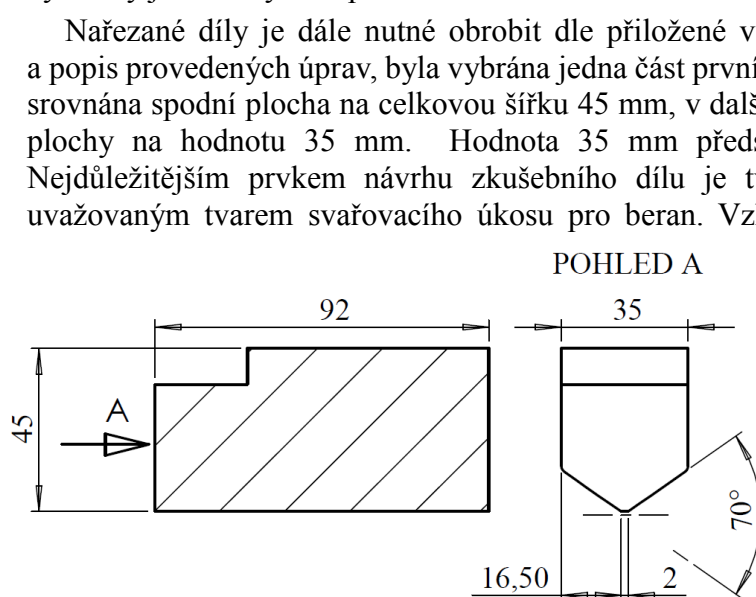
Obr. 41 – Řez tlakovou pojistkou

ČSN EN ISO 15614-3. Tím pádem lze předpokládat, že nebude stejný odvod tepla z místa svařování do okolního materiálu jako při reálné opravě beranu, který disponuje několikanásobně vyšším objemem. Důsledkem toho lze očekávat vyšší rychlosti ochlazování při svařování beranu a tím i vznik většího množství tvrdých a křehkých karbidických struktur v TOO než při svařování zkušebních dílců.

Nejadekvátnější řešení rozvržení řezů pojistky se jeví dle obr. 42. Řezy jsou označené dvojitě čerchovanými čarami o šířce řezů 37 mm, včetně přídavku na obrábění. Čímž následným obrobením vzniknou dílce s hodnotou šířky stěny jako má prasklá stěna beranu. Dostaneme čtyři stejné díly a dále využijeme rohové výseče pro další čtyři zkušební kusy. Tyto zkušební kusy vzniklé z rohových výsečí mají o několik milimetrů kratší konec než regulérní první čtyři dílce, vlivem zaoblení pojistky, což však nebude nijak výrazně ovlivňovat výsledky jednotlivých experimentálních zkoušek.



Obr. 42 – Nářezový plán



Obr. 43 – Obrobený zkušební kus

Tím, že je tlaková pojistka praská, a tedy určená do odpadu, je dovoleno tuto součást použít ke zhotovení zkušebních svarů. Dále je nutné zmínit, že poškození této součásti, které ji vyřadilo z provozu, nijak neovlivní výsledky experimentální zkoušky.

Tlaková pojistka, jak bylo možné vidět na obr. 39. a 40. je kruhového tvaru se základními rozměry ji lze vidět v polovičním řezu na obr. 41. Její rozměry dovolují vytvořit určitý počet zkušebních kusů pro více zkoušek, avšak za cenu toho, že zkušební dílce nebudou mít dostatečné rozměry dle platné normy zkoušení postupu svařování nelegovaných litin

Nařezané díly je dále nutné obrobit dle přiložené výkresové dokumentace. Pro ilustraci a popis provedených úprav, byla vybrána jedna část prvních čtyř dílů, viz obr. 43. Nejprve byla srovnána spodní plocha na celkovou šířku 45 mm, v dalším úkonu byly obrobeny rovnoběžné plochy na hodnotu 35 mm. Hodnota 35 mm představuje šířku prasklé stěny beranu. Nejdůležitějším prvkem návrhu zkušebního dílu je tvar svarového úkosu, jenž se řídil uvažovaným tvarem svařovacího úkosu pro beran.

Vzhledem ke složitosti tvaru, umístění trhliny a dostupnosti nástrojů pro zhotovení úkosu na beranu, byl zvolen oboustranný symetrický V úkos s vrcholovým úhlem 70°. Výška otupení kořene byla určena 2 mm z možného rozmezí pro tento typ úkosu. Hrany na vnějším okraji úkosu jsou zaobleny pod rádiusem 2 mm, zaoblení je důležité z důvodu omezení koncentrátorů napětí, které by

mohly vlivem tepla dodaného svařováním způsobit vznik trhlin. Při začátku svařování a ke konci jedné linie svařování dochází k výraznému poklesu kvality svaru, což je dáno zapálením a zhasnutím el. oblouku. Délka kvalitního svaru, ve kterém bude součást rozříznuta pro vyhodnocení bude zakrácená o několik cm. Podélná délka součásti, a tedy celková svařovaná délka 92 mm je dostačující.

V případě, kdy by zk. součást disponovala mnohem kratší svařovanou délkou, musel by se použít tzv. náběhový plech. Na náběhovém plechu se začíná svařovat, přechází se na materiál svařované součásti a případně je svarová housenka ukončena opět na přídavném plechu. Zhoršená kvalita začátku a konce svaru je pouze na náběhovém plechu, který se následně odstraní. V případě svařování zkušebních kusů tento náběhový plech potřeba nebude.

3.3 Volba metody svařování a přídavného materiálu [3], [42], [43], [44], [45]

Prasklý beran lisu je odlitek z šedé litiny poměrně staré výroby. Je pravděpodobné že vnitřní struktura je velmi heterogenní s možným obsahem vměstků a pórů. Dále může také obsahovat nezjištěné mikrotrhliny. Případně relativně vysoký ohřev součásti může být na základě zmíněných faktorů velice riskantní. Tepelné napětí vyvolané ohřevem, např. při předehřevu, spojené s mizivou tažností litiny, může způsobit rozvoj neodhalených mikro trhlin, případně vznik trhlin nových při expanzi plynů v pórech. Ohřev celého objemu beranu např. na možnou teplotu 400 °C je poměrně ekonomicky náročný. Navíc i při použití vysokého předehřevu nedojde k úplné eliminaci vzniku tvrdých karbidických struktur v tepelně ovlivněné oblasti.

Na základě těchto důvodů byla zvolena metoda studeného svařování při nízkém předehřevu max. 70 °C. Předehřev plní funkci částečného vyrovnání teplot při studeném svařování. Teplota předehřevu bude kontrolována bezkontaktním teploměrem.

Experimentální zkoušky svarů budou založeny na různých variacích zvolených přídavných materiálů. Pro zkoušení je dostupných 8 zkušebních kusů, tedy 4 svařené vzorky. Jednotlivé vzorky se budou lišit v použitých přídavných materiálech a proudového nastavení, jím určených. Rozsah proudu a polarita zapojení je vždy doporučena výrobcem elektrod. Dle těchto doporučení budou zvoleny konkrétní hodnoty proudů a zapojení. Z hlediska technologického postupu svařování budou svary provedeny stejně, za stejných podmínek při svařování. Tím bude možné výsledné svary hodnotit hlavně na základě různě zvolených přídavných materiálů. Výjimku bude tvořit čtvrtý vzorek, který bude svařen dvěma různými elektrodami. Návarová vrstva elektrodou určenou pro litinu a výplňové svary budou zhotoveny pomocí klasické elektrody pro svařování konstrukční oceli. Podrobnější postup svařování bude rozebrán v následující kapitole

Na trhu je dostupné velké množství různých typů elektrod pro svařování litin. Všechny přídavné materiály od různých výrobců se musí řídit dle normy ČSN EN ISO 1071, která stanovuje klasifikaci elektrod, tyčí a drátů dle chemického složení čistého svarového kovu. Veškeré přídavné materiály tak musí být zařazené do nějaké kategorie dle této normy, tudíž musí obsahovat předepsané chemické složení a mít předepsané mechanické vlastnosti. Nicméně, elektrody ve stejné kategorii, stejného označení, avšak jiného výrobce se mohou více či méně lišit. Lišit se mohou různým chování při svařování nebo kvalitou výsledného spoje. To může být dáno např. specifickým chemickým složením obalového materiálu elektrody, nebo konstrukčním složením dle know-how výrobce.

Různé typy elektrod od různých výrobců, které by mohly být v úvahu pro daný řešený problém jsou v tabulce 6.

Tab. 6 – Výběr možných elektrod [42], [43], [44], [45]

Výrobce	Označení dle výrobce	Označení dle normy	Chemické složení a mechanické vlastnosti										
			C	Si	Mn	Fe	Ni	Cu	HB	R _{p0,2} [MPa]	A [%]	R _m [Mpa]	
BÖHLER Welding	UTP 8	EC Ni-CI 1	1,2	-	-	1	Zb.	-	180	220	20	300	
	UTP 85 FN	EC NiFe-1 3	1,2	-	-	Zb.	54	-	200	320	15	400	
	UTP 86 FN	EC NiFe-13	1,2	-	-	45	Zb.	-	220	340	18	420	
	UTP 88 H	EC NiFe-CI	0,8	-	0,7	2	Zb.	2	180	250	-	-	
ESAB	OK 92.18	EC Ni-CI 3	1	0,3	0,2	4,5	Zb.	0,3	150	-	-	300	
	OK 92.60	EC NiFe-1 3	0,9	0,5	0,6	44	Zb.	0,9	210	380	12	560	
	OK NiCu 1	EC NiCu 1	0,45	0,2	0,9	3	Zb.	32	-	200	15	350	
	E-B 121	E 44-83	0,05	0,4	0,8	Zb.	-	-	-	420	28	500	
Welco	Welco 1866	EC Ni-CI	1,1	1,2	1	43	Zb.	0,6	190	350	10	500	
	Welco 1881S	EC Ni-CI 3	0,6	0,5	0,2	0,6	Zb.	0,6	170	200	5	300	
	Welco 1895	EC Ni-CI	1,5	0,5	1,5	-	60	2,5	220	230	15	400	

Z uvedeného výběru možných elektrod v tabulce 4 byly vybrány 4 typy elektrod od dvou různých výrobců, a to Böhler Welding a ESAB. Obě tyto značky jsou světově uznávané, Böhler Welding však patří na vrchol kvality přídavných materiálů. Vybrané typy elektrod jsou:

- OK 92.60 (OK NiFe-CI) – Fero-niklová elektroda s bazickým obalem je určena pro svařování obtížně svařitelných litin a ocelolitín. Při použití této elektrody není nutný předehřev, avšak při předehřátí i na nízkou teplotu (do 100 °C) se zlepší navázání přídavného a základního materiálu. Bazický obal vyžaduje připojení elektrody na kladný pol. Dále je možné svařovat při střídavém proudu. Svarový kov je by měl mít vyšší tvrdost, než je tomu tak při svařování elektrodou OK 92.18, přitom je udržena dobrá obrobiteľnosť svarového kovu.
- OK 92.18 (OK Ni-CI) – Je elektroda s bazickým obalem a niklovým jádrem. Využívá se pro opravárenské svařování odlitků litin s lupínkovým, kuličkovým a vločkovým grafitem. Svařuje se za studena, nebo za mírného předehřevu (do 200 °C). Lze použít při svařování litiny s litou ocelí. Elektroda se připojuje na kladný pol.
- UTP 86 FN – Tento typ elektrody je konstrukčně složen z bimetalického jádra, které spolu se specifickými prvky v obalu vytváří charakteristickou pulzaci oblouku. Je vhodná pro opravy svařování obtížně svařitelných litin a ke svařování litin s litými ocelmi. Až na spádové polohy lze svařovat při všech polohách. Obal elektrody je grafito-bazický a elektroda je tedy připojena na záporný pol. Výsledný svarový kov je třískově opracovatelný. UTP 86 FN byla zvolena z důvodu poskytující vysoké pevnosti v tahu při dobré tažnosti (až 18 %). Dalším důvodem je unikátní pulzace elektrického oblouku.
- EB 121 - Posledním vybraným přídavným materiálem je elektroda pro univerzální použití svařování konstrukčních ocelí s bazickým obalem. Oblast použití je velice široká, od značně namáhaných potrubí, tlakových nádob, lodních a stavebních konstrukcí až po svařování konstrukcí bez vyšších nároků na pevnost. Elektroda se kvůli bazickému obalu připojuje na kladný pol. Lze svařovat ve všech polohách vyjma polohy svislé ve směru shora dolů.

Nevýhodou elektrod s vysokým obsahem Ni je vznikající austenitická struktura v TOO. Tato struktura je náchylná na vznik mezikrystalických trhlin za tepla. Sníženou náchylnost lze dosáhnout tvorbou vhodných eutektik, které budou mít poměrně vysokou teplotu tavení a které si udrží dostatečnou pevnost při vysokých teplotách. Úplné potlačení náchylnosti na trhliny za tepla lze dosáhnout jen při dosažení určitého množství vytvořeného eutektika. Proto je důležitý poměr obsahu ostatních přísadových prvků v obalu a jádru elektrody. Eutektikum, které je pouze na bázi uhlíku je poměrně křehké a při nižších teplotách způsobuje trhliny za studena. Elektrody s fero-niklívým jádrem vytváří ve svarové lázni eutektikum na bázi C-Si. Dále prvek nikl výrazně zvyšuje prokalitelnost a tím roste množství vzniklých karbidických částic. Dle těchto teoretických předpokladů lze očekávat lepší výsledky při svařování elektrodou Ni-Fe.

Průměry elektrod pro svařování litiny jsou doporučovány volit co nejmenší z hlediska množství vnášeného tepla do svarového spoje. Z důvodu vysoké citlivosti litiny na teplotní změny je doporučeno volit menší průměr elektrod pro navařování odplyňovací vrstvy (kladené přímo na základní litinový materiál) než pro výplňové svarové housenky. Průměr je nutno volit také na základě velikosti svarového úkosu a svařovaném dílu. Pro všechny experimentální zkoušky svarů byl zvolen průměr elektrod 2,5 mm jako jeden jednotný pro všechny operace.

3.4 Příprava a zhotovení zkušebních vzorků [46], [47], [48], [49], [50]

Experimentální zkoušky jsou rozděleny do čtyř skupin dle použitých vybraných přídavných materiálů a specifických postupů svařování. Započetí procesu svařování musí předcházet příprava svarových ploch vzorků v podobě odmaštění. Tato příprava byla zvolena pro všechny skupiny zkoušených vzorků stejná. Jedná se o odstranění různých druhů tuků, které nebyly odstraněny při prvotním odmaštění v průmyslovém čistícím stroji. Plochy svarových úkosů se nahřejí kyslíko-acetylenovým plamenem s mírným přebytkem kyslíku na teplotu maximálně 150 °C. Při této teplotě vyvzlínají tuky na povrch pórovitostí v materiálů a následně po mírném zchladnutí se odstraní rozpouštěcím přípravkem-acetonem. Tento postup se zopakuje 2x až 3x dle množství vzlínajících tuků. Zároveň tento ohřev po zchladnutí na teplotu 70 °C slouží jako předehřev pro svařování.

K Měření teploty při ohřevu pro odmaštění a následnou kontrolu teploty před a v průběhu svařování byl užit bezkontaktní teploměr Volcraft IR 500-10s, viz obr. 44, jímž lze měřit povrch materiálů v rozmezí teplot (-50 – 500) °C. Toto zařízení měří pasivně teplotu povrchu součásti na základě určité emisivity materiálu. Základem přesného měření je tedy správné nastavení koeficientu emisivity povrchu měřené součásti. Povrchy různých materiálů mají různý koeficient. Nejhůře se měří lesklé a světlé materiály. Pro měření rozdílných materiálů a zvláště kovových, je vhodné nanést na měřenou součást tmavou matnou barvu o známé emisivitě a odolávající vysokým teplotám. Daný koeficient se nastaví do měřicího zařízení a při měření teploty se laserem zamíří na místo natřené touto barvou.



Obr. 44 - Bezkontaktní teploměr [50]

Jako svařovací zdroj je použité invertorové zařízení od výrobce OMICRON a typ Gama 1550, viz obr. 45. Toto zařízení je vybaveno funkcemi:

- HOT START slouží k usnadnění zapalování el. oblouku vlivem krátkodobého navýšení proudu přibližně o 50 %.
- ANTISTICK je funkce, které omezuje velikost svářecího proudu na minimum při zkratu a tím je usnadněno odejmutí elektrody od svařovaného materiálu.
- ARC FORCE napomáhá stabilizovat hořící oblouk automatickou změnou proudu při nadměrném oddálení nebo přiblížení elektrody ke od svařovaného materiálu.

Technické parametry svařovacího zařízení jsou uvedené v tabulce 7.

Tab. 7 – Technické parametry [48]

Napětí na prázdnou [V]	88
Síťové napětí (50/60 Hz) [V]	230
Jištění [A]	20
Rozsah svařovacího proudu [A]	10-150
Příkon [kVA]	4,7
Krytí	IP 23 S
Rozměry [mm]	300x143x220
Hmotnost [kg]	5,8



Obr. 45 – OMICRON Gama 1550 [48]

Každý dílčí svařovaný kus má své označení, které jej přiřazuje do určené dvojice. Toto označení víceméně slouží k tomu, aby před svařením byly tyto svařované dvojice jednoznačně určené. A následně po svaření, aby bylo jednoznačné přiřazení předepsaných pWPS pro daný svařovaný vzorek.

Před samotným svařování vzorků je nutné provést krátké zkoušky pro nastavení ideálního svařovacího proudu. Výrobce elektrod uvádí určitý nastavovací rozsah, ve kterém se musí výsledný svařovací proud nacházet. V každém svářecím zařízení a kabeláži jsou určité elektrické ztráty a při svařování různých materiálů se elektroda chová mírně rozdílně.

UTP 86 FN

EB – 121

OK 92.60

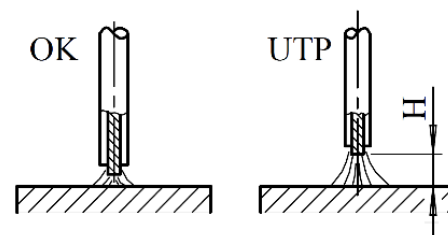
OK 92.18



Obr. 46 – Zkušební svarové housenky rozdílných elektrod

Dále ne vždy jsou ideální okolní podmínky, které mohou mít určitý vliv. Zkoušky je nutné provést na stejném materiálu jako je materiál svařovaný. Výsledky se posuzují na základě předchozích zkušeností, a to dle chování el. oblouku a výsledného vzhledu svarové housenky.

Na obr. 46 lze vidět zkušební návarové housenky vytvořené pomocí čtyř rozdílných přídavných materiálů a dle navrhovaných parametrů svařování, které jsou uvedeny v tabulce 8. Směr svařování, viz obr. 46, byl zleva doprava. V průběhu délky housenky byly vyladěny hodnoty proudů, rychlost svařování a velikost el. oblouku. Právě velikost el. oblouku, tedy vzdálenost konce elektrody od svařovaného materiálu měla největší vliv při svařování obou UTP elektrod. Tento typ elektrod se vyznačuje specifickým hořením. Při běžné výšce oblouku, která by se měla pohybovat přibližně kolem hodnoty průměru jádra elektrody, docházelo k zhasínání. Bylo nutné výšku zvýšit na přibližně dvojnásobek tedy velikost H , viz obr. 47. Odlišné hoření oblouku u UTP elektrody se dále vyznačovalo pulzačním přenosem kovu, vlivem kterého by se mělo vyznačovat snížením vneseného tepla do svarového spoje.



Obr. 47 – Výška oblouku

Doporučené hodnoty proudů byly voleny dle materiálového listu jednotlivých elektrod. Materiálové listy elektrod jsou umístěny v přílohách 15 – 18. Použité hodnoty pro zkušební návary jsou uvedené v tabulce 8.

Tab. 8 – Zkušební svařovací parametry.

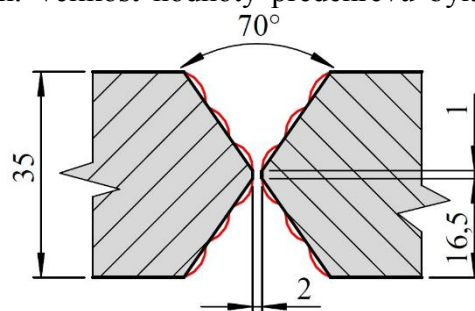
PM	Označení vzorku	Navrhovaný proud [A]	Výsledný proud [A]	Polarita elektrody	Rychlost [mm/s]
OK 92.60	01	110	95	+	3,2
OK 92.18	02	100	95	+	3,5
UTP 86 FN	03	80	90	-	2,3
EB 121	04	85	80	+	3,5

3.4.1 Návrh postupu svařování vzorků

Všechny svařované součásti byly upraveny pro určený druh svaru symetrický V s vrcholovým úhlem 70° . Schéma druhu svaru s rozměry je možné vidět na obr. 48. Tvar svarového úkosu byl navržen dle normy ČSN EN 20692. Svařovaná délka je 93 mm. Prvotní před každým svařováním je dosažení stanovené teploty předehřev, v tom to případě tomu tak bylo plamenovým ohřevem a kontrolována teploměrem. Velikost hodnoty předehřevu byla stanovena na 70°C . Postup svařování lze dále rozčlenit na jednotlivé úkony:

- Navaření odplyňovací vrstvy na povrch svarového úkosu, viz obr. 48. Protože se jedná o svařování dvou kusů, z hlediska pohodlí svářeče je navařování vrstvy prováděno zvlášť a oddělně na každém kusu. Poloha svařování PA. Navařované housenky nesmí přesáhnout předepsanou délku 30 mm.

Dále je důležité, aby se navařované housenky vzájemně nepřekrývaly a byly přibližně dodrženy předepsané mezery dle pWPS. Každou housenku je nutné

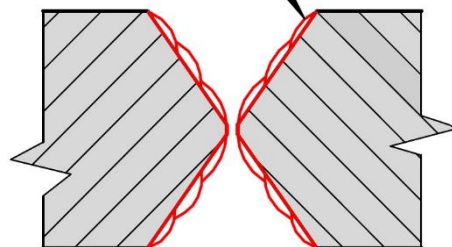


Obr. 48 – Schéma druhu svaru

bezprostředně po navaření temovat kladívkem se zaobleným nosem. Tím nejen že dojde k odstranění strusky, ale hlavně je do housenky vnášeno tlakové napětí.

- S předpokladem velkého množství obsažené pórovitosti a vměstků v návaru, je nutné tuto první vrstvu odbrousit téměř na úroveň základního materiálu.
- Navaření podkladové souvislé vrstvy na svarové plochy, viz obr. 49. Délka housenek a temování se nemění, ale na rozdíl od první vrstvy, zde je nutné housenky pokládat souvisle s překrytím. V případě, že se pórovitost objeví i v této vrstvě, je nutné ji opět odbrousit a navařit znovu.

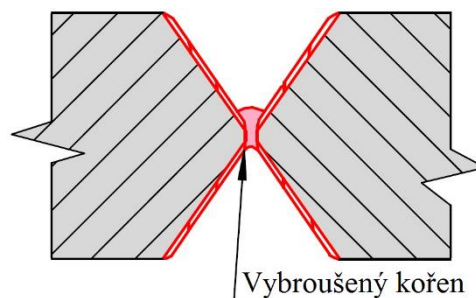
Překrývající se housenky



Obr. 49 – Překrývané vrstvy

- Znovu navařenou vrstvu je nutné mírně přebrousit pro obnovení původní geometrie svarového úkosu.
- V následujícím úkonu se obě svařované součásti umístí k sobě dle geometrie svaru, viz obr. 48. V kořenové části se součásti tzv. „nabodují“. První bodování je provedeno uprostřed, zkontroluje se rovnoběžnost součástí a pokračuje se s bodováním dále od středu.

- Po „nabodování“ se provedou kořenové svary. Housenky musí mít opět maximálně 30 mm na délku, znovu zapálení oblouku musí být provedeno na předcházející svarové housence. Po skočení každého dílčího svaru je nutné provést temování.

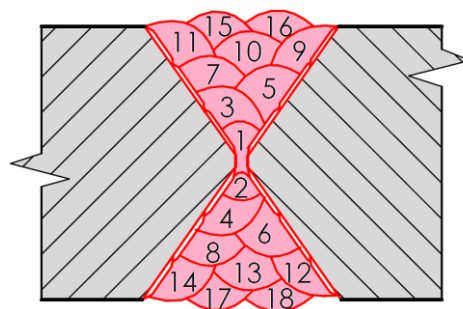


Obr. 50 – Kořen svaru

- Kořen na převrácené straně svaru je nutné zabrousit přibližně dle schéma na obr. 50. Tavná lázeň niklové slitiny má mírně horší technologické vlastnosti oproti nízkouhlíkové oceli a při neodbroušeném kořenu by mohlo v dalších vrstvách docházet ke studeným spojům.

- Z důvodu symetrie následuje svařování kořene na obrácené straně vzorku, kde bylo provedeno vybroušení.

- Dále svařování pokračuje klasickým střídavým vyplňováním svaru dle obr. 51. Při takovém množství svarových housenek je nutné hlídat teplotu, která nesmí přesáhnout 70 °C.



Obr. 51 – Symetrické vyplňování

Jediná odlišnost nastává při svařování 4. vzorku, který byl svařen dvěma různými typy elektrod. Návarová a odplynovací vrstva pomocí UTP 86 FN a výplňové svarové housenky elektrodou EB-121.

Velice důležitým úkonem při svařování litiny je temování. Jde o intenzivní poklepávání svarového kovu kladívkem s kulatým nosem, čím je vnášeno tlakové napětí a dochází k částečnému uvolnění vnitřního napětí ve svaru, které vzniká vlivem smršťování kovu. Důležité je začít s temováním ihned po dokončení krátké housenky, kdy svarový kov je ještě

kujný. Zakulacený nos temovacího kladiva je vyžadován z důvodu minimální tvorby vrubů, a tedy koncentrátorů napětí. Dalším důležitým faktorem je přiměřená síla temování, která nesmí být příliš velká a ani příliš malá. Na obr. 52 lze vidět směry smršťování navařené housenky. Příčná napjatost je nejvíce kritická při první navařené vrstvě na základním materiálu. V následujících vrstvách je již tato napjatost eliminována vysokou tažností PM. Podélná napjatost je právě eliminována vnášením vnějšího napětí při temování.



Obr. 52 – Smršťování svarové housenky

Pro každý dílčí proces svařování je nutná pWPS, což je protokol o předběžné specifikace postupu svařování (anglicky Preliminary Welding Procedure Specification). Tento protokol musí poskytovat všechny nezbytné informace požadované pro provedení svarového spoje. Požadované údaje uvedené v pWPS(WPS) jsou doporučeny normou EN ISO 156097-1. Celková forma a údaje nejsou však přesně normou stanoveny, liší se dle priorit pro danou svařovací metodu a výrobce. Pro každý z řešených vzorků byly vypracovány dvě pWPS. První se zabírala odplyňovací návarovou vrstvou a druhá svařením obou kusů. Veškeré vypracované protokoly jsou uvedeny v přílohách 10–13.

Zhotovené zkušební vzorky lze podrobně rozebrat následující sekvenci:

- Vzorek č.1 – Svařováno pomocí elektrody OK 92.60, přídavný materiál byl tedy tvořen niklem a železem v obsahu 53 : 45 hm % (Ni : Fe). Navařování odplyňovacích vrstev probíhalo bez komplikací, el. oblouk hořel standartním způsobem s mírným rozstříkem, Kritickým místem u všech vícevrstvých tupých svarů je většinou oblast kořene (otupení), z důvodů častých chyb v podobě nízkého provaření a vzniku studených spojů. Průběh svařování a následný vzhled kořenové housenky nevykazoval známky nespojitostí, po vybroušení odvrácené strany kořenového svaru nebyly vizuálně shledány žádné studené spoje a nedokonalosti. Následný střídání průběh pokládání svarových housenek se opět obešel bez komplikací. Svařováno při nastaveném proudu 95 A. Výsledný svarek lze vidět na obr. 53.



Obr. 53 – Svařovaný vzorek č.1

- Vzorek č.2 – Při svařování druhého vzorku, viz obr. 54, byl použit přídavným materiál s označením OK 92.18 a hlavním obsahem 93,5 % Ni. Stejně tak jako při prvním vzorku, zapalování a hoření oblouku probíhalo standardně, též s mírným rozstříkem kovu. Tavná lázeň byla poměrně hustá a svarový kov se hůře roztékal, proto musely být housenky pokládány takovým způsobem, aby nedocházelo k úzkým mezerám, kam by se roztavený kov nedostal. Z důvodů malé velikosti vzorku, a tedy nízkého odvodu tepla do okolního materiálu, bylo nutné dělat časté přestávky, protože docházelo k přehřívání vzorku. Nastavený svařovací proud byl 95 A.



Obr. 54 – Svařovaný vzorek č.2

- Vzorek č.3 – Svařováno pomocí elektrody UTP 86 FN. Tento přídavný materiál má podobný obsah hlavních prvků niklu a železa. Jejichž obsah je 53,8 : 45 hm % (Ni : Fe). Jak už bylo pojednáno o svařování touto elektrodou při zkušebních návarech. S navařovanými vrstvami nebyl sebemenší problém, dokonce dle vzhledu byly housenky kvalitnější než při použití předchozích elektrod. Problém nastal při svařování obou zkušebních kusů dohromady. Vlivem nestandardního hoření oblouku docházelo k nesymetrickému svařování obou částí. El. oblouk se doslova chytal buď na jednu část nebo na část druhou, důsledkem, čeho vznikaly enormní studené spoje a svařování zejména v kořenové části bylo velice náročné, viz příloha 19. Výsledný vzhled svaru, viz obr. 55, je vynikající, po rozříznutí se však s jistotou objeví rozsáhlé metalurgické vady v kořenové části.



Obr. 55 – Svařovaný vzorek č.3

- Vzorek č. 4 – Poslední svařovaný vzorek byl proveden odlišným způsobem, než jak tomu bylo u předchozích vzorků. Jednalo se o vyzkoušení metody, která by měla vyšší uplatnění při opravě velko-objemových svarových spojů s ušetřením nákladných elektrod na bázi niklu. Přičemž dané elektrody byly nahrazeny běžnými, určené pro svařování konstrukčních ocelí. Hlavním nebezpečí při této metodě je vznik austenitické struktury při smíšení návarové vrstvy (vysoký obsah niklu) a svarového kovu odpovídajícímu nízkouhlíkové oceli. Ihned po I při snaze o co nejnižší možné vznesení tepla, po dokončení svarového spoje při chladnutí vznikalo velké množství podélných trhlin, viz obr. 56. Podrobněji budou vady daného spoje rozebrány a vyhodnoceny při makro a mikro analýze.



Obr. 56 – Svařovaný vzorek č. 4

3.5 Vyhodnocení vzorků

Zhotovené svařované vzorky je nutné posoudit dle makrostruktury, měření tvrdosti a mikrostruktury. Jedná se o destruktivní zkoušení, pro které je nutné vyhodnocované vzorky rozřezat. Vyhodnocuje se průřez svarovým spoje, proto jsou řezy prováděny kolmo na délku svaru. Rozříznutím materiálu vzniknou dvě poloviny, z nichž jedna polovina je použita pro zkoumání makrostruktury a měření tvrdosti. Na makroskopickém výbrusu se posuzují objevené vady, jako například trhliny, studené spoje, póry, bubliny, městky. Druhá polovina vzorku je použita pro hodnocení mikrostruktury, při které jsou posuzovány vzniklé struktury ve svarovém kovu a tepelně ovlivněné oblasti.

Před dělení kolmými řezy je nutné zkoumané vzorky rozměrově upravit. Makroskopické, mikroskopické hodnocení a měření tvrdosti je prováděno pouze v blízkosti svaru. Přebytný materiál je proto nutné odstranit z důvodu snadnějšího následného zpracování, nejvhodněji na

pásové pile s vodním chlazením. Na obr. 57 je uveden upravený, zmenšený a připravený pro další postup vzorek č. 3.

Kolmé řezy na jednotlivých vzorcích jsou voleny přibližně uprostřed svařované délky, kde se nepředpokládá zhoršená kvalita začátků a konců svarového spoje. Řezání je prováděno na metalografické pile (obr. 59), řezným kotoučem při intenzivním proudu chladící kapaliny. Chlazení zde plní velice důležitou úlohu, protože teplo vznikající při řezání by mohlo zásadně tepelně ovlivnit posuzovanou strukturu.

Vyhodnocovaný povrch je nutné dále brousit na metalografické brusce, viz obr. 58, pro odstranění stop po řezání. Broušení je prováděno pomocí brusných papírů s postupně se snižující hrubostí zrn (120, 240, 320, 500, 800, 1200 zrn/cm²) na metalografické brusce.

Začíná se s nejhrubším papírem 120 zrn/cm² a pokračuje se až po brusný papír nejnižší hrubosti. Po výměně každého brusného kotouče je nutné součást otočit o 90 °, aby stopy po broušení byly navzájem vždy kolmo na sebe. Celý proces broušení probíhal při intenzivním chlazením proudem vody. Konečný vybroušený povrch, je velice náchylný na vznik koroze, zejména základní materiál (litina). Proto je vhodné následné leptání provádět ihned po broušení. Vzorky byly leptány 10% Nitalem ponořením, přibližně 1 minutu. Po vyjmutí byl každý vzorek opláchnut vodou, odmaštěn etanolem a vysušen pod proudem horkého vzduchu. Zejména sušení je velice důležité u vzorků s trhlinami a dutinami, ve kterých se nejvíce udržuje vlhkost. Takto připravená zkoumaná plocha je ještě náchylnější jak na vznik koroze, tak i na mechanické poškození. Zkoumaný povrch byl zakonzervován bezbarvým lakem, který nijak nezhoršuje pozorovací výsledek.

Vzorky pro zkoumání mikrostruktury byly připraveny obdobným způsobem. Z druhé části svařovaného vzorku byla vypreparována část svaru o takové velikosti, aby jej bylo možné zalít do metalografického nosiče o průměru 30 mm. Zalévací hmotou byl transparentní polymer dentacryl.



Obr. 58 – Metalografická bruska



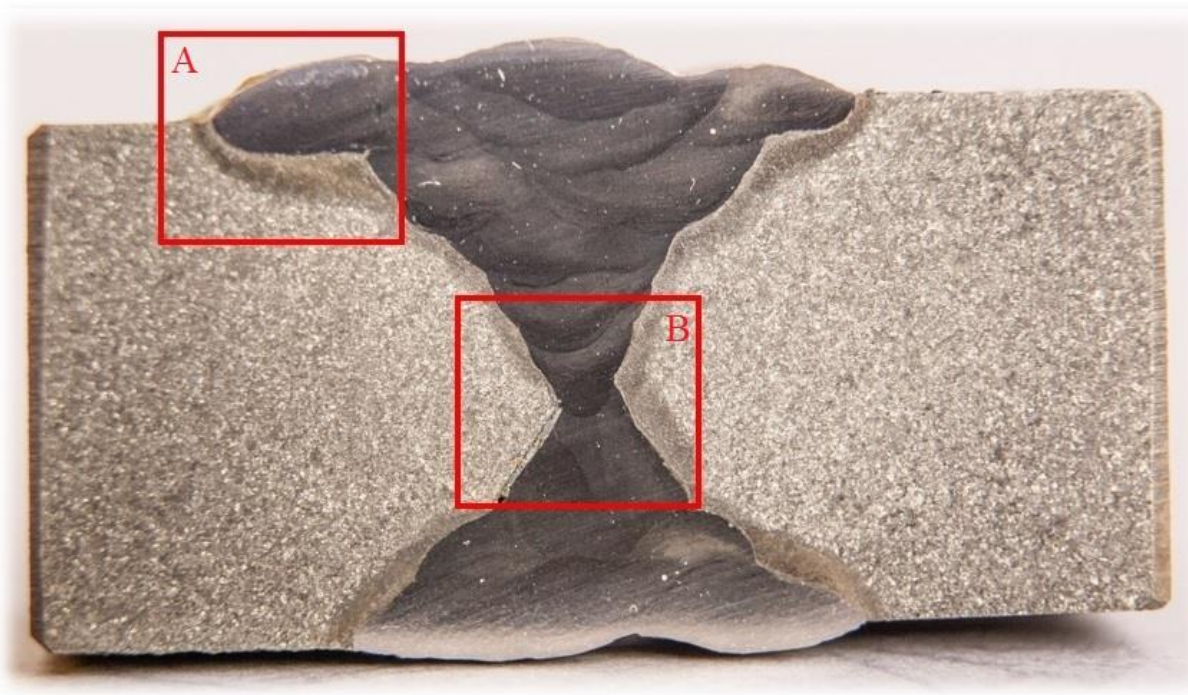
Obr. 57 – Ořezaný vzorek č. 3



Obr. 59 – Metalografická pila

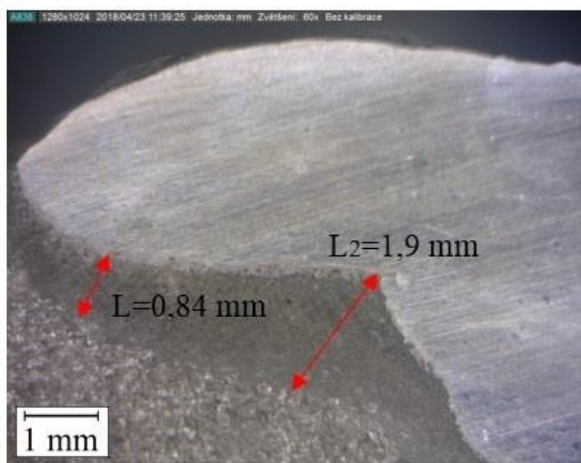
3.5.1 Makroskopická analýza

Dle makroskopické kontroly jsou vybroušené a naleptané vzorky hodnoceny z hlediska obsahu metalurgických vad a nedostatků svarového spoje a vlivu na pracovní podmínky součásti beranu. Hodnocení jakosti svarového spoje litinového materiálu lze posuzovat dle normy ČSN EN 1011-8, Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 8: svařování litin.

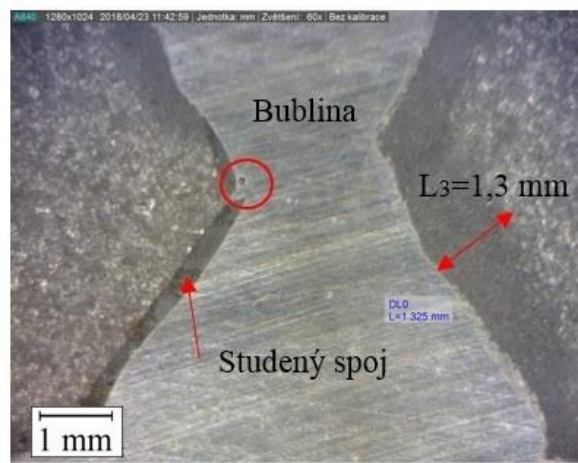


Obr. 60 – Makro snímek vzorku č.1

Makro snímek prvního vzorku svařovaného elektrodou OK 92.60 lze vidět na obr. 60, na kterém jsou vyznačeny a určeny hranice snímků pro detailnější pohledy A a B. Na první pohled může zaujmout asymetrie oboustranného V svaru, která však nemá významnou váhu při hodnocení kvality svarového spoje. Je to dáno tím, že se jedná o experimentální zkoušky zaměřené na svařitelnost řešeného materiálu. Výsledná asymetrie měla za následek nanejvýše vznik úhlových deformací v příčném, horizontálním směru. Naopak velice závažnou vadu lze



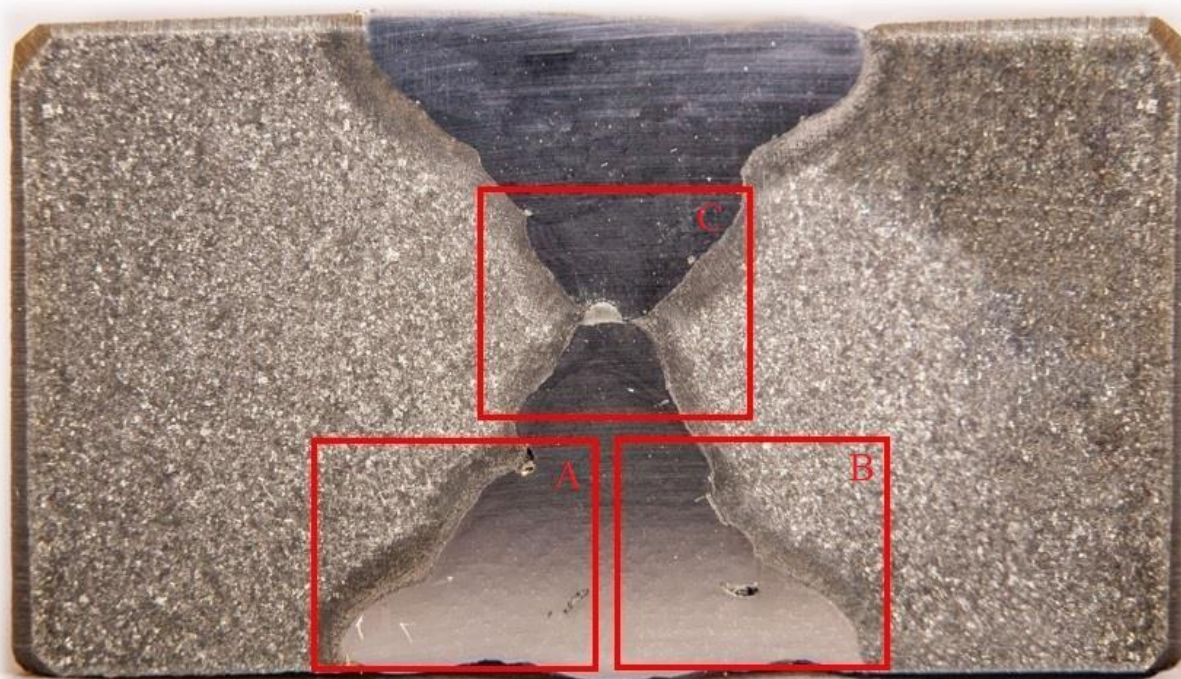
Obr. 62 - Detailní pohled A



Obr. 61 – Detailní pohled B

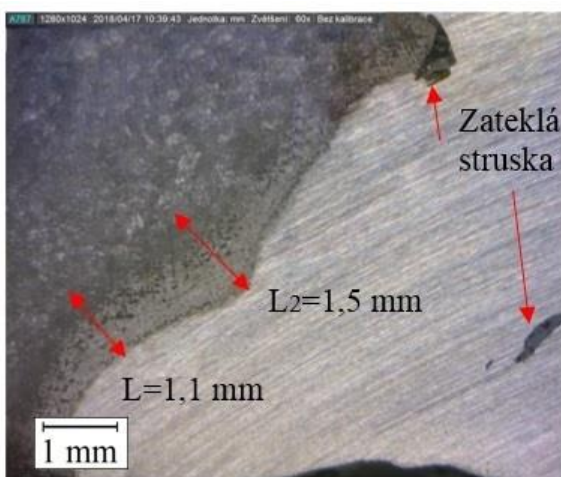
vidět na detailním snímku B, viz obr. 61. Jde o studený spoj vzniklý nepřiměřeným natavením základního materiálu s následným zatečením strusky. Tato vada s ostrým zakončením může být iniciátorem vzniku a šíření trhlin. Následně lze pozorovat bubliny na okraji svarového spoje.

Oba detailní snímky byly pořízeny při zvětšení 60x. Z detailního pohledu B, a také z pohledu A (obr. 62) je možné poměrně zřetelně vidět a změřit šířku tepelně ovlivněné oblasti s průměrnou hodnotou 1,3 mm.

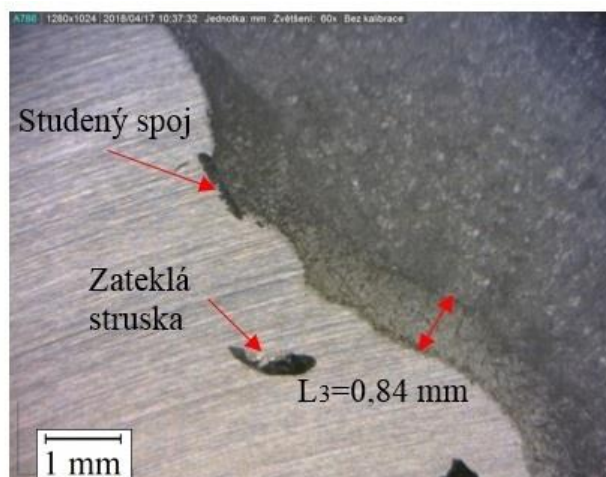


Obr. 63 - Makro snímek vzorku č.2

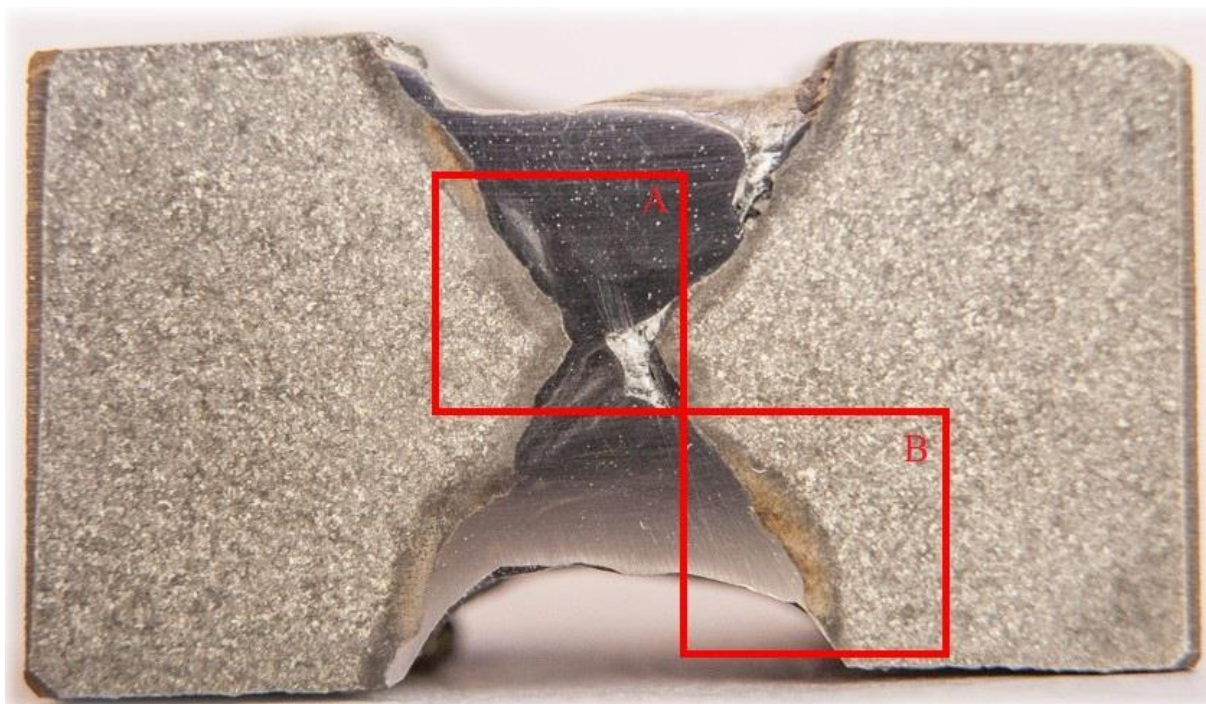
Makro snímek druhého vzorku svařovaného elektrodou OK 92.18, viz obr. 63. Na tomto snímku lze pozorovat větší výskyt vad. V kořenové části a na detailním snímku C, který je umístěn v příloze 20, je vměstek v podobě zateklé strusky. Možnou příčinou vzniku bylo nedostatečné vybroušení kořenu svaru po první svařovací operaci. Následné vady, viz obr. 64 a obr. 65, jsou podobného charakteru. Problém je nejen v nedostatečném odstranění strusky po každé navařené housence, ale také v horším tečení niklové tavné lázně. Průměrná šířka tepelně ovlivněné oblasti je 1,1 mm.



Obr. 65 – Detailní snímek A



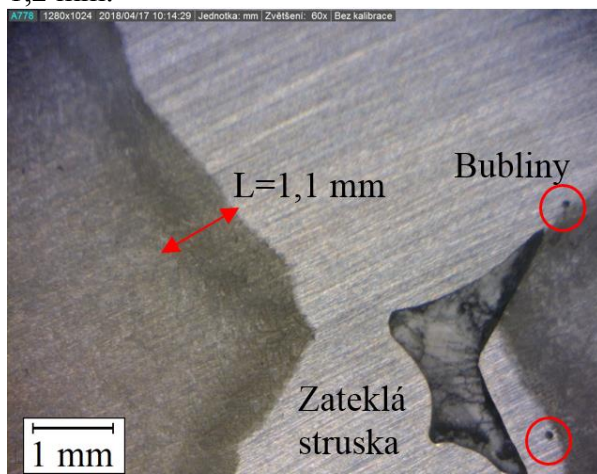
Obr. 64 – Detailní snímek B



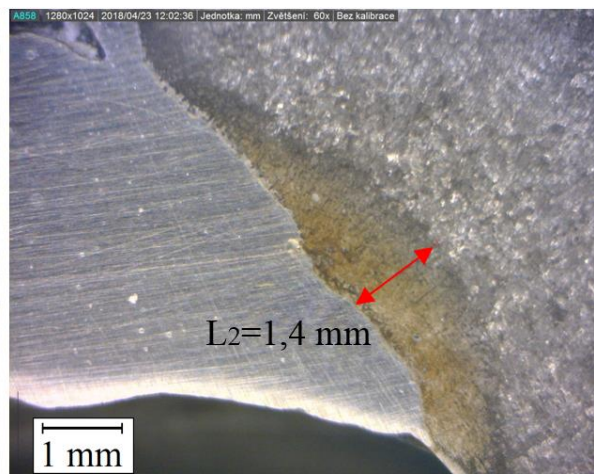
Obr. 66 – Makro snímek vzorku č. 3

Makro snímek třetího vzorku svařovaného elektrodou UTP 86 FN, je možný vidět na obr. 66. V první řadě zaujme nedokončené vyplnění svarového spoje, které je výsledkem patrných rozsáhlých svarových vad již při svařování. Tudíž nebyl důvod v pokračování a dokončení plného objemu spoje.

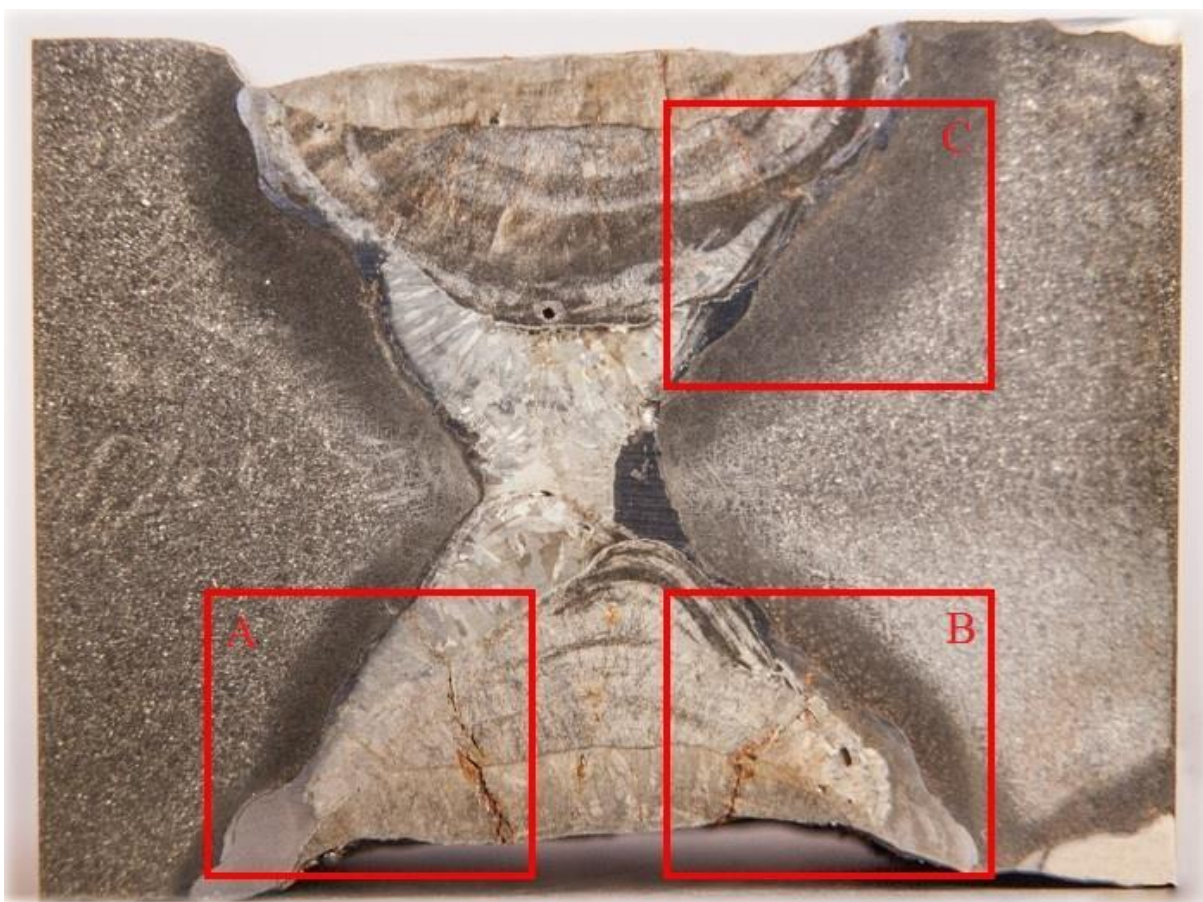
Na detailním pohledu, viz obr. 67 a obr. 68, lze vidět předpokládanou masivní vadu v kořenové části spoje. Zde, jak již bylo zmíněno, došlo k nedokonalém provaření obou spojovaných materiálů s následkem zatečení struky. Elektrický oblouk v tomto místě pulzoval buď k jednomu nebo druhému materiálu, ne však zároveň k oběma. Výsledkem je naprosto nevyhovující svarové spojení. Mimo jiné je možné zpozorovat další vady jako např. bubliny a pórovitost. Průměrná hodnota šířky tepelně ovlivněné oblasti dosahuje obvyklé hodnoty 1,2 mm.



Obr. 68 – Detailní snímek A

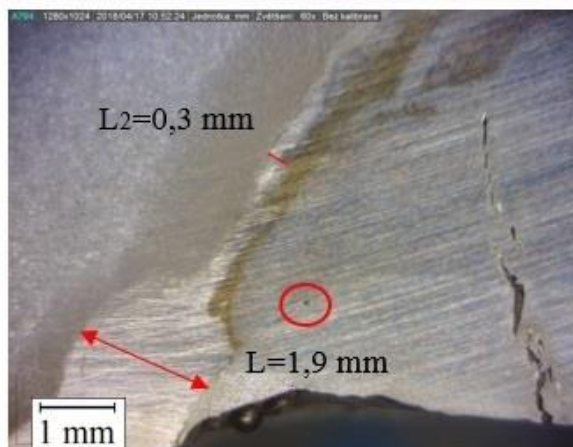


Obr. 67 – Detailní snímek B



Obr. 69 – Makro snímek vzorku č. 4

Posledním vzorek je svařený již zmíněnou metodou úspory přídavného materiálu na bázi niklu. Na demonstrováném snímku, viz obr. 69, lze vidět zřetelné rozsáhlé krystalizační trhliny ve svarovém spoji. Jedna z příčin vzniku trhlin je austenitická struktura smíšené návarové fero-niklové vrstvy se svarovým kovem nízkouhlíkové oceli. Dále na detailním snímku A a B, viz obr. 70 a obr. 71, lze vidět póry a bubliny. Již na makro snímku (obr. 69) je zřetelně vidět široká tepelně ovlivněná zóna s průměrnou hodnotou 2,3 mm. Na detailním snímku C, viz příloha 21, je šířka TOO až 3,2 mm. Tloušťka fero-niklové vrstvy je velice proměnlivá, v závislosti na množství protavení a promísení s výplňovým PM. Na detailním snímku A je zaznamenaná hodnota tloušťky fero-niklové 0,3 mm, ale na vrcholu svarového spoje tato vrstva dosahuje až 1,9 mm.



Obr. 70 – Detailní snímek A

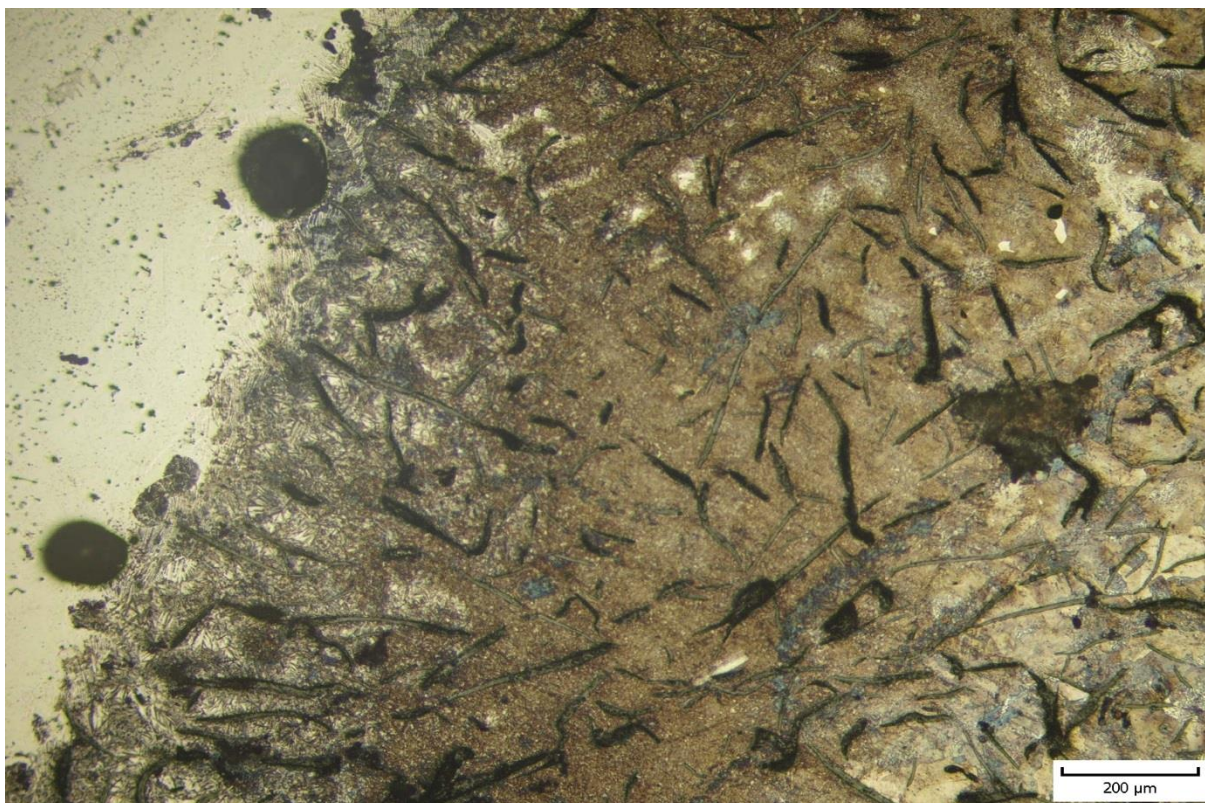


Obr. 71 – Detailní snímek B

3.5.2 Mikroskopická analýza [51]

Dle mikroskopické kontroly jsou zkoumané vzorky hodnoceny z hlediska vzniklých struktur a viditelných mikro metalurgických vad na rozhraní jednotlivých oblastí (svarového kovu, TOO a základního materiálu). Především jsou vyhledávány a hodnoceny tvrdé a křehké karbidické fáze. Množství těchto kritických fází jako jsou např. martenzit, bainit, ledeburit budou následně posuzovány z hlediska vlivu na životnost a provozuschopnost beranu.

Vybrané vzorky pro mikroskopickou analýzu jsou pouze dva ze čtyř. V prvním případě se jedná o vzorek č. 1, který obsahoval nejméně vad při makroskopické kontrole. V druhém případě vzorek č. 4, je opačný extrém a je tedy nejzajímavější.



Obr. 72 – Rozhraní svaru a ZM. Zvětšeno 100x. Leptáno Nitalem

Prvním snímkem je mikrostruktura vzorku č.1, který zachycuje všechny tři základní oblasti. A to jsou svarový kov, tepelně ovlivněná oblast a základní materiál (obr. 72). Dále je možné vidět různé metalurgické vady jako např. bubliny a hojná pórovitost ve svarovém kovu. Dílčí oblasti TOO, zejména první tři lze z tohoto snímku víceméně rozeznat, avšak názorněji poslouží následující snímky při vyšším přiblížení.

Prvním přiblížením je základní materiál šedé litiny, viz obr. 73. Z tohoto snímku je patrné, že se jedná o perlitickou strukturu základní kovové matrice.

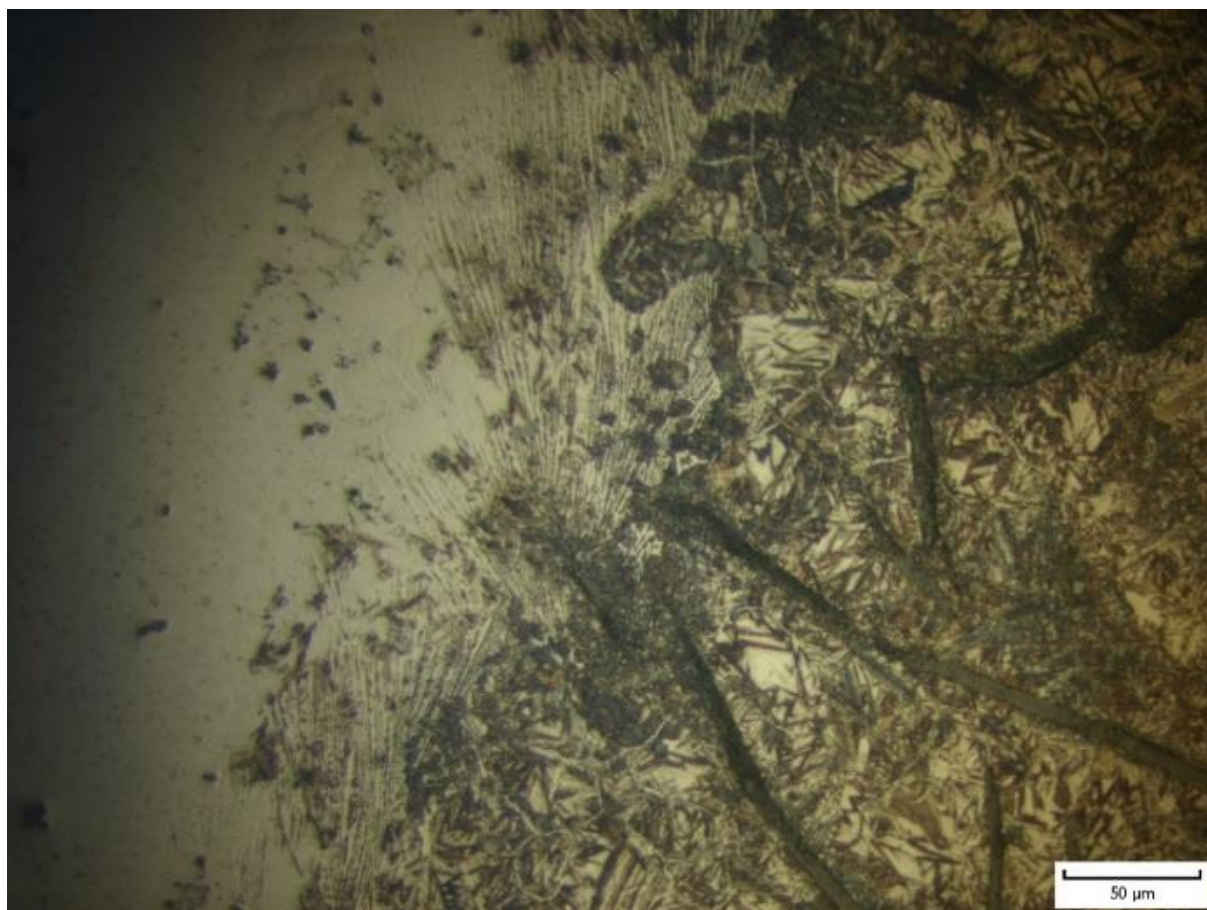


Obr. 73 – Základní materiál. Zvětšeno 200x

Při postupu bližšího pozorování obr. 72, se od snímku základní struktury dostáváme do rozhraní TOO a ZM. Při této snížené kvalitě obr. Lze posoudit maximálně zjemnění zrn kovové matrice vlivem překrytalizace. Ovšem rozeznání jednotlivých fází TOO anebo určitých struktur je velice obtížné (obr. 74). Snímek v plné kvalitě, jako ode všech ostatních snímků je k nalezení v přílohách 22 a 23.

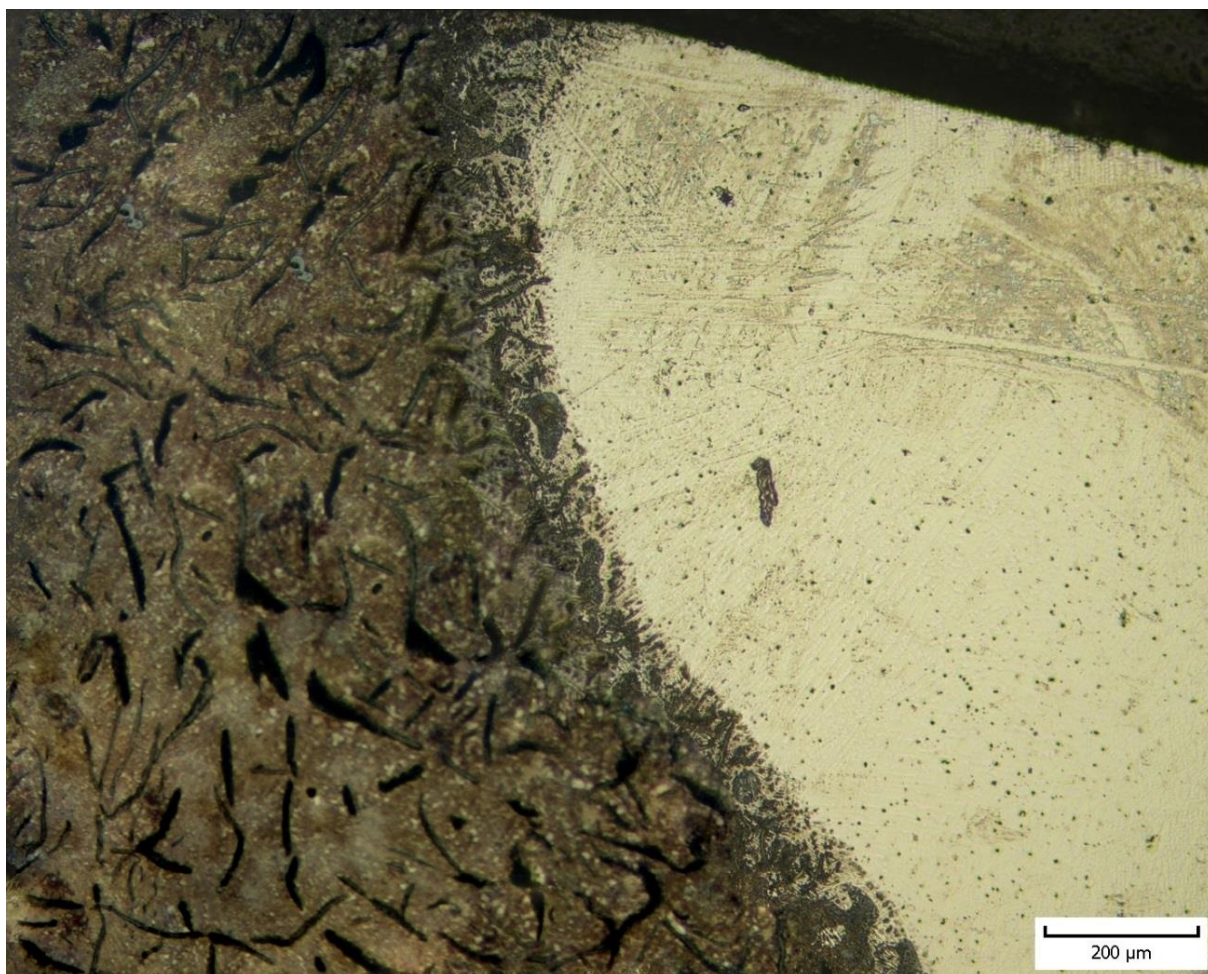


Obr. 74 – Rozhraní TOO a ZM. Zvětšeno 200x



Obr. 75 – Rozhraní Svarový kov a TOO. Zvětšeno 400x

Při posledním přiblíženém detailním snímku, viz obr. 75, je možné rozeznat určité fáze TOO a struktury v nich obsažené. Zleva od svarového kovu si lze povšimnout první fáze – částečného natavení. Při kterém došlo k rozředění niklové slitiny a vzniku viditelné typické dendritické struktury, pozn. Nejedná se však o ledeburit, který se v jistých případech této fázi podobá. Dalším posunem vpravo je druhá fáze TOO – austenitizační. Zde došlo k ohřevu materiálu do oblasti intervalu eutektické a eutektoidní přeměny. S následným rychlým ochlazením došlo ke vzniku směsi vysokouhlíkového martenzitu a horního bainitu. K čemuž napovídá typická jehlicovitá struktura a výsledky měření tvrdosti.



Obr. 76 – Rozhraní ZM. a svaru. Zvětšeno 100x. Leptáno Nitalém

Mikrostruktura vzorku č.4 zachycuje přechod svarového kovu, tedy návarové vrstvy, do základního materiálu, viz obr. 76. Na mikrosnímku se zvětšením 100x však nelze vidět celý průběh TOO, protože v této části svaru se její šířka pohybuje přes 3 mm, viz detail makro snímku v příloze 21.

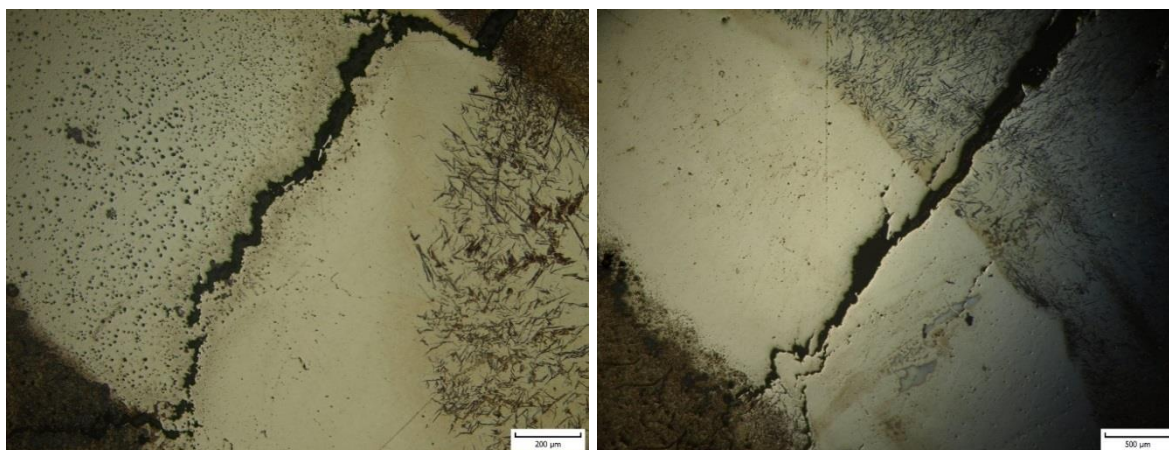
V oblasti svarového kovu (návarová vrstva fero-niklové elektrody) si lze povšimnout rovnoběžného dendritického uspořádání, které je typické pro niklové slitiny.

Svarový kov opět vykazuje značné množství metalurgických vad, jako jsou např. póry a vměstky.

První oblast TOO – částečné natavení, vyžadovala bližší přiblížení pro určení struktury na rozhraní (obr. 77). Na přiblíženém snímku byl posuzován výskyt bílé litiny, což se nakonec neprokázalo. Na obr. 77 lze jasně vidět, že se jedná o zředění svarového kovu a základního materiálu.



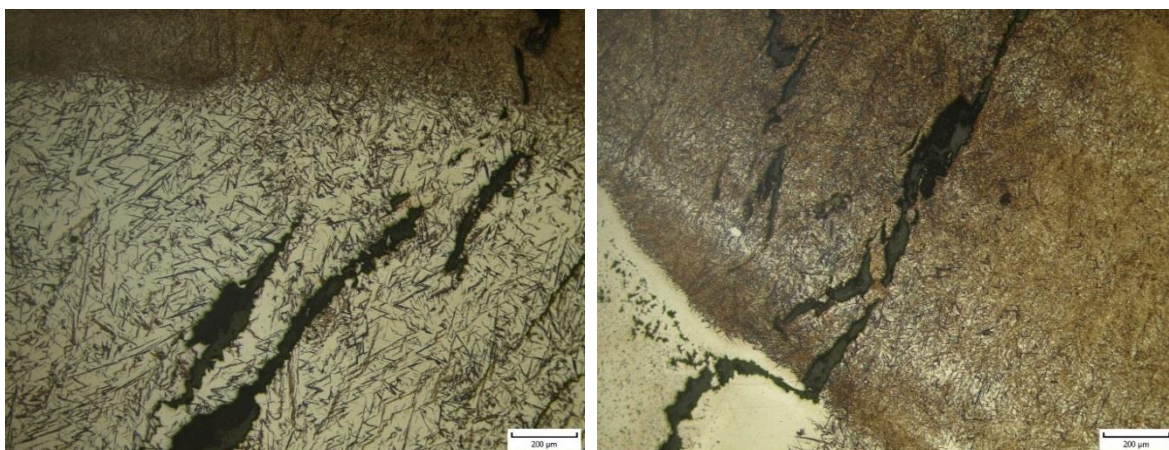
Obr. 77 – Rozhraní Svarový kov a TOO. Zvětšeno 400x



Obr. 79 – Trhlina za horka v návarové vrstvě Obr. 78 – Trhlina za horka napříč vrstvámi

Při svařování výplňovou elektrodou (EB-121), se složením uhlíkové oceli, došlo k promísení svarového kovu s návarovou vrstvou (UTP 86 FN). Tím vznikla nestejnorodá austenitická struktura. Austenitická a niklová struktura jsou nejvíce náchylné na vznik trhlin za horka, přičemž danou náchylnost dále zvyšuje rostoucí obsah prvků (N, Si, T, Nb). Defekty jsou mimo technologických podmínek ze strany materiálu, doprovázeny výskytem nečistot. Spolu s těmito okolnostmi přispívaly ke vzniku trhlin, viz obr. 78 a 79, vzniklé tvrdé struktury v oblasti svarového kovu vzniklého elektrodou EB-121.

Právě v této oblasti, ve které byla výrazně zvýšena prokalitelnost vlivem vysokého obsahu niklu, došlo k překrytalizaci austenitu na martenzit. Na rozhraní této oblasti a návarového kovu opět došlo k výraznému promísení a z transformování martenzitických jehlic v matici niklové slitiny. Což dokazují následné výsledky tvrdostí zmíněných struktur. Na obou obr. 80 a 81 je zachycen přechod návarové vrstvy a výplňového svarového kovu. Podrobnější snímky obou oblastí jsou umístěny v příloze 24.



Obr. 80 – Přejít dvou oblastí ve svaru Obr. 81 – Oblast výplňového svarového kovu

3.5.3 Hodnocení tvrdosti

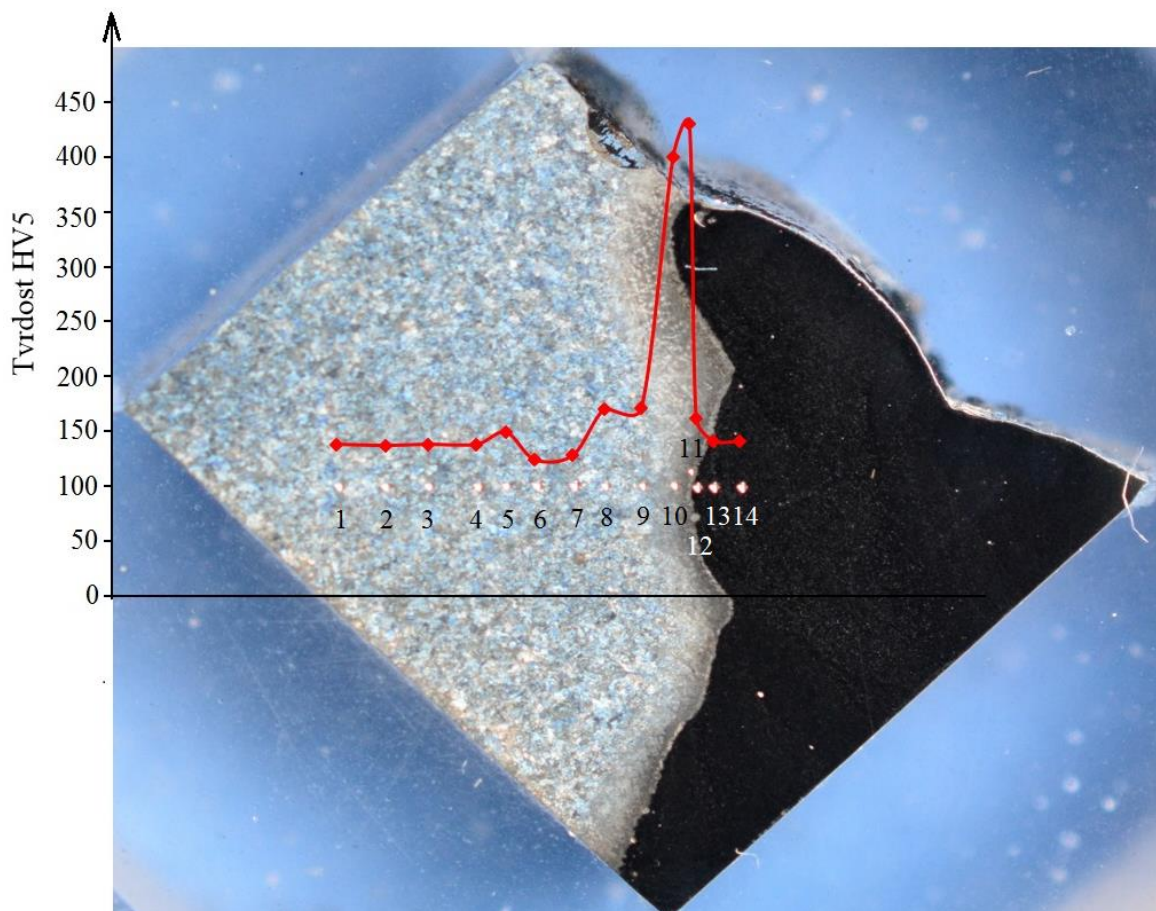
Dalším důležitým vyhodnocení je měření průběhu tvrdostí, napříč všemi pásmy svarového spoje. Hodnocení tvrdosti bylo prováděno dle metody Vickerse na vzorcích mikrostruktury, tedy na svařovaných vzorcích č.1 a 4.

Měření bylo uskutečněno na tvrdoměru Zwick 3212 s CCD kamerou a propojený s počítačem pomocí softwaru testXpert. Tvrdosti tak byly vyhodnoceny pomocí ohraničení vtisku úhlopříčkami a automatickým přepočtem na hodnotu tvrdosti, viz obr. 82. měření obou vzorků bylo použito závaží 5 kg. Vtisky byly voleny s roztečí přibližně 0,5 mm.

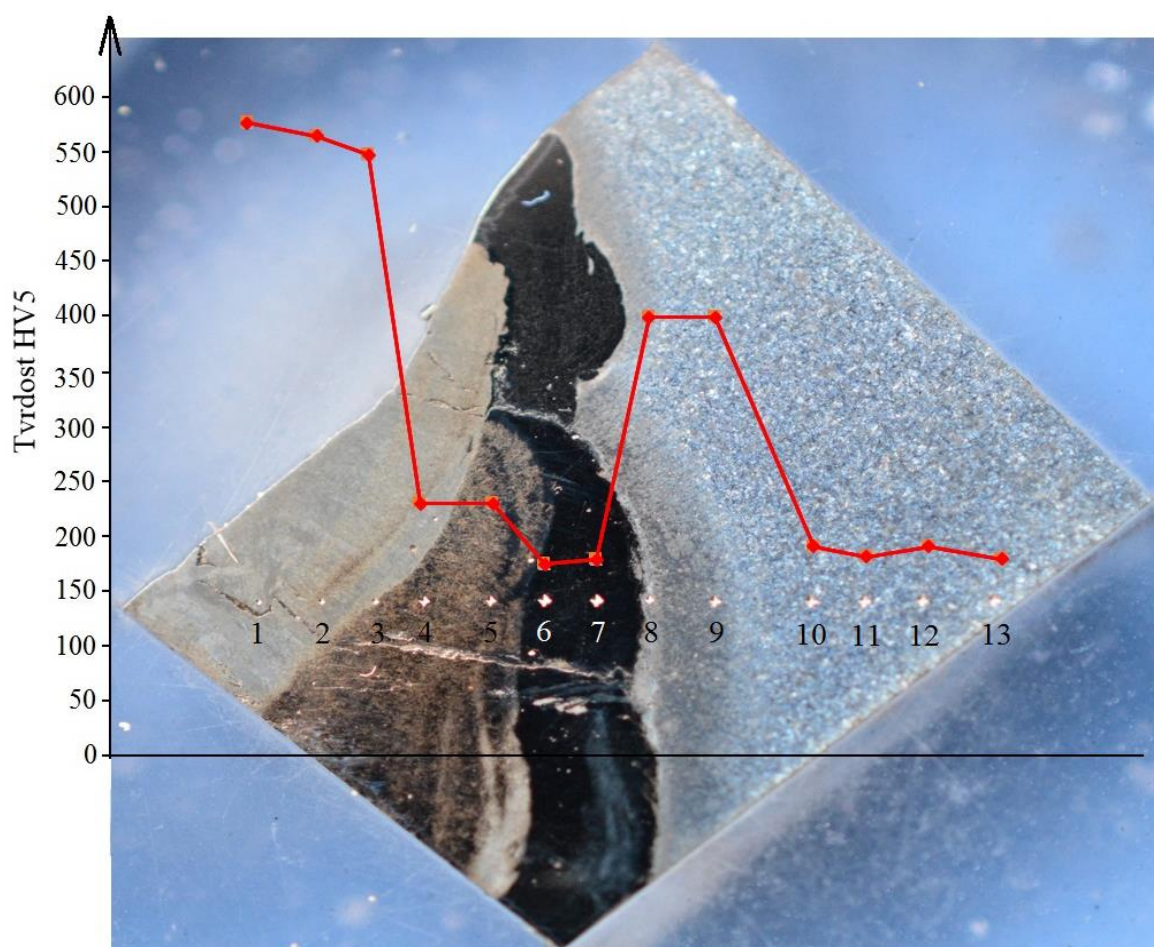
Průběh tvrdostí má charakteristický tvar pro svarové spoje, viz obr. 83. Nejvyšší tvrdost 430 HV5 byla naměřena na rozhraní TOO a svarového kovu. Jedná se oblast popisovanou v kapitole mikroanalýzy. Dle hodnoty tvrdosti se v dané oblasti vyskytuje horní bainit, a však záleží na dané poloze vtisku. Svarový kov vykazoval stejnou tvrdost jako základní materiál tedy 180 HV5.



Obr. 82 – Tvrdoměr Zwick 3212



Obr. 83 – Průběh měření tvrdosti vzorku č. 1



Obr. 84 – Průběh měření tvrdosti vzorku č. 4

Tvar průběh tvrdosti při měření vzorku č.4 je dle očekávání předpokládaného výskytu maximálních tvrdosti. Nejvyšší tvrdost byla naměřena 566 HV5 v oblasti výplňového svarového kovu, kde došlo k zakalení, a tudíž ke vzniku martenzitické struktury. V přechodové části svarového kovu, kde došlo k ztransformování martenzitických jehlic v niklové slitině, tvrdost prudce poklesla a následně v návarové niklové slitině byla naměřena nejnižší hodnota 160 HV5. Opětný nárůst tvrdosti v TOO na hodnotu 380 HV5 vykazuje obsah horního bainitu.

Tak enormně vysoká tvrdost struktury ve svaru je jednou z možných příčin vzniku trhlin, což v závěrečném hodnocení naprosto vylučuje metodu úspory niklového přídavného materiálu pro tento konkrétní případ opravy beranu. Zkoumaný vzorek č. 4 vykazoval vysoké množství metalurgických vad, ale zásadními vadami jsou trhliny a vznik tvrdých a křehkých struktur.

Hodnocení vzorku č. 1 lze shrnout tak, že v případě konstrukčního svařování by daný svar byl nevyhovující. Jednak z příčiny vzniku markantního studeného spoje v kořenové části a jednak z důvodu vzniku tvrdé a křehké struktury v TOO. Jedná se však o svařování litiny a zde se předpokládají tyto výsledky. Příčinou vzniku studeného spoje mohl být např. špatné vedení elektrody svářeče. Jak již bylo zmíněno v úvodu experimentální části, vzorky jsou v poměru ke skutečnému opravovanému objemu součásti mnohem menší, tudíž u nich byl nižší odvod tepla. Při následné opravě bude nutné beran celý kompletně prohřát na homogenní teplotu předehřevu, pro maximální možnou eliminaci vzniku tvrdých struktur.

3.6 Příprava svarových ploch beranu [52], [53]

Precizní příprava svarových ploch u svařování litiny je zásadní. Zahrnuje celkové očištění součásti, zbavení povrchové rzi a mastnoty, zhotovení svarových úkosů a zbavení hloubkové mastnoty (vzniklé poměrně vysokou nasákavostí litiny). Vše začíná demontáží skupiny beranu ze stroje, kompletně demontovaný beran je celkově čištěn a zbaven povrchové mastnoty v průmyslovém odmašťovacím stroji, který je bubnového postřikového typu, viz obr. 85.



Obr. 86 – Uložení v drátěném koši



Obr. 85 – Odmašťovací stroj [53]

Odmašťované součásti se vkládají do drátěného koše, viz obr. 86. pro využití prostoru koše je vhodné doplnění menšími součástmi. Čištění probíhá postřikem odmašťované součásti čistícím přípravkem ROTO-KLENE při teplotě 85 °C a po dobu 10 min.

Po odmaštění a očištění následuje otryskání celého povrchu křemičitým pískem pro zbavení rzi a nátěrové hmoty. Tím je součást připravena na proces opravy.

Prvním krokem při samotném zásahu do materiálu musí být odvrtání konce trhliny, aby se předešlo šíření trhliny vlivem tepelného působení při drážkování a broušení. Průměr vyvrtaného otvoru byl zvolen 8 mm (obr. 87).

Následuje první tepelný zásah do materiálu, a to drážkování uhlíkovou elektrodou s vlivem vyfukování stlačeným vzduchem. Pro drážkování byla použita uhlíková elektroda o průměru 8 mm. Nastavený proud 450 A. Jako zdroj tak vysokého proudu byl využit konvertorový svařovací zdroj ESAB ARC 810c.



Obr. 87 – Odvrtání konce trhliny



Obr. 88 – Hrubé drážkování

Na obr. 88 lze vidět výsledek tzv. hrubého drážkování, při které mělo hlavní účel spálení nasáklé mastnoty v okolí místa svařování. Dalším účelem bylo ulehčení množství odebraného materiálu. Při drážkování působí na základní materiál intenzivní teplo elektrického oblouku o vysoké proudové hodnotě. Vlivem rychlého ochlazování vzniká v povrchové vrstvě nežádoucí bílá litina. Proto musí následovat broušení až do vyhotovení finálního tvaru úkosu, viz obr. 89.

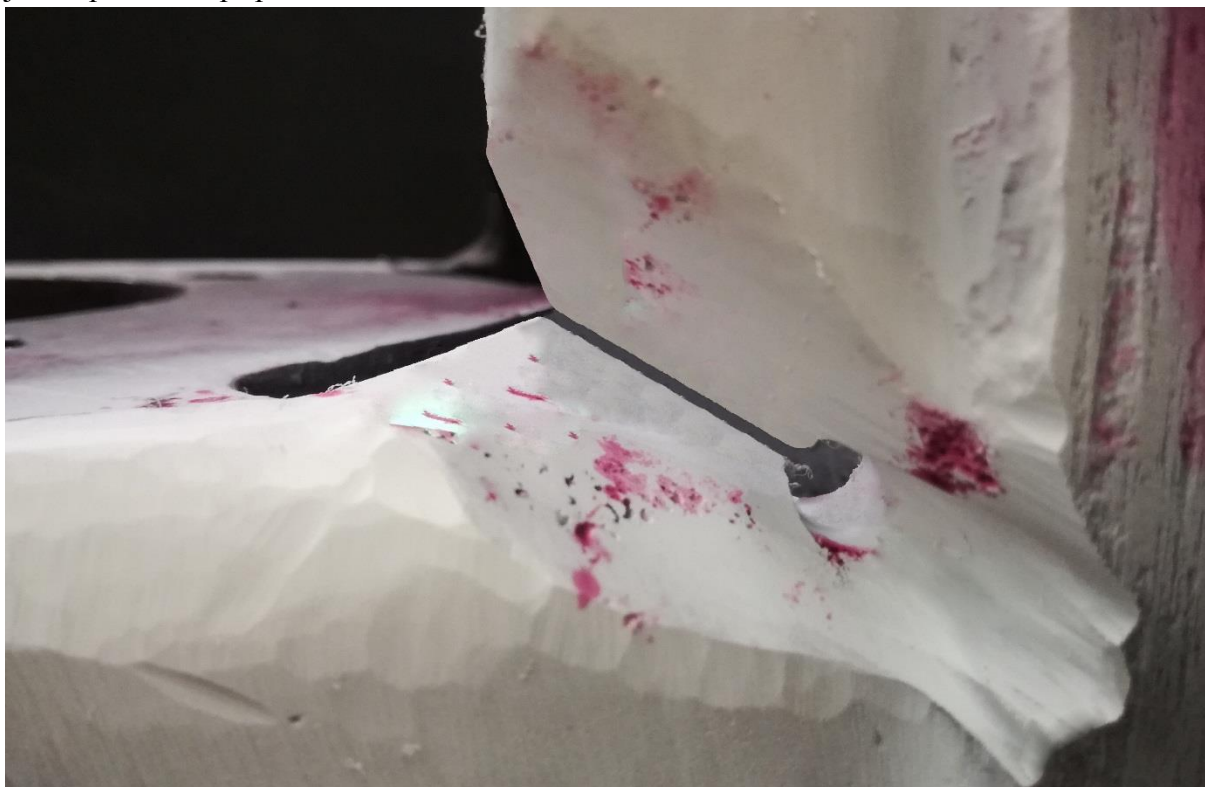


Obr. 89 – Finální tvar úkosu



Obr. 90 – Zadní vnější pohled na provedený svarový úkos

Vybrání materiálu vzhledem k délce trhliny muselo zasáhnout i do vodící plochy beranu (obr. 90). Bylo nutné dosáhnout toho, aby krajní tloušťka stěny v místě vyvrtaného otvoru byla co nejmenší. Ve snaze protavit materiál při svařování kořenové housenky takovým způsobem, aby v daném místě nevznikl studený spoj. Po dokončení tvaru úkosu je vždy nutné provést defektoskopickou zkoušku pro detekování případných zbylých trhlin, viz obr 91. Indikující penetrační látka představuje pouze očekávanou pórovitost a nedokonalost povrchu litiny, která je bez problému přípustná.



Obr. 91 – Defektoskopická kontrola svarového úkosu

3.7 Postup svařování beranu

Po dokončení příprav svarového úkosu následuje samotný proces svařování. Na základě výsledků zjištěných při experimentálních zkouškách, byla zvolena byla vybrána varianta vzorku č.1, která dosáhla nejlepšího hodnocení. Jedná se o variantu s přídavným materiálem s fero-niklivým složením a označením OK 92.60. Na podkladu pWPS (DP-ZK-1-01; DP-ZK-2-01) pro vzorek č. 1, byl vypracován postup svařování pro opravu beranu. pWPS s označením (DP -1-01 a DP -2-01), viz příloha 14.



Obr. 92 – První návarová vrstva z vnitřní strany beranu

Svařování bylo započato z vnitřní strany, a to z důvodu následného lepšího přístupu při broušení kořene z druhé strany (obr. 92).

Dokončenou vnitřní stranu svaru je možné vidět na obr. 93. Lze si povšimnout mírného převýšení, které v tomto případě není nijak závadné. Vzhledem k tomu, že se jedná o vnitřní stranu beranu, není potřeba příliš dbát na estetický vzhled. I přesto budou povrch svaru a jeho okolí mírně přebroušeny.



Obr. 93 – Dokončený svar z vnitřní strany

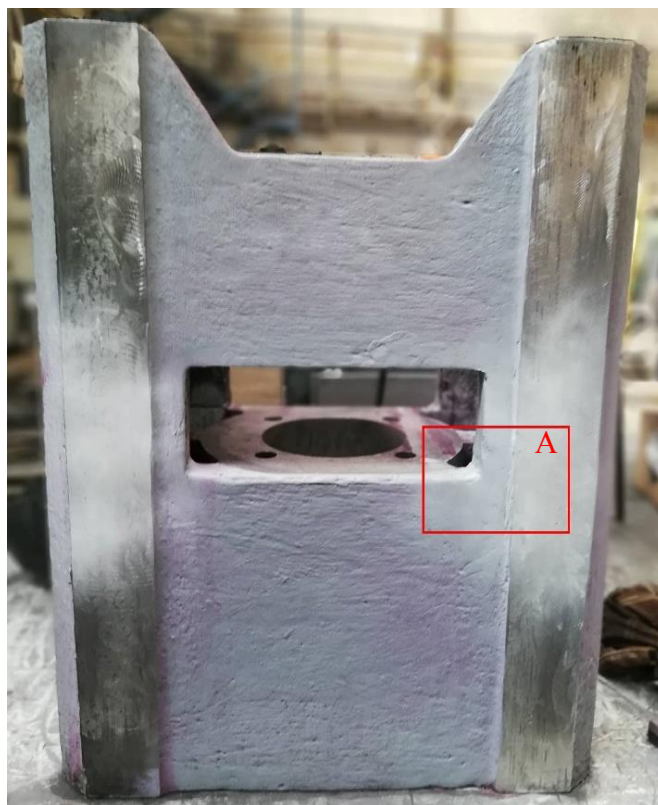


Obr. 94 – Detailní pohled A

Po dokončení vnitřní strany následuje pokračování z vnějšku beranu, názorná fotodokumentace je uvedena v příloze 26. Při dodržení daných navržených postupů bylo docíleno úspěšné opravy trhliny svařování, kterou dokazuje konečná defektoskopická zkouška, viz obr. 93. A detailní pohled na opravované místo, viz obr. 94.

Kompletní oprava se řídila dle vypracovaného technologického postupu, který je přiložen v příloze 25.

Dalším postupem opravy beranu bude následovat obrábění funkčních ploch. Jedná se zejména o vodící a dosedací plochy. Obráběné vodící plochy lze vidět na obr. 95.



Obr. 95 – Konečná defektoskopická zkouška

4 TECHNICKO-EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Pro návrh technologie opravy beranu byly provedeny nezbytné experimentální zkoušky s cílem vybrat nejvhodnější variantu. Jednotlivé varianty se lišily volbou odlišných přídavných materiálů. Zkušební vzorky byly svařovány dle vypracovaných pWPS. Pro každý svařovaný vzorek byly vypracované dvě pWPS. Jedna pro odplyňovací návar a druhý pro samotné svařování. Na základě posuzované makroanalýzy, při které bylo hodnoceno zejména množství metalurgických vad dopadla nejlépe varianta č.1. Dle vybrané varianty vzorku č.1 s příslušným přídavným materiálem byly vyhotoveny pWPS pro opravu beranu. Souhrn všech vypracovaných pWPS je uveden v tab. 9.

Tab. 9 – Souhrn vypracovaných pWPS

Varianta vzorku č.	pWPS pro návar	pWPS pro svarový spoj	Přídavný materiál
1	DP-ZK-1-01	DP-ZK-2-01	OK 92.60
2	DP-ZK-1-02	DP-ZK-2-02	OK 92.18
3	DP-ZK-1-03	DP-ZK-2-03	UTP 86 FN
4	DP-ZK-1-04	DP-ZK-2-04	UTP 86 FN/EB121
Oprava beranu	DP-1-01	DP-2-01	OK 92.60

Celkové náklady na opravu beranu se skládají z mnoha dílčích technologických částí. Jsou to například části demontáže, čištění, kontroly, přípravy opravy, svařování, obrábění, kontrola, poprvé úpravy. Konkrétní technicko-ekonomické hodnocení se však bude zabývat pouze náklady za část svařování a přípravy. Vypočítané náklady za svařování je vhodné porovnat s náklady za kooperační služby svařování. Jde vlastně o porovnání vynaložených nákladů způsobů řešení problému, kdy beran je po technické kontrole (iniciace trhliny) a v úvahu přicházejí dvě možné cesty. Jedna z možností je opravit prasklý beran ve stávající firmě a druhá možnost je nechat opravu na kooperačních službách. Zvolena byla první možnost s určující výhodou nižších nákladů, které je nutné ověřit.

Náklady za opravu svařování se v podstatě skládají z nákladů za přípravu experimentálních vzorků, přípravu beranu, svařování vzorků, svařování beranu a využitého přídavného materiálu. Základními vstupními parametry jsou vynaložené normohodiny na danou část a hodinová sazba konkrétní části nákladů. Hodnota hodinové sazby je určena mnoha vstupními parametry, jako jsou např. využití pracoviště, mzda pracovníka, režie, elektrické energie, odpisy atd. Pro zjednodušení budou tyto hodnoty různých hodinových sazeb převzaty ze zavedeného ekonomického systému firmy ŠMERAL Brno, které jsou uvedeny v tabulce 10.

Tab. 10 – Hodnoty hodinových sazeb dle pracoviště.

Pracoviště řezárny, automatická pásová pila	$H_R = 430 \frac{\text{Kč}}{\text{h}}$
Pracoviště obrobny, klasická obráběcí frézka	$H_O = 800 \frac{\text{Kč}}{\text{h}}$
Pracoviště svařovny, ruční obloukové svařování	$H_S = 600 \frac{\text{Kč}}{\text{h}}$

Celkové vynaložené normohodiny při všech dílčích částí jsou uvedené v následně shrnutý do tabulky 11.

Tab. 11 – Hodnoty vynaložených normohodin.

Pracoviště		Experimentální vzorky	Oprava beranu
Řezání	[h]	$T_{V\check{R}} = 0,6$	
Obrábění	[h]	$T_{VO} = 4,1$	
Svařování + příprava pro svařování:	[h]	$T_{VS} = 15,3$	$T_{BS} = 12,7$

Náklady při všech procesech výroby experimentálních vzorků lze spočítat dle následujícího vztahu:

$$N_{Vp} = H_{\check{R}} \cdot T_{V\check{R}} + H_O \cdot T_{VO} + H_S \cdot T_{VS} \quad (4.1)$$

Kde:	$H_{\check{R}}$	$\left[\frac{\text{Kč}}{\text{h}}\right]$	– hodnota hodinové sazby pracoviště řezárny
	H_O	$\left[\frac{\text{Kč}}{\text{h}}\right]$	– hodnota hodinové sazby pracoviště obrobny
	H_S	$\left[\frac{\text{Kč}}{\text{h}}\right]$	– hodnota hodinové sazby pracoviště svařovny
	$T_{V\check{R}}$	[h]	– normohodina řezání vzorků
	T_{VO}	[h]	– normohodina obrábění vzorků
	T_{VS}	[h]	– normohodina svařování vzorků.

$$N_{Vp} = 430 \cdot 0,6 + 800 \cdot 4,1 + 600 \cdot 15,3 = 12\,718 \text{ Kč}$$

Náklady při všech procesech opravy beranu svařováním lze spočítat dle následujícího vztahu:

$$N_{Op} = H_S \cdot T_{BS} \quad (4.2)$$

Kde:	T_{BS}	[h]	– normohodina svařování opravy beranu.
------	----------	-----	--

$$N_{Op} = 600 \cdot 12,7 = 7620 \text{ Kč}$$

Do celkové kalkulace nákladů za část svařování vstupují náklady za přídavný materiál. Jednotlivé hodnoty v závislosti na využitých počtů kusů elektrod jsou uvedeny v tabulce 12.

Tab. 12 – Množství využitých elektrod a ceny za daný počet kusů.

	Experimentální vzorky		Oprava beranu	
	Počet využitých kusů [ks]	Celková cena [Kč]	Počet využitých kusů [ks]	Celková cena [Kč]
OK 92.60	35	745	16	340
OK 92.18	30	740		
UTP 86	52	1560		
E-B - 121	19	100		

Celkové náklady za proces svařování se započítání cen přídavného materiálu dostaneme dle vztahu:

$$N_C = N_{Vp} + N_{Op} + N_{PM} \quad (4.3)$$

Kde:	N_{Vp}	[Kč]	– náklady na výrobu experimentálních vzorků
	N_{Op}	[Kč]	– náklady opravu beranu svařováním
	N_{PM}	[Kč]	– náklady za veškerý přídavný materiál viz tab. 11

$$N_C = 12\,718 + 7\,620 + 3\,485 = 23\,823 \text{ Kč}$$

Úspora nákladů při opravě ve firmě ŠMERAL Brno:

$$N_U = N_K - N_C \tag{4.4}$$

Kde: N_K [Kč] – kooperační cena opravy beranu $N_K = 35\,000 \text{ Kč}$

N_C [Kč] – celkové náklady za proces svařování.

$$N_U = 35\,000 - 23\,823 = 11\,177 \text{ Kč}$$

Procentuální úspora nákladů:

$$N_{UP} = 100 - \frac{N_C}{N_K} \cdot 100 \tag{4.5}$$

$$N_{UP} = 100 - \frac{23\,823}{35\,000} \cdot 100 = 32 \%$$

Při kooperační ceně opravy beranu, která činí přibližně 35 000 Kč, je zřejmě vhodnější varianta první možnosti, tedy oprava beranu přímo ve firmě ŠMERAL Brno. Celkové náklady na opravu představují 23 823 Kč, což je o 32 % méně oproti kooperační nabídce.

5 ZÁVĚRY

Při generálních opravách tvářecích strojů a těžkých strojů obecně jsou nejčastěji opravované masivní strojní součásti vyrobené z odlévaného materiálu. Čím starší opravovaný stroj je, tím je pravděpodobnější, že se jedná o odlitek z šedé litiny. Je všeobecně známá špatná svařitelnost tohoto materiálu. Pro úspěšně zdařenou opravu prasklého odlitku metodou svařování je nezbytná základní znalost způsobů svařování litin, které se v určitých bodech zásadně liší od běžného svařování oceli. Z toho důvodu byla věnována značná část teoretické části práce, která se zabývá opravou prasklého litinového beranu tvářecího lisu LET 160. Důležitým předpokladem úspěšné opravy je také striktní dodržení technologické kázně, čímž je myšleno přesné dodržování předepsaných postupů a navrhované metody.

Litiny v obecném měřítku, jsou tak specifickým materiálem, že nejsou normou předepsané přesné technologické postupy svařování pro konkrétní materiál. Z toho důvodu bylo nutné provést experimentální zkoušky svarů, při kterých se napodobovaly podmínky při nastávající opravě beranu lisu LET 160. Pro navrhovaný materiál experimentálních vzorků, je vždy důležité, aby odpovídal, nebo se co nejlíže podobal opravovanému materiálu, a to na základě chemického složení. Proto byly provedeny na obou materiálech chemické analýzy, čímž byla potvrzena velmi blízká podobnost obsahů chemických prvků, zvláště těch, které mají na svařitelnost největší vliv. Experimentální zkoušky byly koncipované testováním čtyř různých druhů přídavných materiálů (elektrod) od různých výrobců, s cílem vybrat nevhodnější typ elektrod pro opravu. Posouzení výsledků svařovaných vzorků bylo provedeno na základě vizuální kontroly, makroskopické analýzy, mikroskopické analýzy a měření tvrdosti. Nejlepších výsledků dosahoval typ přídavného materiálu s fero-niklivým složením od výrobce ESAB (označení OK 92.60). Na základě zjištěných výsledků experimentů byla úspěšně provedena oprava prasklého beranu lisu. Poslední část se zabývala technicko-ekonomickým zhodnocením procesu svařování s následným porovnáním nákladů na opravu v kooperaci. Celkové náklady na opravu svařováním byly v porovnání s kooperační firmou o 32 % nižší.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ROUČKA, Jaromír. *Metalurgie litin*. Brno: PC-DIR, 1998, 62 s. Učební texty vysokých škol. ISBN 80-214-1263-1.
2. POŠTA, Josef, Jaroslav HAVLÍČEK a Michail I. ČERNOVOL. *Renovace strojních součástí*. 2. vyd. Praha: SVÚM, 1998, 160 s. ISBN 80-902-0156-3.
3. MEŠKO, Josef a Július VESELKO. *Zváranie a opravy grafitických liatin*. Žilina: Edis Žilinská univerzita, 1999, 168 s. ISBN 80-7100-568-1.
4. Metalock-Reparaturen. In: *Metalockengineering* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <https://www.metalockengineering.com/de/metalock-engineering-germany-gmbh/anwendung-beispiele/metalock-reparaturen/>
5. Svařování litiny. In: *Stahlben* [online]. [cit. 2018-05-16]. Dostupné z: <http://stahlben.cz/references.php>
6. POKORNÝ, Přemysl. *Výrobní stroje II: tvářecí stroje*. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2001. ISBN 80-708-3482-X.
7. NOVOTNÝ, Karel. *Výrobní stroje a zařízení: Tvářecí stroje*. Praha, SNTL-Nakladatelství technické literatury, 1984.
8. HÝSEK, Rudolf. *Tvářecí stroje*. 3. upr. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980, 551 s.
9. Představení společnosti. *Šmeral* [online]. Brno: <http://web147.cz/> [cit. 2018-03-16]. Dostupné z: <http://www.smeral.cz/predstaveni.html>
10. KRŇÁK, Rudolf. *Svařování litiny*. Vyd. 2. Praha: SNTL, 1961, 105 s. Knižnice strojírenské výroby.
11. KUBÍČEK, Jaroslav. *Renovace a povrchové úpravy*. Brno, 2006. Dostupné také z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/studium/index.php?stranka=opory>
12. *Materiály a ich správanie sa pri zváraní: kniha učebných textov pre kurzy zvaračských inžinierov*. Sv. II. 2. dopl. a preprac. vyd. Bratislava: Výskumný ústav zvaračský - Priemyselný inštitút SR, 2003, 355 s. ISBN 80-88734-10-X.
13. FILIP, Petr. Jaký je rozdíl mezi měkkým pájením, tvrdým pájením a svařováním?: Tvrdé pájení. In: *E-konstrukter* [online]. Praha, 2015 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://e-konstrukter.cz/novinka/jaky-je-rozdil-mezi-mekkym-pajenim-tvrzym-pajenim-a-svarovanim>
14. BARTÁK, Jiří. Způsoby svařování litin. *Strojirenstviprofi* [online]. Praha: Verlag Dashöfer, 2012 [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <https://www.strojirenstviprofi.cz/33/zpusoby-svarovani-litin-uniqueidmRRWSbk196FNf8-jVUh4EuvDzS7ep4R26wRPR5JgJg8/?query=sva%F8ov%E1n%ED%20litiny&serp=1>
15. AMBROŽ, Oldřich, Bohumil KANDUS a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
16. Metalock. In: *Strojírny a stavby Třinec* [online]. Třinec: SaS-Třinec [cit. 2018-02-10]. Dostupné z: <http://www.sas-trinec.cz/download/metalock.pdf>

17. Ruční obloukové svařování. *Střední škola – Centrum odborné přípravy technické* [online]. Kroměříž, 2011 [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=33447&instance=2>
18. Obloukové svařování obalenou elektrodou. *Schinkmann* [online]. [cit. 2018-02-11]. Dostupné z: <https://www.schinkmann.cz/mma-rucne-obalenou-elektrodou>
19. BÖHLER UDDEHOLM. *Opravy a renovace svařováním a navařováním při těžbě, úpravy a přesunu surovin a výrobě stavebních hmot: Aplikace*. Dostupné také z: <http://www.bohler-uddeholm.cz/mediaDob%20c3%bdv%20a1n%20ad,%20p%20c5%99esu n%20a%20zpracov%20a1n%20ad%20hornin%20a%20v%20c3%bdroba%20stavebn%20a dch%20hmot.pdf>
20. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 241 s. ISBN 80-85771-85-3.
21. Svařování litiny. *Weldmasters* [online]. Brno: Weldmasters [cit. 2018-02-09]. Dostupné z: <http://www.weldmasters.cz/sluzby/specialni-svarecske-prace/svarovani-litiny/>
22. VONDRÁK, Vladimír, Jiří HAMPL a Aleš HANUS. *Metalurgie litin: mimopecní zpracování roztavené litiny (očkování, modifikace)*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2005, 125 s. ISBN 80-248-0777-7.
23. FÜRbacher, Ivan, Karel MACEK a Josef STEIDL. *Lexikon technických materiálů se zahraničními ekvivalenty: Litiny*. Sv. II. Praha : Verlag Dashöfer, 2006.
24. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011, 927 s. ISBN 978-807-3610-814.
25. ČSN 42 0006. *Číselné značení litin*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1970.
26. ČSN EN 1560. *Systém označování litiny: Značky materiálů a číselné označování materiálů*. Nahrazení normy ČSN EN 1560 (420005) z října 1999. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2012.
27. POŠTA, Josef. *Renovace součástí s lomy a trhlinami: svařování*. In: *Mechanizace zemědělství* [online]. Praha: ., 2011 [cit. 2018-01-28]. Dostupné z: <http://mechanizaceweb.cz/renovace-soucasti-s-lomy-a-trhlinami-svarovani/>
28. MEŠKO, Jozef, Miloš MIČIAN a Ján PLEVA. *Teória zvarovania: návody na cvičenia*. V Žiline: EDIS, 2002, 257 s. ISBN 80-807-0002-8.
29. POLÁK, Peter, Peter BERNASOVSKÝ, Viktor, et al. *Materiály a ich správanie pri zvaraní*. Sv. I. Ostrava: Zeross, 2000, 252 s. ISBN 80-85771-81-0
30. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. V Bratislave: Slovenská technická univerzita, 2009, 492 s. Edícia vysokoškolských učebníc. ISBN 978-80-227-3167-6.
31. MINAŘÍK, Václav. *Přehled metod svařování*. 3. aktualiz. vyd. Ostrava: ZEROSS, c2011. Svařování. ISBN 80-866-9818-1.
32. BARTÁK, Jiří, Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. Ostrava: ZEROSS, 2002. Svařování. ISBN 80-857-7197-7.
33. VESELKO, Július a Vadim SUDNIK. *Technológia zvarovania*. Bratislava: Alfa, 1989, 310 s. ISBN 80-05-00189-4.

34. MARTINEC, Jiří, Zdeněk ŠVEIDLER a Aleš PLÍHAL. Trendy / Spojování a dělení: Svařování a opravy litinových výrobků. *MM Průmyslové spektrum*. 2005, 2005(10), 24. ISSN 1212-2572.
35. KOBE STEEL, LTD. *Arc welding of specific steels and cast irons*. Tokyo, 2015. Dostupné také z: http://www.kobelco.co.jp/english/welding/events/files/2015_KOBELCO_Specific.pdf
36. BATMANOV, Vjačeslav Aleksejevič. *Elektrické svařování litiny při opravách strojního zařízení*. Praha: Průmyslové vydavatelství, 1952, 127 s. Knižnice kovoprůmyslu (Průmyslové vydavatelství).
37. KOPEC, Bernard. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí: (nauka o materiálu IV)*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. ISBN 978-80-7204-591-4.
38. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu I*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-720-4193-2.
39. Magnetická prášková metoda. In: *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2018-01-31]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Magnetick%C3%A1_pr%C3%A1kov%C5%A1kov%C3%A1_metoda
40. Nedestruktivní metody testování: Kapilární defektoskopie. In: [Http://web2.mendelu.cz](http://web2.mendelu.cz) [online]. Brno: Mendelova univerzita v Brně, 2012 [cit. 2018-02-06]. Dostupné z: http://web2.mendelu.cz/af_291_projekty2/vseo/print.php?page=6385&typ=html
41. ČSN 42 2424. *Šedá litina nelegovaná*. Praha: Úřad pro normalizaci, 1954.
42. Šedá litina - obalené elektrody. *Welco* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <https://www.welco.cz/katalog/seda-litina-obalene-elektrody>
43. Cast Iron Alloys. *ESAB* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: <http://www.esabna.com/us/en/products/index.cfm?fuseaction=home.productsbycategory&catId=169>
44. UPT Maintance. *Bohler-uddeholm* [online]. [cit. 2018-03-18]. Dostupné z: http://www.bohler-uddeholm.cz/media/UTP%20Maintenance_EN.pdf
45. *Svařovací materiály: Obalené elektrody, dráty, tyčinky a plněné elektrody pro tavné svařování litiny*. Nahrazení normy ČSN EN ISO 1071 (05 5317) z ledna 2005. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
46. Svářecí inventory II.: Zkratky a pojmy. *Svarweb* [online]. 2005, 22. 06. 2006 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2006062201>
47. Hotstart ke svářečce. *Svarweb* [online]. 2005, 13. 02. 2008 [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cisloclanku=2007070205>
48. GAMA 1550A. *Froweld: Svařovací technika* [online]. [cit. 2018-04-01]. Dostupné z: <http://www.froweld.cz/svarovaci-technika/eshop/2-1-SVAROVACI-ZDROJE/399-2-OMICRON/5/1490-GAMA-1550A>
49. SN30. In: *Deprag* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://www.deprag.cz/de/druckluftwerkzeuge/sn-30-7657.html>
50. Infračervený teploměr. In: *Voltcraft* [online]. [cit. 2018-04-02]. Dostupné z: <http://www.voltcraft.cz/infraclervey-teplomer-50-az-500-c-ir-500-10s.k100962>

51. SCHMIDOVÁ, Eva. *Metalurgické vady svarových spojů*. Vyd. 2. Pardubice: Univerzita Pardubice, Dopravní fakulta Jana Pernera, Katedra mechaniky, materiálů a části strojů, 2014, 150 s. ISBN 978-807-3958-510.
52. PRŮMYSLOVÉ ODMAŠŤOVACÍ STROJE. *Kompass* [online]. [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://cz.kompass.com/p/prumyslove-odmastovaci-stroje/47097/>
53. Macchine lavapezzi a solvente o ad acqua. In: *Kijiji* [online]. [cit. 2018-03-11]. Dostupné z: <https://www.kijiji.it/annunci/attrezzature-industriali/milano-annunci-milano/macchine-lavapezzi-a-solvente/103242722>
54. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2013 [cit. 2018-05-18]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/info>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	Tažnost	[%]
a	Délka beranu	[mm]
b	Hloubka beranu	[mm]
c	Výška beranu	[mm]
GJL	Litina s lupínkovým grafitem	[-]
H	Výška elektrického oblouku	[mm]
HB	Tvrдость podle Brinela	[-]
HV	Tvrдость podle Vickerse	[-]
H _O	Hodnota hodinové sazby pracoviště obrobny	[Kč/h]
H _Ř	Hodnota hodinové sazby pracoviště řezárny	[Kč/h]
H _S	Hodnota hodinové sazby pracoviště svařovny	[Kč/h]
m	Hmotnost beranu	[kg]
N _C	Celkové náklady za proces svařování	[kč]
N _K	Kooperační cena opravy beranu	[Kč]
N _{PM}	Náklady za veškerý přídavný materiál	[Kč]
N _U	Úspora nákladů při opravě	[Kč]
N _{UP}	Procentuální úspora nákladů	[Kč]
N _{VP}	Náklady při procesech svařování vzorků	[Kč]
R _m	Smluvní mez pevnosti	[MPa]
T _{VO}	Normohodina obrábění vzorků	[h]
T _{VŘ}	Normohodina řezání vzorků	[h]
T _{VS}	Normohodina svařování vzorků	[h]
T _{BS}	Normohodina svařování opravy beranu	[h]
t	Tloušťka prasklé stěny beranu	[mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 – Různé metody způsoby oprav litinových odlitků [4], [5]	9
Obr. 2 – Konstrukční návrh výstředníkového lisu LET 160	10
Obr. 3 – Konstrukční návrh beranu	13
Obr. 4 – Stav beranu po demontáži	13
Obr. 5 – Trhlina beranu	14
Obr. 6 – Pájení plamenem [13].....	15
Obr. 7 – Schéma metody Metalock [16]	16
Obr. 8 – Metalace [16]	13
Obr. 9 – Metoda Masterlock [16].....	13
Obr. 10 – Svařování plamenem [12].....	13
Obr. 11 – Svařování metodou MMA [19]	14
Obr. 12 – Oprava prasklé litinové součásti [17].....	15
Obr. 13 – Diagram Fe-Fe ₃ C a Fe-C [1]	16
Obr. 14 – Lupínkový grafit [1].....	17
Obr. 15 – Kuličkový grafit [1].....	17
Obr. 16 – Vermikul. grafit [1].....	17
Obr. 17 – Vločkový grafit [1].....	17
Obr. 18 – Mechanické vlastnosti nelegovaných litin [1].....	16
Obr. 19 – Schéma číselného označení litin dle ČSN [24]	19
Obr. 20 – Evropské značení litin [26]	19
Obr. 21 – Oblasti TOO při svařování šedé litiny [3].....	20
Obr. 22 – Závislost šířky TOO, M. a L. vrstvy na množství vneseného tepla [3]	21
Obr. 23 – Odplyňovací vrstva [2].....	22
Obr. 24 – Postup kladení housenek [2].....	22
Obr. 25 – Schéma metody MMA [18].....	23
Obr. 26 – Způsoby polaritý [32].....	23
Obr. 27 – Polštářování při svařování za studena [12]	25
Obr. 28 – Druhy litin [11]	26
Obr. 29 – Fáze 3 [40]	27
Obr. 30 – Fáze 1 [40]	27
Obr. 31 – Fáze 2 [40]	27
Obr. 32 – Fáze 4 [40]	28
Obr. 33 – Schéma práškové magnetické zkoušky [39]	28
Obr. 34 – Zátkovaný konec vybrání [11]	28
Obr. 35 – Vybrání ukončené rádiusem [11].....	29
Obr. 36 – Svarové úkosy [11], [12].....	29
Obr. 37 – Řešený prasklý beran	30
Obr. 38 – Závislost tvrdosti a pevnosti šedé litiny na tloušťce stěn [1]	31
Obr. 39 – Výsledek magnetické zkoušky	32
Obr. 40 – Výsledek kapilární zkoušky	32
Obr. 41 – Řez tlakovou pojistkou.....	33
Obr. 42 – Nářezový plán	33
Obr. 43 – Obrobený zkušební kus	33
Obr. 44 – Bezkontaktní teploměr [50].....	36
Obr. 45 – OMICRON Gama 1550 [48]	37
Obr. 46 – Zkušební svarové housenky rozdílných elektrod	37
Obr. 47 – Výška oblouku	38
Obr. 48 – Schéma druhu svaru	38
Obr. 49 – Překrývané vrstvy.....	39

Obr. 50 – Kořen svaru	39
Obr. 51 – Symetrické vyplňování.....	39
Obr. 52 – Smršťování svarové housenky	40
Obr. 53 – Svařovaný vzorek č.1	40
Obr. 54 – Svařovaný vzorek č.2	40
Obr. 55 – Svařovaný vzorek č.3	41
Obr. 56 – Svařovaný vzorek č. 4	41
Obr. 57 – Ořezaný vzorek č. 3.....	42
Obr. 58 – Metalografická bruska.....	42
Obr. 59 – Metalografická pila.....	42
Obr. 60 – Makro snímek vzorku č.1.....	43
Obr. 61 – Detailní pohled B	43
Obr. 62 – Detailní pohled A	43
Obr. 63 – Makro snímek vzorku č.2.....	44
Obr. 64 – Detailní snímek B.....	44
Obr. 65 – Detailní snímek A.....	44
Obr. 66 – Makro snímek vzorku č. 3.....	45
Obr. 67 – Detailní snímek B.....	45
Obr. 68 – Detailní snímek A.....	45
Obr. 69 – Makro snímek vzorku č. 4.....	46
Obr. 70 – Detailní snímek A.....	46
Obr. 71 – Detailní snímek B.....	46
Obr. 72 – Rozhraní svaru a ZM. Zvětšeno 100x. Leptáno Nitalem	47
Obr. 73 – Základní materiál. Zvětšeno 200x.....	47
Obr. 74 – Rozhraní TOO a ZM. Zvětšeno 200x.....	48
Obr. 75 – Rozhraní Svarový kov a TOO. Zvětšeno 400x	48
Obr. 76 – Rozhraní ZM. a svaru. Zvětšeno 100x. Leptáno Nitalem	49
Obr. 77 – Rozhraní Svarový kov a TOO. Zvětšeno 400x	49
Obr. 78 – Trhlina za horka napříč vrstvami.....	50
Obr. 79 – Trhlina za horka v návarové vrstvě	50
Obr. 80 – Přejít dvou oblastí ve svaru.....	50
Obr. 81 – Oblast výplňového svarového kovu	50
Obr. 82 – Tvrdoměr Zwick 3212.....	51
Obr. 83 – Průběh měření tvrdosti vzorku č. 1	51
Obr. 84 – Průběh měření tvrdosti vzorku č. 4	52
Obr. 85 – Odmašťovací stroj [53]	53
Obr. 86 – Uložení v drátěném koši.....	53
Obr. 87 – Odvrtání konce trhliny	53
Obr. 88 – Finální tvar úkosu.....	54
Obr. 89 – Hrubé drážkování	54
Obr. 90 – Defektoskopická kontrola svarového úkosu	55
Obr. 91 – Zadní vnější pohled na provedený svarový úkos	55
Obr. 92 – První návarová vrstva z vnitřní strany beranu.....	56
Obr. 93 – Dokončený svar z vnitřní strany	56
Obr. 94 – Detailní pohled A	57
Obr. 95 – Konečná defektoskopická zkouška	57

SEZNAM TABULEK

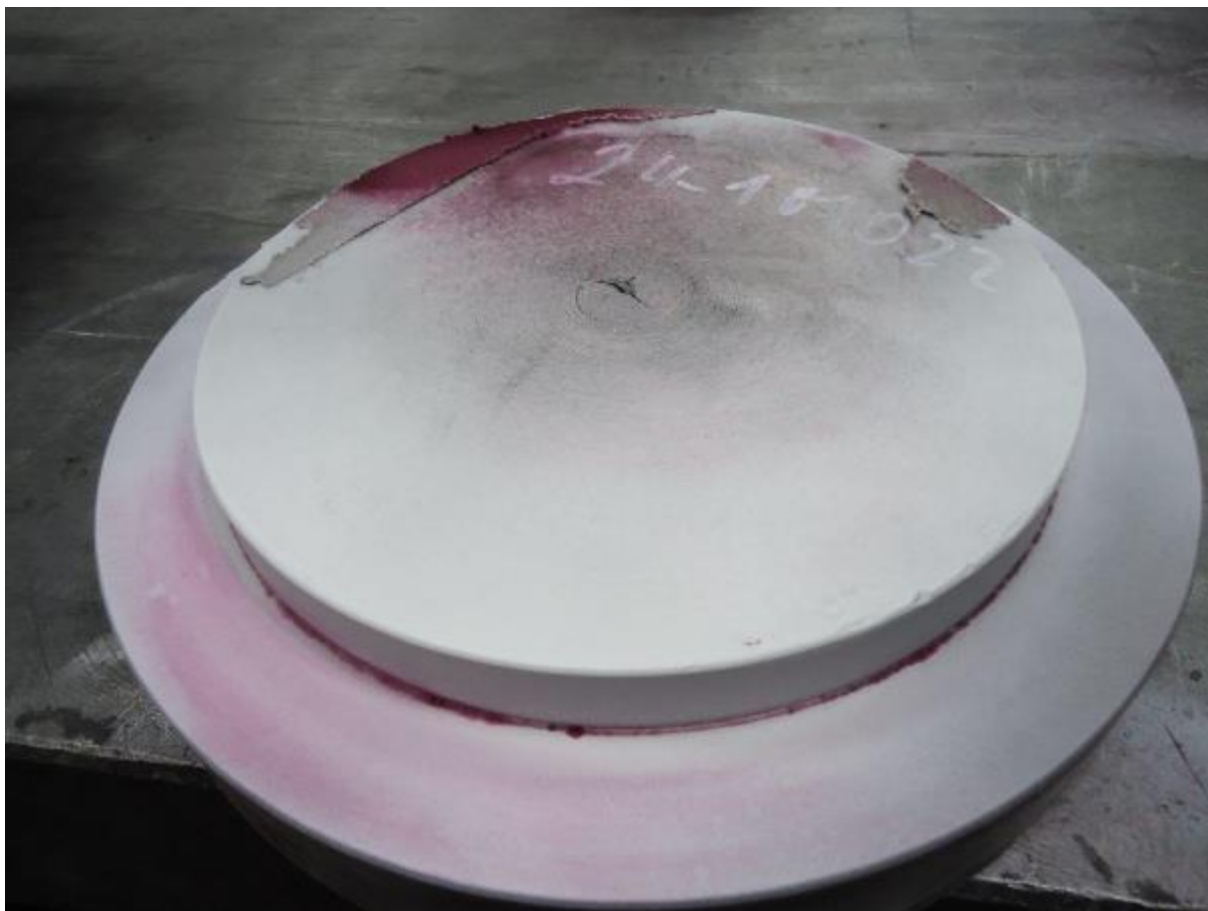
Tab. 1 – Srovnání obsahů prvků v uhlíkové oceli a šedé litině [1], [23]	20
Tab. 2 – Hlavní rozměry beranu.	30
Tab. 3 – Max. obsah nežádoucích prvků [41]	31
Tab. 4 – Chemické složení materiálu beranu.	31
Tab. 5 – Chemické složení materiálu pojistky.	32
Tab. 6 – Výběr možných elektrod [42], [43], [44], [45]	35
Tab. 7 – Technické parametry [48]	37
Tab. 8 – Zkušební svařovací parametry.	38
Tab. 9 – Souhrn vypracovaných pWPS	58
Tab. 10 – Hodnoty hodinových sazeb dle pracoviště.	58
Tab. 11 – Hodnoty vynaložených normohodin.	59
Tab. 12 – Množství využitých elektrod a ceny za daný počet kusů.....	59

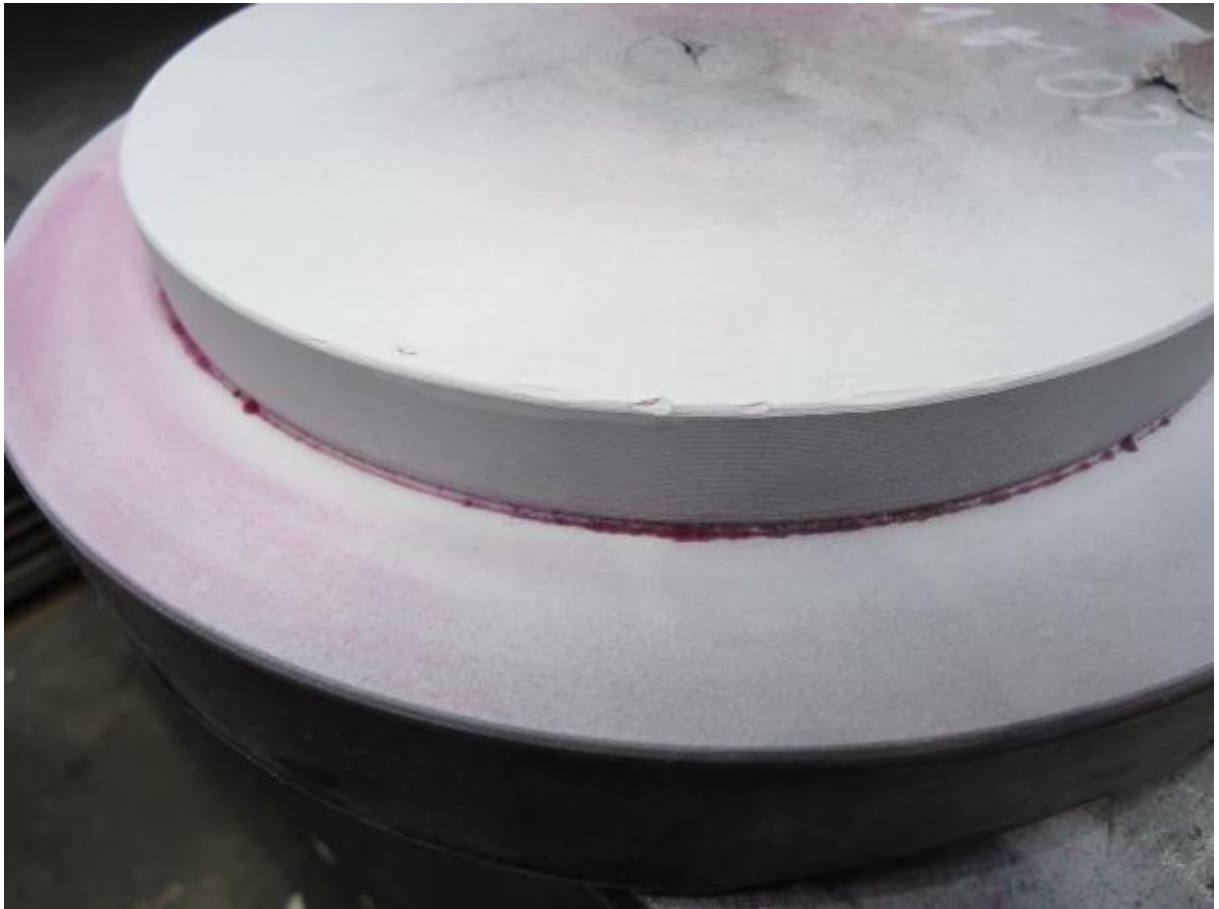
SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHA 1	Fotodokumentace tlakové pojistky při defektoskopické zkoušce
PŘÍLOHA 2	Defektoskopická zkouška beranu
PŘÍLOHA 3	Pohled na trhlinu z vnitřní strany
PŘÍLOHA 4	Značení litin dle ČSN 42 0006 - významy dvojčíslí a doplňkových čísel
PŘÍLOHA 5	Značení litin dle EN ISO 1560 - významy jednotlivých skupin ve značení
PŘÍLOHA 6	Materiálový list litiny ČSN 42 2424 [34]
PŘÍLOHA 7	Atest materiálu beranu (ČSN 42 2424)
PŘÍLOHA 8	Atest materiálu střížné pojistky
PŘÍLOHA 9	Materiálový list litiny ČSN 42 2425 [4]
PŘÍLOHA 10	pWPSa Vzorek č. 1
PŘÍLOHA 11	pWPS Vzorek č. 2
PŘÍLOHA 12	pWPSa Vzorek č. 3
PŘÍLOHA 13	pWPSa Vzorek č. 4
PŘÍLOHA 14	pWPSaopravy beranu
PŘÍLOHA 16	Materiálový list OK 92.60 (OK NiFe-Cl)
PŘÍLOHA 17	Materiálový list UTP 86 FN (EC NiFe-13)
PŘÍLOHA 18	Materiálový list E-B - 121
PŘÍLOHA 19	Svařování Vzorku č.3 – kořenová část
PŘÍLOHA 20	Detail C – Makrosnímek vzorku č.2
PŘÍLOHA 21	Detail C – Makrosnímek vzorku č.4
PŘÍLOHA 22	Mikrostruktura TOO vzorku č.1
PŘÍLOHA 23	Mikrostruktura základního materiálu vzorku č.1
PŘÍLOHA 24	Mikrostruktura vzorku č. 4
PŘÍLOHA 25	Technologický postup opravy
PŘÍLOHA 26	Postup svařování při opravě prasklého beranu

SEZNAM VÝKRESŮ

3 714 0390 – NÁŘEZOVÝ PLÁN
4 713 9502 – VÝSEČ
4 713 9503 – HRANOL
4 795 5452 – ZK. SVAR













PŘÍLOHA 4 Značení litin dle ČSN 42 0006 - významy dvojčíslí a doplňkových čísel 1/1

Druhé dvojčíslí	Druh litiny
23	Tvárné litiny
24	Šedé litiny a zvláštní slitiny železa na odlitky
25	Bílé litiny, tvrzené a temperované
26	Uhlíkové oceli na odlitky
27	Nízkolegované a středně legované oceli na odlitky odlévané do pískových forem
28	Nízkolegované a středně legované oceli na odlitky odlévané jiným způsobem a slitiny pro magnety
29	Vysokolegované oceli na odlitky
Třetí dvojčíslí	vyjadřuje pevnostní třídu, kdy např. 42 2425 – 25 znamená $R_m = 250 \text{ Mpa}$


PŘÍLOHA 5 Značení litin dle EN ISO 1560 - významy jednotlivých skupin ve značení 1/1

Tvar grafitu					
L	Lupínkový	M	Vločkový		
V	Vermikulární	N	Bez grafitu (bílá litina)		
S	Kuličkový	Y	Zvláštní tvar		
Struktura kovové matrice					
A	Austenit	L	Ledeburit	B	Temperovaná litina s černým lomem
F	Ferit	Q	Zakalená struktura	W	Temperovaná litina s bílým lomem
M	Martenzit	T	Zušlechtěná struktura	-	Uvádět se nemusí

Mechanické vlastnosti				
Označení tvrdosti		Označení meze pevnosti		Označení tažnosti
HB	Podle Brinela	Číslice udává minimální zaručenou pevnost v tahu v MPa		Číslice udává nejmenší hodnotu v %
HV	Podle Vickerse			
HR	Podle Rockwella			

Chemické složení	
X	Třímístná číslice značící stonásobek obsahu uhlíku
Chemické značky legujících prvků	Množství v procentech oddělené pomlčkami

Dodatečné požadavky na zkušební tělesa	
S	Oddělený litý zkušební vzorek
U	Přilítý zkušební vzorek
C	Zkušební vzorek vyříznutý z odlitku

ČESKOSLOVENSKÁ STÁTNÍ NORMA (STANDARD)					
	ŠEDÁ LITINA NELEGOVANÁ Серый чугун нелегированный			ČSN 42 2424	
				Označení materiálu 42 2424	
Chemické složení (rozbor tavby)			P	S	
			max	max	
			0,50	0,15	
Výrobek	odlisky s malými rozdíly tloušťek stěn				
Provedení					
Povrch	čistě odlito				
Označení materiálu	42 2424				
Průměr odděleně odlitého zkušebního tělesa	mm	20	30	40	
Směrodatná tloušťka stěny odlitku	mm	3 až 15	přes 15 do 30	přes 30 do 50	
Nejmenší pevnost v tahu σ_{Pt}	kg/mm ²	26	24	22	
Nejmenší pevnost v ohybu σ_{Po}	kg/mm ²	46	43	40	
Nejmenší průhyb y při vzdálenosti podpor 600 mm	mm	6	9	11	
Tvrdość podle Brinella (inform.)	H_B	180 až 240	180 až 240	180 až 240	
Obrobitelnost	ztížená				
Zvláštní vlastnosti					
Užití	Válec motorů, ventily na vysoký tlak, ozubená kola, značně namáhané strojní součásti a p.				
Zoznámky	Viz ČSN 42 1241 Odlisky ze šedé litiny				
Dodatek	Přibližně odpovídající značka šedé litiny podle ČSN 1035—1943: Ge 26.91. Šedá litina značky 42 2424 se částečně shoduje se značkou SČ 24—44 podle sovětského standardu GOST 1412—48				
Březen 1954	Schváleno 28. 11. 1953	Platí od 1. 6. 1954	Obdobný sovětský standard: viz dodatek		ČSST 2076—53

Atest - Q4 TASMAN

SampleNo	Popis vzorku									
	dipl. Švarc (Kubiček)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
□	6.000	1.419	1.286	0.526	0.180	0.114	<0.0010	0.030	0.133	<0.0010
σ	3,32	0.064	0.052	0.018	0,075	0.0029			0.00071	
υ		4.510	4.044	3.422		2.544			0.534	
	As	B	Bi	Ce	Co	Mg	Nb	Pb	Sb	Sn
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
□	0.021	0.0017	<0.0070	<0.0050	0.0067	<0.0050	0.0031	<0.0030	<0.0050	0.012
σ	0.0012	0.00047			0.00025		0.00012			
υ	5.714	27.65			3.731		3.871			
	La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe	Cekv.	Seut.
	%	%	%	%	%	%	%	%	[I]	[I]
□	<0.0010	0.058	0.043	0.0093	<0.0010	<0.0010	<0.0030	90.12	6.642	1.636
σ		0.0076	0.00071	0.0021				0.016	0.026	0.011
υ		13.10	1.651	22.58				0.018	0.391	0.672

2.4.2018 14:21:02

Atest - Q4 TASMAN

SampleNo	Popis vzorku									
	dipl. Svarc (Kubiček)									
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu	Al
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
□	3.351	1.551	1.126	0.126	0.093	0.214	<0.0010	0.030	0.153	<0.0010
σ		0.064	0.052	0.018		0.0029			0.00071	
υ		4.510	4.044	3.422		2.544			0.534	
	As	B	Bi	Ce	Co	Mg	Nb	Pb	Sb	Sn
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	%
□	0.021	0.0017	<0.0070	<0.0050	0.0067	<0.0050	0.0031	<0.0030	<0.0050	0.012
σ	0.0012	0.00047			0.00025		0.00012			
υ	5.714	27.65			3.731		3.871			
	La	Ti	V	W	Zn	Zr	Se	Fe	Cekv.	Seut.
	%	%	%	%	%	%	%	%	[I]	[I]
□	<0.0010	0.058	0.043	0.0093	<0.0010	<0.0010	<0.0030	90.12	6.642	1.636
σ		0.0076	0.00071	0.0021				0.016	0.026	0.011
υ		13.10	1.651	22.58				0.018	0.391	0.672

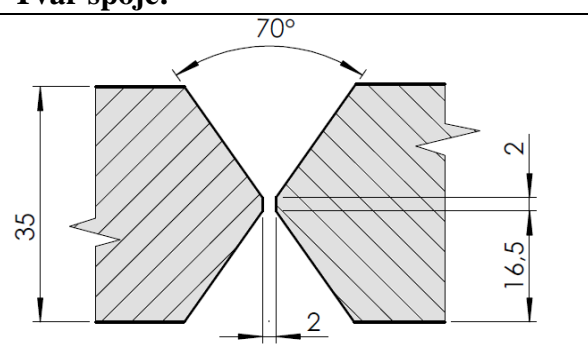
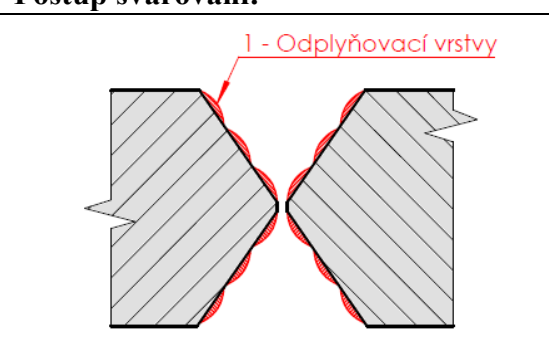
ČSN 42 2425		Litina s lupínkovým grafitem		LITINA						
STN 42 2425				42 2425						
Chemické složení [hm. %] ¹⁾										
P			S							
max 0,50			max 0,15							
Charakteristika										
Struktura je tvořena perlitem (s malým množstvím feritu) s lupínkovým grafitem.										
Střední hodnota stupně eutektičnosti										
$S_e = \frac{\% C}{4,23 - 0,3 (\% Si + \% P)} = 0,87 - 0,93$										
Mechanické vlastnosti										
Stav	–									
Mez kluzu R_p 0,2 [MPa]	–									
Mez pevnosti R_m [MPa] min	250									
Tažnost A_5 [%]	–									
Mez pevnosti v ohybu R_{m0} [MPa] min	430									
Vrubová houževnatost KCU 2 [J . cm ⁻²]	–									
Průhyb y [mm] při vzdálenosti podpor 600 mm	9									
Tvrdość HB max	240									
Modul pružnosti E [GPa]	125,9									
Informativní hodnoty při snížených a zvýšených teplotách										
Teplota [°C]	–60	–40	–20	0	100	200	300	400	500	600
Mez pevnosti R_m [MPa]	207	263	258	254	242	232	241	246	199	126
Vrubová houževnatost KC [J . cm ⁻²]	5,9	6,2	6,7	7,2	7,8	8,1	8,1	7,9	7,4	7,0
Modul pružnosti E [GPa]	–	–	–	–	123,8	121,3	118,9	116,5	114,2	–
Fyzikální vlastnosti										
Hustota	Měrná tepelná kapacita	Tepelný součinitel roztažnosti	Tepelná vodivost	Konduktivita	Lineární smrštění při tuhnutí					
ρ [kg . m ⁻³]	c_p [J . kg ⁻¹ . K ⁻¹]	α [K ⁻¹]	λ_t [W . m ⁻¹ . K ⁻¹]	λ_b [MS . m ⁻¹]	při tuhnutí [%]					
7 230	473	12,3 . 10 ⁻⁶	49,4	–	1,2					
Odolnost proti degračním procesům										
Pevnost v tahu a tvrdost válcových tyčí a stěn odlitků různých rozměrů, litých do pískových forem										
Průměr zkušební tyče [mm]	15	20	30	45	60	90				
Tloušťka stěny odlitku [mm]	4–8	8–15	15–30	30–45	45–80	80–120				
Pevnost v tahu R_m [MPa] min	300	280	250	220	195	170				
Tvrdość HB	220–280	200–260	180–240	170–230	160–220	150–210				

Nejnižší pevnost mezi klíny									
Typ zkušebního tělesa		tyč neobrobená			tyč obrobená			kotouč	
		Ø 30 mm			Ø 20 mm			Ø 20 × 6	
Pevnost mezi klíny σ_{PK} [MPa] min		150			175			170	
ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ									
Mez únavy σ_C [MPa] při namáhání:									
R_m [MPa]	střídavém			míjivém			ohybem za rotace (zkuš. tyč)		
	v ohybu	v tahu	v krutu	v ohybu	v tahu	v krutu	hladká	vrub 2mm	vrtání 2mm
250	–	–	–	–	–	–	min 116	–	–
Technologické údaje									
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ									
teploty přeměn $A_{11} \sim 738 + 5 (\%Si)^2 \text{ } ^\circ C$ $A_{12} \sim 738 + 18 (\%Si)^{1,75} \text{ } ^\circ C$									
Použití									
Na odlitky o tloušťce stěn 15 až 70 mm, např. na válce motorů, součásti turbin, ozubená kola, značně namáhané strojní součásti, na stojany středně těžkých obráběcích strojů ap.									
Ostatní vlastnosti									
Barevné značení podle ČSN 42 0010					Třída odpadu podle ČSN 42 0030				
–					212				
Porovnání se zahraničními materiály									
<i>ISO</i>		<i>EURO</i>			<i>Německo</i>				
–	–	–	–	–	GG-25	DIN 1691	GG-26	DIN 1691	
<i>Francie</i>		<i>Velká Británie</i>			<i>Rusko</i>				
FGL 250	NF A32-101-87	–	–	–	SČ 25	GOST1412-85	SČ 24	GOST1412-85	
Ft 25	NF A32-101								
<i>USA</i>		<i>Japonsko</i>			<i>Kanada</i>				
C1.35B	ASTM A48	FC 250	JIS G5501-89	–	–	–	–	–	–
C1.40B	ASTM A48	FC 25							
<i>Itálie</i>		<i>Rakousko</i>			<i>Švédsko</i>				
G 25	UNI 5007-69	GG-250	ÖNORM M3191-83	0125-00	MNC 705 E-89				
Gh 190	UNI 5330	GG-25							
<i>Polsko</i>		<i>Maďarsko</i>			<i>Norsko</i>				
ZI 250	PN H-83101	Ov 25	MSZ 8260	–	–	–	–	–	–
<i>Finsko</i>		<i>Švýcarsko</i>			<i>Španělsko</i>				
GRS 25	SFS H.1151	–	–	FG 25	UNE 36111-73				
				FG 26	UNE 36111				
<i>Belgie</i>		–			–				
FGG 25	NBN 830-01	–	–	–	–	–	–	–	–
Poznámky									
1) volí dodavatel podle druhu tavicích pecí, surovin, materiálu forem a dalších výrobních podmínek									

Nejnižší pevnost mezi klíny									
Typ zkušebního tělesa		tyč neobrobená			tyč obrobená			kotouč	
		Ø 30 mm			Ø 20 mm			Ø 20 × 6	
Pevnost mezi klíny σ_{PK} [MPa] min		150			175			170	
ODOLNOST PROTI ÚNAVĚ									
Mez únavy σ_C [MPa] při namáhání:									
R_m [MPa]	střídavém			míjivém			ohybem za rotace (zkuš. tyč)		
	v ohybu	v tahu	v krutu	v ohybu	v tahu	v krutu	hladká	vrub 2mm	vrtání 2mm
250	–	–	–	–	–	–	min 116	–	–
Technologické údaje									
TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ									
teploty přeměn $A_{11} \sim 738 + 5 (\%Si)^2 \text{ } ^\circ C$ $A_{12} \sim 738 + 18 (\%Si)^{1,75} \text{ } ^\circ C$									
Použití									
Na odlitky o tloušťce stěn 15 až 70 mm, např. na válce motorů, součásti turbin, ozubená kola, značně namáhané strojní součásti, na stojany středně těžkých obráběcích strojů ap.									
Ostatní vlastnosti									
Barevné značení podle ČSN 42 0010					Třída odpadu podle ČSN 42 0030				
–					212				
Porovnání se zahraničními materiály									
<i>ISO</i>		<i>EURO</i>			<i>Německo</i>				
–	–	–	–	–	GG-25	DIN 1691			
					GG-26	DIN 1691			
<i>Francie</i>		<i>Velká Británie</i>			<i>Rusko</i>				
FGL 250	NF A32-101-87	–	–	–	SČ 25	GOST1412-85			
Ft 25	NF A32-101	–	–	–	SČ 24	GOST1412-85			
<i>USA</i>		<i>Japonsko</i>			<i>Kanada</i>				
C1.35B	ASTM A48	FC 250	JIS G5501-89		–	–			
C1.40B	ASTM A48	FC 25							
<i>Itálie</i>		<i>Rakousko</i>			<i>Švédsko</i>				
G 25	UNI 5007-69	GG-250	ÖNORM M3191-83		0125-00	MNC 705 E-89			
Gh 190	UNI 5330	GG-25							
<i>Polsko</i>		<i>Maďarsko</i>			<i>Norsko</i>				
ZI 250	PN H-83101	Ov 25	MSZ 8260		–	–			
<i>Finsko</i>		<i>Švýcarsko</i>			<i>Španělsko</i>				
GRS 25	SFS H.1151	–	–		FG 25	UNE 36111-73			
					FG 26	UNE 36111			
<i>Belgie</i>		–			–				
FGG 25	NBN 830-01	–	–			–			
Poznámky									
1) volí dodavatel podle druhu tavicích pecí, surovin, materiálu forem a dalších výrobních podmínek									

PŘÍLOHA 1 Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení zkušebních vzorků: Z1 – 01; Z2 - 01
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná délka (mm): 93
Číslo WPS dokladu: DP-ZK-1-01	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Jméno svářeče:	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PB
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Druh svaru: Symetrický V
Přídavný materiál (Klasifikace a výrobní značka):	Max. délka housenky (mm): 25
OK 92.60 – EN ISO 1071/E C NiFe-1 3 –	Pohyb elektrody: Bez rozkyvu
Teplota předehřevu: 70 °C	Pokládání housenky: Mezera 3-5 mm
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Prokování: Bezprostředně po navaření každé
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	

<p>Tvar spoje:</p> 	<p>Postup svařování:</p> 
--	---

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1-12	PB	2,5	95	+	70

Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

Jméno, datum, podpis

Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení zkušebních vzorků: Z1 - 01; Z2 - 01
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Materiál zk. Vzorků: ČSN 42 2424
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Číslo WPS dokladu: DP-ZK-2-01	Svařovaná délka (mm): 93
Jméno svářeče:	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PA, PB
Přídavný materiál (Klasifikace a výrobní značka):	Druh svaru: Symetrický V
OK 92.60 – EN ISO 1071/E C NiFe-1 3 – D2,5/300	Max. délka housenky (mm): 25
Teplota předehřevu: 70 °C	Pohyb elektrody: Bez rozkvyvu
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Pokládání housenky: S překrytím
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	Prokování: Bezprostředně po navaření každé

Tvar spoje:	Postup svařování:

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1	PB	2,5	95	+	70
2-19	PA	2,5	95	+	70

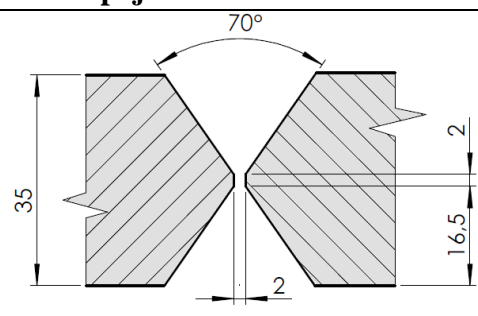
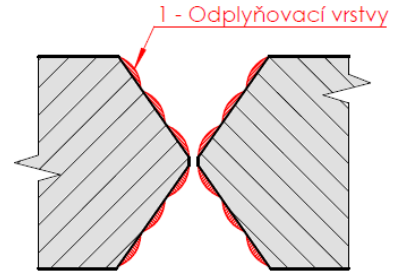
Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

JMÉNO, DATUM, PODPIS

Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení zkušebních vzorků: Z1 – 02; Z2 - 02
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná délka (mm): 93
Číslo WPS dokladu: DP-ZK-1-02	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Jméno svářeče:	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PB
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Druh svaru: Symetrický V
Přídavný materiál (Klasifikace a výrobní značka):	Max. délka housenky (mm): 25
OK 92.18 – EN ISO 1071/E C Ni-CI 3 – D2,5/300	Pohyb elektrody: Bez rozkvyvu
Teplota předehřevu: 70 °C	Pokládání housenky: Mezera 3-5 mm
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Prokování: Bezprostředně po navaření každé
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	

Tvar spoje: 	Postup svařování: 
--	---

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1-12	PB	2,5	95	+	70

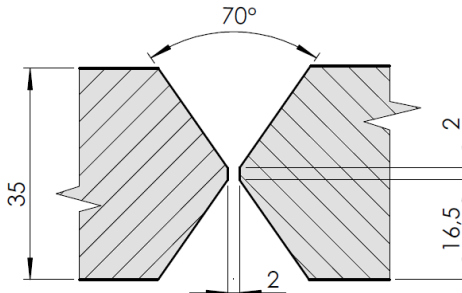
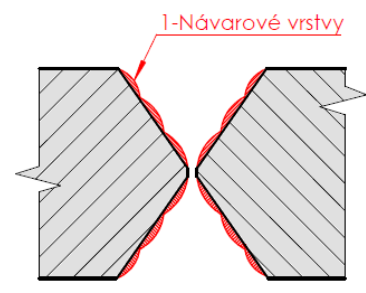
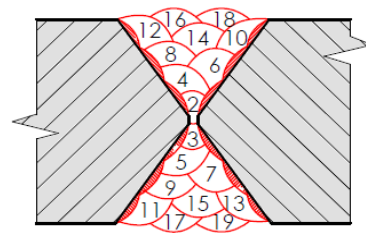
Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

JMÉNO, DATUM, PODPIS

Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení zkušebních vzorků: Z1 – 02; Z2 - 02
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Materiál zk. Vzorků: ČSN 42 2424
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Číslo WPS dokladu: DP-ZK-2-02	Svařovaná délka (mm): 93
Jméno svářeče:	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PA, PB
Přídavný materiál (Klasifikace a výrobní značka):	Druh svaru: Symetrický V
OK 92.18 – EN ISO 1071/E C Ni-CI 3 – D2,5/300	Max. délka housenky (mm): 25
Teplota předehřevu: 70 °C	Pohyb elektrody: Bez rozkvyvu
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Pokládání housenky: S překrytím
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	Prokování: Bezprostředně po navaření každé

<p>Tvar spoje:</p> 	<p>Postup svařování:</p> 
	

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1	PB	2,5	95	+	70
2-19	PA	2,5	95	+	70

Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

JMÉNO, DATUM, PODPIS

Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení zkušebních vzorků: Z1 – 03; Z2 - 03
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná délka (mm): 93
Číslo WPS dokladu: DP-ZK-1-03	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Jméno svářeče:	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PB
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Druh svaru: Symetrický V
Přídavný materiál (Klasifikace a výrobní značka):	Max. délka housenky (mm): 25
UPT 86 FN – EN ISO 1071/E C NiFe – D2,5/300	Pohyb elektrody: Bez rozkyvu
Teplota předehřevu: 70 °C	Pokládání housenky: Mezera 3-5 mm
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Prokování: Bezprostředně po navaření každé
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	

Tvar spoje:	Postup svařování:

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1-12	PB	2,5	90	-	70

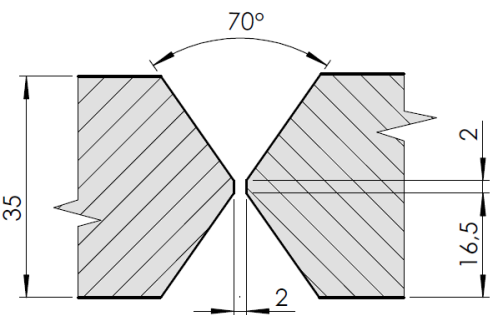
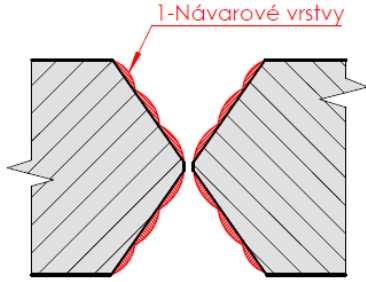
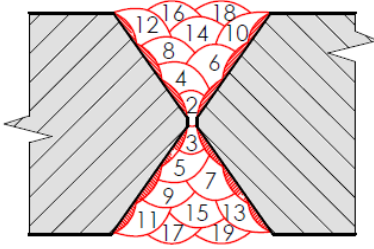
Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

JMÉNO, DATUM, PODPIS

Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení zkušebních vzorků: Z1 – 03; Z2 - 03
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Materiál zk. Vzorků: ČSN 42 2424
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Číslo WPS dokladu: DP-ZK-2-03	Svařovaná délka (mm): 93
Jméno svařeče:	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PA, PB
Přídavný materiál (Klasifikace a výrobní značka):	Druh svaru: Symetrický V
UPT 86 FN – EN ISO 1071/ E C NiFe – D2,5/300	Max. délka housenky (mm): 25
Teplota předehřevu: 70°C	Pohyb elektrody: Bez rozkyvu
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Pokládání housenky: S překrytím
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	Prokování: Bezprostředně po navaření každé

<p>Tvar spoje:</p> 	<p>Postup svařování:</p> 
	

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1	PB	2,5	90	-	70
2-19	PA	2,5	90	-	70

Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

JMÉNO, DATUM, PODPIS

Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení zkušebních vzorků: Z1 – 04; Z2 - 04
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná délka (mm): 93
Číslo WPS dokladu: DP-ZK-1-04	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Jméno svářeče:	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PB
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Druh svaru: Symetrický V
Přídavný materiál (Klasifikace a výrobní značka):	Max. délka housenky (mm): 25
UPT 86 FN – EN ISO 1071/E C NiFe – D2,5/300	Pohyb elektrody: Bez rozkyvu
Teplota předehřevu: 70 °C	Pokládání housenky: Mezera 3-5 mm
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Prokování: Bezprostředně po navaření každé
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	

Tvar spoje:	Postup svařování:

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1-12	PB	2,5	90	-	70

Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

JMÉNO, DATUM, PODPIS

Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení zkušebních vzorků: Z1 – 04; Z2 - 04
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Materiál zk. Vzorků: ČSN 42 2424
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Číslo WPS dokladu: DP-ZK-2-04	Svařovaná délka (mm): 93
Jméno svářeče:	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PA, PB
Přídavný materiál (Klasifikace a značka):	Druh svaru: Symetrický V
E-B – 121/ D2,5/300	Max. délka housenky (mm): 25
Teplota předehřevu: 70°C	Pohyb elektrody: Bez rozkyvu
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Pokládání housenky: S překrytím
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	Prokování: Bezprostředně po navaření každé

Tvar spoje:	Postup svařování:

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1	PB	2,5	90	-	70
2-19	PA	2,5	90	-	70

Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

JMÉNO, DATUM, PODPIS

Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení svařence:
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná délka (mm): 45
Číslo WPS dokladu: DP -1-01	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Jméno svářeče:	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PB
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Druh svaru: Symetrický V
Přídavný materiál (Klasifikace a výrobní značka):	Max. délka housenky (mm): 25
OK 92.60 – EN ISO 1071/E C NiFe-1 3 –	Pohyb elektrody: Bez rozkyvu
Teplota předehřevu: 70 °C	Pokládání housenky: Mezera 3-5 mm
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Prokování: Bezprostředně po navaření každé
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	

Tvar spoje:	Postup svařování:

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1-12	PB	2,5	95	+	70

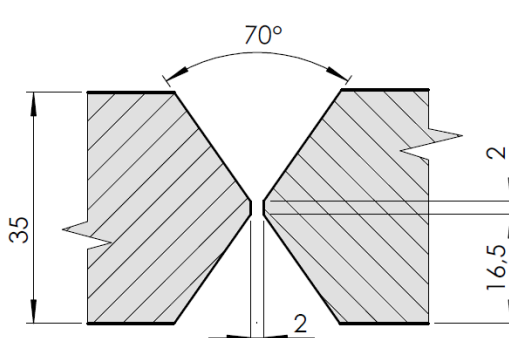
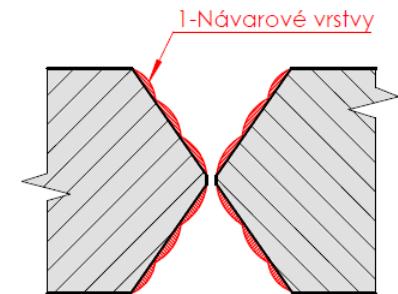
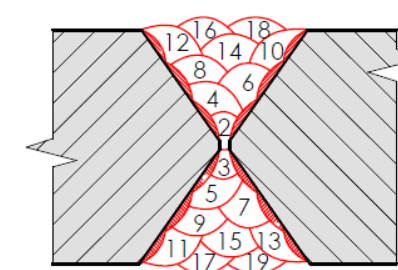
Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

JMÉNO, DATUM, PODPIS

Návrh předběžné specifikace postupu svařování „pWPS“ dle ČSN EN ISO 15609 - 1 (Obloukové svařování)

Výrobce: Bc. Lukáš Švarc	Označení svařence:
Místo: Šmeral Brno a.s., Křenová 65c	Materiál zk. Vzorků: ČSN 42 2424
Svařovací technologie výrobce:	Svařovaná tloušťka (mm): 35
Číslo WPS dokladu: DP -2-01	Svařovaná délka (mm): 45
Jméno svářeče:	Skupina zákl. materiálu dle CR ISO 15608: 71
Metoda svařování dle EN ISO 4063: 111	Poloha při svařování dle EN ISO 6947: PA, PB
Přídavný materiál (Klasifikace a výrobní značka):	Druh svaru: Symetrický V
OK 92.60 – EN ISO 1071/E C NiFe-1 3 –	Max. délka housenky (mm): 25
Teplota předehřevu: 70 °C	Pohyb elektrody: Bez rozkvyvu
Způsob přípravy úkosu: Drážkování, broušení	Pokládání housenky: S překrytím
Způsob čištění: Odmaštění, kartáčování	Prokování: Bezprostředně po navaření každé

Tvar spoje:	Postup svařování:
	
	

Parametry pro svařování:					
Vrstva	Poloha svařování	Ø přídavného materiálu [mm]	Svařovací proud [A]	Polarita elektrody	Teplota předehřevu [°C]
1	PB	2,5	95	+	70
2-19	PA	2,5	95	+	70

Výrobce:

Bc. Lukáš Švarc, 21.5.2018

JMÉNO, DATUM, PODPIS

REPAIR AND MAINTENANCE
CAST IRON ALLOYS



OK Ni-CI

OK Ni-CI is a nickel cored electrode for joining normal grades of cast iron, such as grey-, ductile- and malleable irons. It is also suitable for rectification and repair of these grades and for joining them to steel. Deposition is done on cold or slightly preheated cast iron. Weld metal is well machinable. Typical applications are repair of cast iron parts such as cracks in engine blocks, pump housings, gear boxes, frames as well as foundry defects.

Classifications:	SFA/AWS A5.15:ENI-CI, EN ISO 1071:E C Ni-CI 3
-------------------------	---

Typical Tensile Properties	
Condition	Tensile Strength
As welded	300 MPa (43.5 ksi)

Typical Weld Metal Analysis %						
C	Mn	Si	Ni	Al	Cu	Fe
1.0	0.2	0.3	93.5	0.1	0.3	4.5

Deposition Data						
Diameter	Current	Voltage	kg weld metal/ kg electrodes	Number of electrodes/ kg weld metal	Fusion time per electrode at 90% I max	Deposition rate 90% I max
2.5 x 300 mm (3/32 x 12 in.)	55-110 A	21 V	0.71	83	46 s	0.9 kg/h (2.0 lb/h)
3.2 x 350 mm (1/8 x 14 in.)	80-140 A	20 V	0.68	45	66 s	1.2 kg/h (2.6 lb/h)
4.0 x 350 mm (5/32 x 14 in.)	100-190 A	19 V	0.70	29	71 s	1.7 kg/h (3.7 lb/h)

REPAIR AND MAINTENANCE
CAST IRON ALLOYS



OK NiFe-CI

A nickel-iron electrode for welding normal grades of cast iron and for joining them to steel. Can be used for malleable nodular cast iron and alloy cast iron. It has a special iron jacketed Ni core wire, which gives the electrode much improved current carrying capacity compared to electrodes with a homogeneous core wire. The electrode produces a weld metal stronger and more resistant to solidification cracking than the pure nickel electrode types. Typical applications are repair of pump bodies, heavy machine sections, gear teeth, flanges and pulleys.

Classifications:	SFA/AWS A5.15:ENiFe-CI, EN ISO 1071:E C NiFe-1 3
-------------------------	--

Typical Tensile Properties

Condition	Yield Strength	Tensile Strength	Elongation
ISO			
As welded	380 MPa	560 MPa	>15 %

Typical Weld Metal Analysis %

C	Mn	Si	Ni	Al	Cu	Fe
0.9	0.6	0.5	53	0.4	0.9	44

Deposition Data

Diameter	Current	Voltage	kg weld metal/ kg electrodes	Number of electrodes/ kg weld metal	Fusion time per electrode at 90% I max	Deposition rate 90% I max
2.5 x 300 mm (3/32 x 12 in.)	60-100 A	22 V	0.70	85.0	45 s	0.80 kg/h (1.8 lb/h)
3.2 x 350 mm (1/8 x 14 in.)	80-150 A	23 V	0.70	44.0	56 s	1.20 kg/h (2.6 lb/h)
4.0 x 350 mm (5/32 x 14 in.)	100-200 A	23 V	0.70	30.0	59 s	1.60 kg/h (3.5 lb/h)



UTP 86 FN

graphite-basic coated FeNi stick electrode

Classifications			
EN ISO 1071		AWS A5.15	
E C NiFe-13		E NiFe-CI	
Characteristics and field of use			
<p>UTP 86 FN is suitable for joining and surfacing of lamellar grey cast iron EN GJL 100 - EN GJL 400, nodular cast iron (spheroidal cast iron) EN GJS 400 - EN GJS 700 and malleable cast iron grades EN GJMB 350 - EN GJMB 650 as well as for joining these materials with each other or with steel and cast steel. Universally applicable for repair, construction and production welding.</p> <p>UTP 86 FN has excellent buttering characteristics on cast iron. The stick electrode has a stable arc and produces a flat seam structure without undercutting. Particularly for fillet welds an optimal seam structure is achieved (e.g. welding GJS-flanges or sockets to GJS-tubes). Due to the bimetallic core wire, the current carrying capacity and the deposition rate are excellent. The bead appearance is smooth. The weld deposit is highly crack resistant and easily machinable with cutting tools.</p>			
Typical analysis in %			
C	Ni	Fe	
1,2	balance	45,0	
Mechanical properties of the weld metal			
Yield strength $R_{p0,2}$		Hardness	
MPa		HB	
approx. 340		approx. 220	
Welding instruction			
<p>UTP 86 FN is preferably welded on DC (negative polarity) or on AC. When welding on DC (neg. polarity), a deep penetration is reached (advantage for fillet welds). Positional weldings are easier with AC. Prior to welding, remove the casting skin. Hold stick electrode vertically and with short arc. When welding cracksusceptible cast iron grades, the deposit may be peened for the purpose of stress relief.</p>			
Welding positions			
		Current type DC (-) / AC	
Approvals			
DB (No. 62.138.05)			
Recommended welding parameters			
Electrodes $\varnothing \times L$ [mm]	2,5 x 300	3,2 x 350	4,0 x 350
Amperage [A]	60 – 90	90 – 140	100 – 170


E-B 121
SFA/AWS A 5.1: E 7018
EN ISO 2560-A: E 38 3 B 42**Použití:**

Elektroda s univerzálním použitím pro svařování značně namáhaných součástí potrubí energetických zařízení, dopravních prostředků, tlakových nádob, lodních i stavebních konstrukcí z oceli pevnosti cca 480 MPa, např. P235/S235 až P420/S420 aj. Vhodná pro všechny polohy svařování kromě svislé shora dolů.

Klasifikace/certifikace:

CE	EN 13479	GL	3
DB	10.157.03	LR	3
ABS	3	TUV	06021
BV	3		

Typické chemické složení čistého svarového kovu:

C	Si	Mn
0,05	0,40	0,80

Obal:

bazický

Teplota přesušení:

100°C/1h + 300-350°C/2h

Svařovací proud:**Polohy svařování:****B****Typické mechanické hodnoty čistého svarového kovu:**

Podmínky	Stav	Tepl. zk. °C	R _m MPa	R _{eL} (R _{p0,2}) MPa	A ₅ / (A ₄) %	KV (J)/°C		
						+20	-20	-30
ISO	TZ 0	+20	500	420	28	-	150	100
ISO	TZ 0	+425		(300)				
AWS	TZ 0	+20	>490	>400	(>22)	-	-	>27

TZ 0 - stav po svařování

Výkonové parametry:

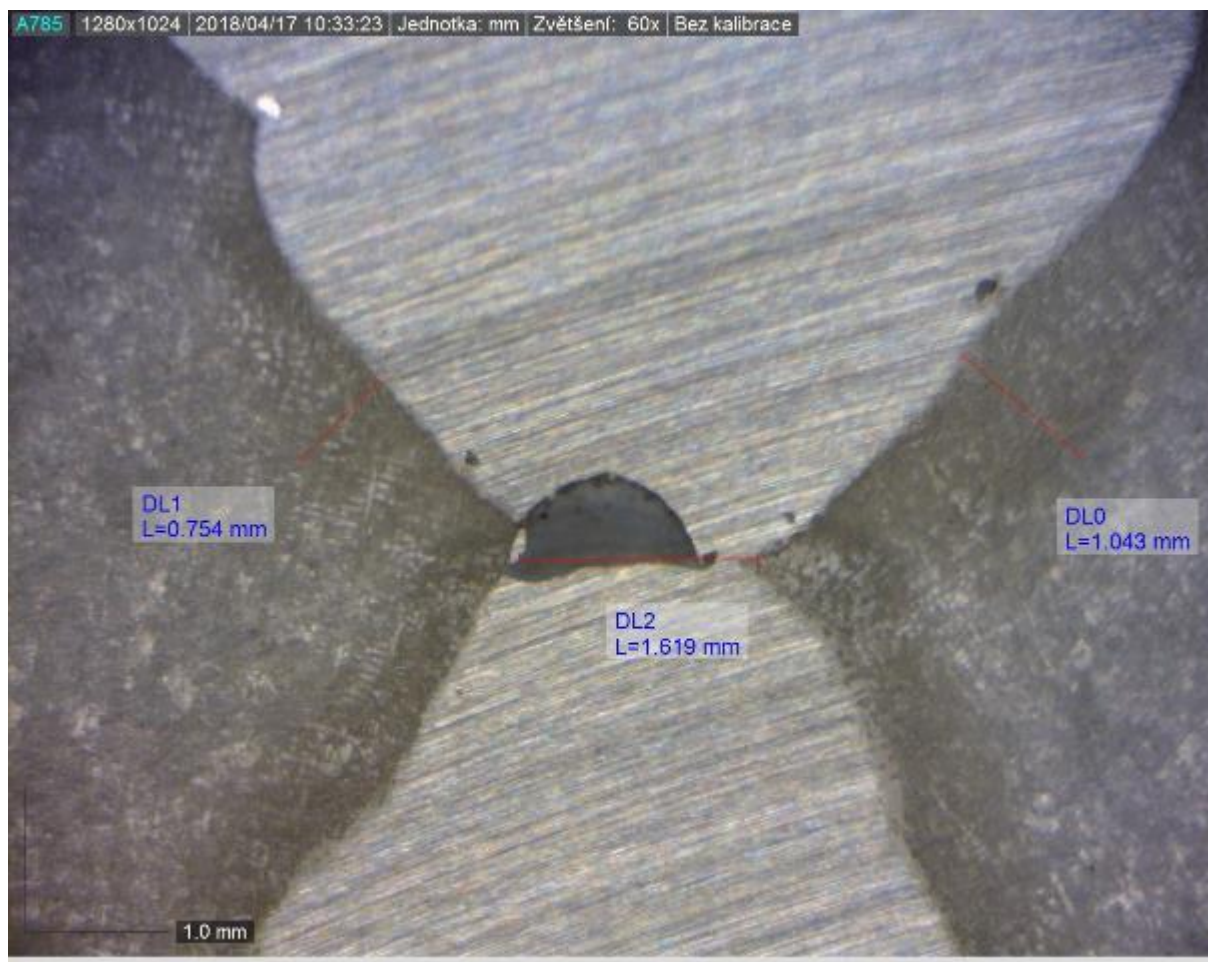
Průměr (mm)	Délka (mm)	Proud (A)	Napětí (V)	Výtěžnost (%)	Doba hoření (s)	Podíl sv. kovu (%)	(ks/kg sv. kovu)	Výkon navář. (kg/h)
2,0	300	60 - 80	24	121	50	0,60	132	0,55
2,5	350	80 - 100	24	115	62	0,63	73	0,80
3,2	350	110 - 140	23	108	59	0,64	50	1,23
3,2	450	110 - 140	23	111	73	0,68	37	1,34
4,0	450	140 - 170	22	109	101	0,68	23	1,52
5,0	450	190 - 230	21	111	98	0,71	15	2,46

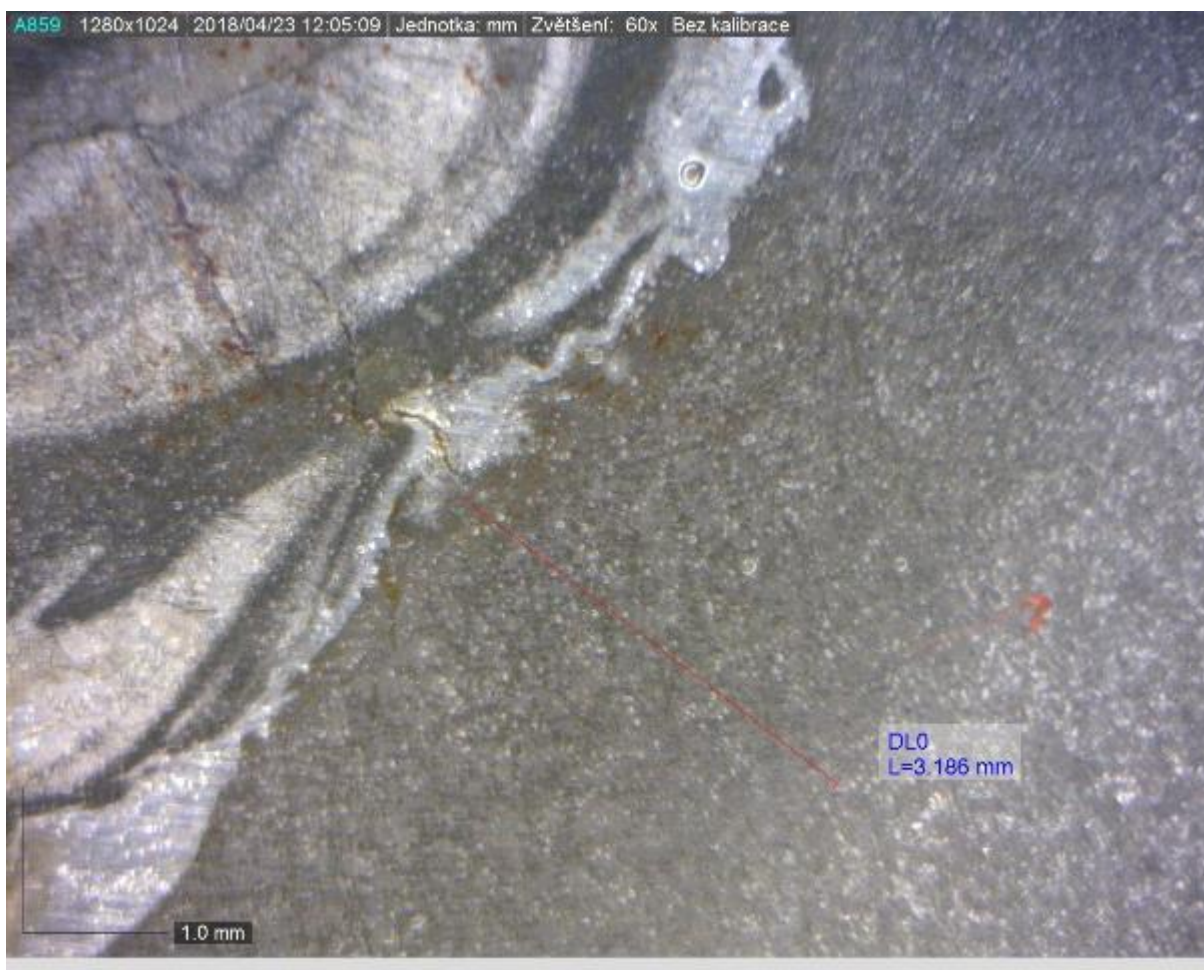
Balení:

Průměr (mm)	Délka (mm)	Balení	Hmotnost balení (kg)	ks v balení	Hmotnost 1000 ks (kg)	Krabiček v kartonu (ks)	Hmotnost kartonu (kg)
2,0	300	krabička	3,5	278	12,6	3	10,5
2,5	350	krabička	4,2	194	21,6	3	12,6
3,2	350	krabička	5,0	162	30,9	3	15,0
3,2	450	krabička	6,5	162	40,1	3	19,5
4,0	450	krabička	6,2	100	62,0	3	18,6
5,0	450	krabička	6,5	70	92,9	3	19,5



Na obrázku přílohy 19 lze vidět první svarovou housenku při spojení obou kusů vzorku. Je zřetelně vidět nepravidelné ulpění svarového kovu vlivem nestálého el. oblouku. V podstatě docházelo při vedení elektrody k chytání el. oblouku buď k jedné, nebo druhé ploše.







Zvětšeno 400x



Zvětšeno 200x



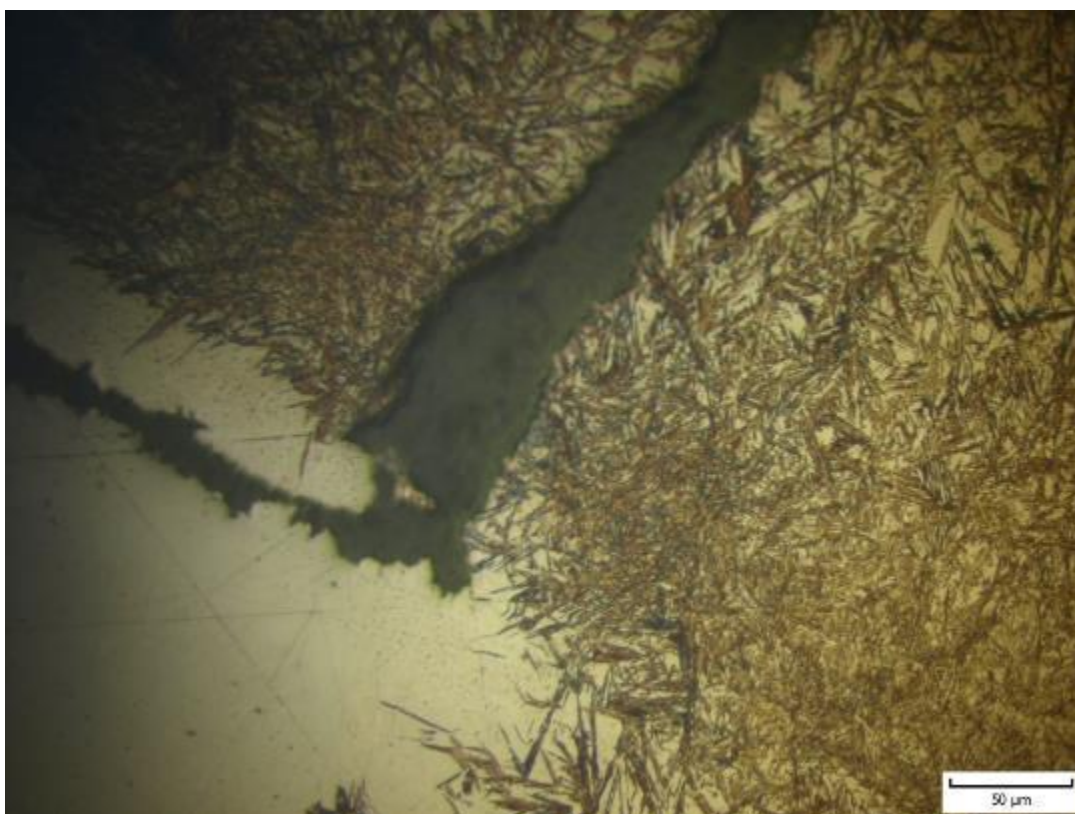
Zvětšeno 400x



Zvětšeno 200x



Struktura přechodové oblasti svarového kovu. Zvětšeno 400x



Mikrostruktura výplňové oblasti svarového kovu. Zvětšeno 400x

PŘÍLOHA 25

Technologický postup opravy

1/4

L:1 21/05/18

1	041	002HA3		BERAN					309	
			0		0	0	0	0	309	
			490	1						
		LAPCIK						V		
002	309	00000			7	4	1.00	1		
					010 DEN PRED ZAHAJENIM OPRAVY NA BERANU 020 INFORMOVAT KONSTRUKCI P. SVARCE NA 030 MT: +420 721 279 511 - NUTNA PRITOMNOST 040 V PRUBEHU CELE OPRAVY !!! ***!-----!-----.--!-!-!-!-!-!-!*****					
005	309	95210			120.00	6	7	2	1.00 1	
					010 ODSTRANIT NATER V OKOLI TRHLINY 015 OBROUSIT PLOCHY, OCISTIT, ODMASTIT 020 **OZNACENI TRHLINY VIZ.PRILOZENE FOTO** 030 VE SPOLUPRACI S KONTROLOU OZNACIT 040 KONEC TRHLINY PRO OP.C.007 ***!-----!-----.--!-!-!-!-!-!-!*****					
007	308	46620			7	2	1.00	1		
					010 NA OZNACENEM KONCI TRHLINY VRTAT OTV. 020 PR.8MM PRES CELOU TL.STENY ***!-----!-----.--!-!-!-!-!-!-!*****					
010	301	94220			9	240.00	5	7	2	1.00 1
					010 OZNACENOU TRHLINU VYDRAZKOVAT NA HRUBO 020 TJ.CCA DO 30MM OD ZACATKU TRHLINY 030 VSECHNY PLOCHY VYBROUSIT AZ DO VYVRT. 040 OTVORU,VZNIKLE HRANY ZAOBLIT. 050 PLOCHY PRO SVAR PREDEHRAT NA MAX.150ST.C 060 A SPALIT VZLINAJICI MASTNOTU. 070 PO VYCHLADNUTI SVAROVE PLOCHY OCISTIT, 080 A ODMASTIT ACETONEM. ***!-----!-----.--!-!-!-!-!-!-!*****					
015	018	98630			7	4	1.00	1		
					010 PROVEDENI PT ZKOUSKY PO VYDRAZKOVANI 015 TRHLINY DLE ISO 3452-1 020 VYSLEDEK ZAZNAMENAT 030 (VADA MUSI BYT ODSTRANENA DO CISTEHO 040 PODKLADU. NESMI SE OBJEVIT ZADNA DALSI 050 LINEARNI INDIKACE !!!) 080 - UVOLNIT PRO SVAROVANI ***!-----!-----.--!-!-!-!-!-!-!*****					
020	301	28520			8	480.00	6	7	2	1.00 1
					005 PRED ZACATKEM SVAROVANI VOLAT P. SVARCE 010 PRIPRAVENOU TRHLINU V LITINOVEM BERANU 020 ZAVARIT S PREDEHREVEM 70 ST.C 040 PRIVARIT NABEHOVE A VYBEHOVE PLECHY 050 . 060 SVAROVANI PROVEST DLE PWPS C.DP-OP-01 070 NAVARENOU I.VRSTVU PREBROUSIT DO ROVINY					



Dokončená vnitřní strana svaru.



Vybroušení kořenu svaru po dokončení vnitřní strany.



Pohled z vnější strany beranu. Předposlední vrstva na vnější straně svarového spoje.



Dokončená oprava prasklého beranu. Pohled na výsledek defektoskopické zkoušky.