



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVARY PROTI OPOTŘEBENÍ WEAR RESISTENCE OF CLADDING

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

BC. ALEŠ PAGÁČ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2014

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2013/2014

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Aleš Pagáč

který/která studuje v **magisterském navazujícím studijním programu**

obor: **Strojírenská technologie (2303T002)**

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:

Návary proti opotřebení

v anglickém jazyce:

Wear resistance of cladding

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Význam dlouhodobé funkční spolehlivosti strojních součástí souvisí s odolností povrchu proti opotřebení. Diplomní práce je zaměřená na využití otěruvzdorných návarů v prvovýrobě i renovacích.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor druhů opotřebení
2. Návrh experimentální práce
3. Rozbor přídavných materiálů pro návary, výběr pro experiment
4. Výběr metody navařování, stanovení podmínek
5. Provedení a vyhodnocení experimentu
6. Technické hodnocení

Seznam odborné literatury:

1. DVOŘÁK, M. a kol. Technologie II, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7
2. PILOUS, V. Materiály a jejich chování při svařování, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
3. BARTÁK, J. Výroba a aplikované inženýrství, 1vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009
4. KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3
5. KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395s. ISBN 80-85771-81-0
6. KOLEKTIV AUTORŮ. Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení, 1vyd. Zeross, Ostrava 1999, 249s. ISBN 80-85771-70-5
7. KOLEKTIV AUTORŮ. Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, 1vyd. Zeross, Ostrava 2000, 214s. ISBN 80-85771-72-1

Vedoucí diplomové práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2013/2014.

V Brně, dne 21.11.2013

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc., dr. h. c.
Děkan fakulty

ABSTRAKT

PAGÁČ Aleš: Návary proti opotřebení

Předmětem této diplomové práce bylo studium opotřebitelných návarů, včetně vhodných základních i přídavných materiálů a technologií navařování vhodných ke konkrétní aplikaci návaru tvrdokovu na lopatky mísiče slévárenského písku. Rozbor vhodných přídavných materiálů byl zaměřen na extrémní abrazi a volbu wolfram-karbidových návarů, společně s výběrem vhodné metody pro navařování wolfram-karbidů, včetně stanovení podmínek a parametrů navařování. Praktická část se zabývala provedením a vyhodnocením experimentu navaření třech vzorků z nelegované konstrukční oceli tvrdonávarem wolfram-karbidu, technologií MCAW - plněnou elektrodou WC práškem v ochranné atmosféře aktivního plynu.

Klíčová slova: wolfram-karbid, MCAW, abraze, tvrdost

ABSTRACT

PAGÁČ Aleš: Wear resistance of cladding

The subject of this Diploma thesis was study of wear resistant deposits, including appropriate basic and filler materials and welding technologies suitable for a particular application of hard carbide overlays of blade mixer for foundry sand. Analysis of suitable filler materials focused on extreme abrasion and select tungsten carbide hardfacing, together with a selection of appropriate overlays welding methods for welding tungsten carbide, including the conditions and parameters surfacing. The practical part deals with the design and evaluation of the experiment, three samples welding of non-alloy structural steel, tungsten-carbide hardfacing, technology MCAW - WC flux cored electrode in protective active gas.

Keywords: Tungsten carbide, MCAW, Abrasion, Hardness

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

PAGÁČ, A. *Návary proti opotřebení*. Brno, 60s, 5 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav 2014. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

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 Brně dne 30.5.2014

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Petru Hermanovi, jakožto zástupci firmy Wirpo s.r.o., která umožnila potřebné experimenty a poskytla potřebné podklady ke zpracování této diplomové práce, a také za poskytnutí potřebných rad, informací a bezproblémovou komunikaci při řešení této diplomové práce.

Děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi za cenné připomínky a rady týkající se zpracování diplomové práce.

ZADÁNÍ
ABSTRAKT
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ
PODĚKOVÁNÍ
OBSAH

ÚVOD	11
1 ROZBOR DRUHŮ OPOTŘEBENÍ	12
1.1 Abrazivní opotřebení	12
1.1.1 Abrazivní opotřebení z hlediska struktury materiálu	13
1.2 Adhezivní opotřebení	14
1.3 Erozivní opotřebení	16
1.4 Kavitační opotřebení	17
1.5 Únavové opotřebení	19
1.6 Vibrační opotřebení	19
1.7 Opotřebení za vysokých teplot	20
1.8 Koroze	21
2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE	22
2.1 Popis lopatek mísiče a prostředí	22
2.1.1 Popis lopatek mísiče - parametry mísiče	22
2.1.2 Popis prostředí v mísiči	23
2.2 Volba základního materiálu lopatek mísiče	23
2.2.1 Materiál S355JR	23
2.2.2 Materiál CREUSABRO 4800	23
2.2.3 Materiál X120Mn12	24
2.2.4 Vyhodnocené volby základního materiálu pro lopatky mísiče	24
2.3 Návrh destruktivních mechanických zkoušek	24
2.3.1 Makroskopická a mikroskopická kontrola svarových spojů	24
2.3.3 Zkouška tvrdosti podle Vickerse	25
2.3.4 Prvková analýza EDS	25
3 ROZBOR PŘÍDAVNÝCH MATERIÁLŮ PRO NÁVARY, VÝBĚR PRO EXPERIMENT	26
3.1 Svařitelnost	26
3.2 Vliv chemického složení ocelí na jejich svařitelnost	26
3.3 Uhlíkový ekvivalent	28
3.4 Rozdělení a popis WC	28
3.5 Výsledné vlastnosti návarů	30
3.6 Volba přídatného materiálu pro návar	30
3.6.1 Trubičkový drát F-Durit G	30
3.6.2 Trubičkový drát F EH Cr 61	30
3.6.3 Trubičkový drát MF A 760 M	31
3.6.4 Trubičkový drát MF A 867	31
3.6.5 Vyhodnocení volby přídatného materiálu pro návar	32
4 VÝBĚR METODY NAVAŘOVÁNÍ, STANOVENÍ PODMÍNEK	33
4.1 Navařování obalenou elektrodou - 111	33
4.2 Navařování ručně plamenem - 311	33
4.3 Navařování automatem pod tavidlem - 12	34
4.3.1 Navařování plným drátem - 121 a plněnou elektrodou - 125	34
4.3.2 Navařování páskou - 122 a plněnou páskou - 126	34

4.4 Navařování v ochranných atmosférách aktivních plynů – MAG 135	35
4.4.1 Obloukové svařování plněnou elektrodou metodou - 138 (FCAW)	35
4.4.2 Obloukové svařování plněnou elektrodou s vlastní ochranou - 136 (MOG)	36
4.4.3 Vyhodnocení volby metody navařování.....	38
4.5 Stanovení podmínek navařování WC	38
4.5.1 Promíšení základního materiálu s přídavným materiálem	38
4.5.2 Svařovací parametry	40
4.5.3 Předehřev	42
4.5.4 Interpas, dohřev, chladnutí v zábalu.....	43
4.5.5 Závěrečné stanovení podmínek pro zvolenou technologii navařování	43
5 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	45
5.1 Navaření vzorků.....	46
5.2 Odběr vzorků z mísiče	48
5.3 Vyhodnocení tvrdosti.....	48
5.4 Vyhodnocení chemického složení (EDS analýza).....	50
5.5 Příprava vzorků pro metalografii.....	55
5.7 Vyhodnocení makrostruktury	56
5.7 Vyhodnocení mikrostruktury	57
6 TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ	59
ZÁVĚR.....	60

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

SEZNAM PŘÍLOH

ÚVOD

Předmětem této diplomové práce je studium opotřebitelných návarů, včetně vhodných základních i přídatných materiálů a technologií navařování vhodných ke konkrétní aplikaci návaru tvrdokovu na lopatky mísiče slévárenského písku. Jako možnost renovace opotřebovaných originálních mísičů, hlavně z důvodu možných finančních úspor a vhodnějších termínů dodání náhradních dílů. Originální mísiče od zahraničních dodavatelů s napájecími WC destičkami na hranách lopatek, jsou jednak značně finančně dražší a termíny dodání (výroby) daných typů a rozměrů jsou na zakázku, tudíž v případě potřeby rychlé výměny, v případě odstávek a servisu mísičů ve slévárnách, je nedostupné. Obecně se zpravidla ve všech případech potřeby renovací hledá nejschůdnější způsob, jak pokud možno místo originálního dílu starý díl buď zrenovovat, nebo přímo vyrobit nový. Podle tloušťky renovované nebo nové vrstvy buď navařením, nebo nástřikem.

Literární studie pojednává o jednotlivých druzích opotřebení a o návrzích experimentální práce, včetně popisu lopatkových mísičů slévárenských písků a prostředí, ve kterých pracují. Studuje vhodné základní materiály na výrobu lopatek mísičů a návrh destruktivních mechanických zkoušek. Rozbor vhodných přídatných materiálů se zaměřením na extrémní abrazi, tudíž volby wolfram-karbidových návarů. Společně s výběrem vhodné metody navařování wolfram-karbidů, včetně stanovení podmínek a parametrů navařování.

Praktická část se zabývá provedením a vyhodnocením experimentu navaření třech vzorků z nelegované konstrukční oceli tvrdonávarem wolfram-karbidu, technologií MCAW - plněnou elektrodou WC práškem v ochranné atmosféře aktivního plynu.

V experimentu byly zhotoveny wolfram - karbidové návary s i bez předehřevu, včetně špatných i správných podmínek (parametrů) navařování. Špatnými podmínkami navařování je myšleno nedodržení zákazu rozkyvu při svařování a vyšší proud při svařování, tudíž větší vnesené teplo. Z provedených návarů byly nařezány vzorky, u kterých bylo hodnoceno chemické složení, makrostruktura a mikrostruktura, včetně tvrdosti. Dále byl zkoumán vliv tohoto "nedodržení parametrů" na nežádoucí struktury v návaru, TOO a základním materiálu, včetně vlivu na svařitelnost a opotřebení.

Cílem této diplomové práce bylo, jak v teoretické oblasti zmapování návarů wolfram-karbidu a jejich vhodnosti aplikací, tak v oblasti praktické a to zajištění finančně vhodnější a časově dostupnější varianty renovovaných lopatek mísičů slévárenských písků.

1 ROZBOR DRUHŮ OPOTŘEBENÍ [38], [44], [47]

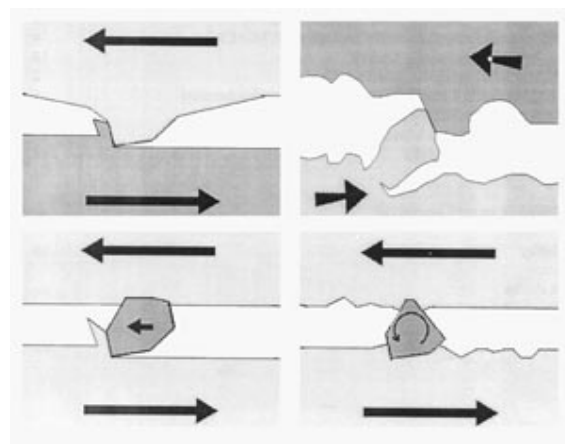
Opotřebení je charakterizováno jako nežádoucí změna povrchu nebo rozměrů tuhých těles, která je způsobená buď vzájemným působením funkčních povrchů, nebo funkčního povrchu a media. Projevuje se odstraňováním nebo přemísťováním částic hmoty z funkčního povrchu mechanickými účinky. Případně doprovázenými i jinými vlivy (např. fyzikálními, chemickými, elektrickými).

Rozlišujeme velké množství způsobů opotřebení, které působí osaměle nebo v různých kombinacích. Často také působí další degradační procesy, které mohou pozměnit dominantní mechanismy opotřebení. Podle vnějšího projevu a podmínek vzniku opotřebení jej můžeme rozdělit na šest základních druhů: abrazivní, adhezivní, erozivní, kavitační, únavové a vibrační.

Při výběru vhodného materiálu se musí zvážit celá řada faktorů, v první řadě to jsou hlediska výrobně-technologická a provozně-ekonomická. Materiál s vhodnými vlastnostmi použitý pro konkrétní součást musí zajistit dostatečnou životnost a pevnost. Z daných materiálů se zpravidla volí ten, který umožňuje při dlouhodobém provozu docílit nejnižších provozních nákladů a nejmenší pracnost při údržbě a renovaci.

1.1 Abrazivní opotřebení [21], [38], [44], [47]

Je jedním z intenzivních degradačních procesů opotřebení materiálu účinkem tvrdých, převážně minerálních částic. Vzniká při vzájemném silovém působení tvrdých částic a funkčního povrchu součástí. Během tohoto působení dochází k oddělování a přemísťování částeczek materiálů. Tvrdé částice se mohou pohybovat volně nebo určitým způsobem vázaně. Druhým příkladem abrazivního opotřebení je vyvolání přítomnosti tvrdých částic mezi dvěma funkčními povrchy, které jsou v relativním pohybu. V procesu adhezivního opotřebení mohou též vznikat tvrdé částice otěru, které působí na jeden nebo oba kluzné povrchy abrazivně.



Obr. 1 Mechanismy abrazivního opotřebení [21]

Rozlišujeme dva případy abrazivního opotřebení. V prvním případě k plastické deformaci spojené s rýhováním materiálu povrchu dochází, když se vytvoří nárustek před abrazivní částicí, následkem toho je materiál vytlačěn do boků a vytváří kolem rýhy. V druhém případě je vznik rýh spojen s odstraňováním materiálu z povrchu mikrořezáním. V extrémním případě může dojít k odstranění celého objemu materiálu rýhy, bez tvorby valů po stranách rýhy, ve formě třísky.

Křehký lom často, i když nastává plastická deformace při abrazivním opotřebení houževnatých materiálů, určuje rychlost opotřebení. Porušování křehkým lomem při abrazivním opotřebení může nastat i u houževnatých materiálů, kde se pravděpodobně vyskytne těsně za abrazivní částicí, kde působí tahové napětí. Spíše než plastickou deformací dochází u křehkých materiálů k odstraňování materiálu křehkým lomem. Vlastnosti jednotlivých fází a jejich objemový podíl rozhodují o převládajícím mechanismu odstraňování materiálu.

U ocelí a slitin závisí odolnost proti abrazivnímu opotřebení na pevnosti základní kovové hmoty a na obsahu karbidů tj. na obsahu uhlíku a dalších prvků, které ovlivňují pevnost základní hmoty a tvorbu tvrdých strukturních složek.

V případech malé intenzity abrazivního opotřebení lze zvýšit životnost použitím ocelí s vyšší pevností nebo přechodem na materiál s vyšší odolností proti abrazivnímu opotřebení. Nedochází k dostatečnému zpevnění povrchové vrstvy vlivem nízkého silového účinku abrazivních částic. Naprosto nevhodné je v tomto případě použití austenitických manganových ocelí, které v podmínkách kluzné abraze nemají dostatečnou odolnost.

V případě střední intenzity abrazivního opotřebení dochází vlivem silového působení, mezi abrazivem a funkčními plochami součástí, k výraznému zpevňování povrchové vrstvy materiálu. V tomto případě je vhodné použít vysoko pevnostních ocelí nebo použití heterogenních materiálů s vysokou pevností základní vrstvy a tvrdými karbidy.

V případě velmi intenzivních abrazivních opotřebení se nejčastěji používá velmi houževnatá manganová austenitická ocel a její modifikace. Vlivem strukturních změn tato ocel při velkém silovém zatížení zpevňuje do hloubky až několika mm a dobře odolává vůči opotřebovávanému materiálu. V některých případech se používají nástrojové oceli zušlechťené na vysokou tvrdost, případně se na základní materiál, o dostatečné pevnosti a houževnatosti, přidávají vložky ze slinutých karbidů.

Pokud v provozu nedochází k výrazným změnám, používají se často tvrdé návary nebo nástřiky na houževnatém a pevném základu. V případech malého opotřebení je efektivní použít chemicko-tepelné zpracování. Vzhledem ke křehkosti těchto povrchových vrstev je nevhodné používat v případech abrazivního opotřebení kombinovaného s rázovým namáháním.



Obr. 2 Abrazivní opotřebení pístu [35]

1.1.1 Abrazivní opotřebení z hlediska struktury materiálu

Při podmínkách abrazivního opotřebení za současného působení vysokých tlaků a rázů, se považuje za nejvhodnější austeniticko-karbidická struktura. Naproti tomu martenziticko-karbidická struktura je vhodnější pro podmínky nízkých tlaků. Je potřeba rozlišit dvě stadia abrazivního opotřebení, a to proces vtlačování abrazivních částic do povrchu, kde limitujícím faktorem je vnikací tvrdost a proces porušování materiálu, kde mají rozhodující vliv meziatomové vazby a pevnost mezi strukturními složkami na hranicích zrn.

Tvorbu rýh předchází značná plastická deformace kovu. Na dně rýhy se tvoří příčné trhlinky, které mohou sloužit jako zárodky porušení materiálu během dalších pracovních cyklů. V takovýchto podmínkách má ocel s feriticko-perlitickou strukturou nízkou odolnost proti abrazivnímu opotřebení, protože se lehce poruší strukturní složky.

Růst odolnosti proti abrazivnímu opotřebení je úměrný růstu tvrdosti. S přítomností martenzitu ve struktuře oceli, se zvyšuje odolnost proti opotřebení v porovnání s feriticko-perlitickou strukturou. Přísada karbidů chrómu ve feritu, bez ohledu na značné zvýšení tvrdosti, zvyšuje odolnost proti opotřebení jen velmi mírně. Příznivé vlastností karbidů na odolnost proti opotřebení se v daném případě neprojevuje, protože ji potlačí přítomnost feritu.

Ani martenziticko-karbidická struktura s vysokou tvrdostí nezabezpečuje maximální odolnost proti opotřebení, protože nedostatečně odolává rozrušení v druhé fázi při relativním pohybu abraziva po povrchu součástky. Charakter stop, které abrazivní zrna zanechávají na materiálu s martenziticko-karbidickou strukturou ukázal, že abrazivo lehce seřezává martenzitický základ i karbidy. I čistá martenzitická struktura při menší tvrdosti v porovnání s martenziticko-karbidickou strukturou je odolnější proti abrazivnímu opotřebení.

Nejvyšší odolnost proti abrazivnímu opotřebení se získává při austeniticko-karbidické struktuře. Spojení těchto dvou strukturních složek nejvýhodněji ovlivňuje schopnost odolávat abrazivnímu opotřebení. Parametry mřížek austenitu a karbidů jsou si bližší než parametry mřížek martenzitu a karbidů. Podobně je i vyšší pevnost hranic austenit-karbid, proto abrazivní zrna nemůže tak lehce vyloupnout karbid z matrice.

V této souvislosti je velmi důležité, jakým způsobem se dosáhne zpevnění, které zvýší odolnost proti opotřebení. Zpevnění oceli je podmíněné disperzitou fázových složek, zjemnění zrn, pevností, koherentních deformací v přesycených tuhých roztocích i deformací mřížky při legování, způsobuje výrazný růst odolnosti proti abrazivnímu opotřebení.

Nejméně odolnou fází proti opotřebení slitin železa je ferit. Nejmenší odolnost proti opotřebení mají slitiny oceli, jejichž struktura obsahuje cementit. Zvýšený obsah legujících prvků ve feritu a nezměněný obsah karbidů způsobuje nepatrný růst odolnosti proti opotřebení. Nezávisle na charakteru působení legujících prvků na vlastnosti feritu, zvyšování jejich obsahu v tuhém roztoku nezvyšuje odolnost feritu proti opotřebení. Odolnost proti opotřebení se zvyšuje tehdy, pokud obsah karbidotvorných prvků je na hranici zabezpečující tvorbu speciálních karbidů nebo když vzniká přechod na vyšší typ karbidu.

Na mineralografických vlastnostech abraziva závisí i abrazivní otěr. Významnou roli má také tvrdost a tvar jednotlivých zrn.

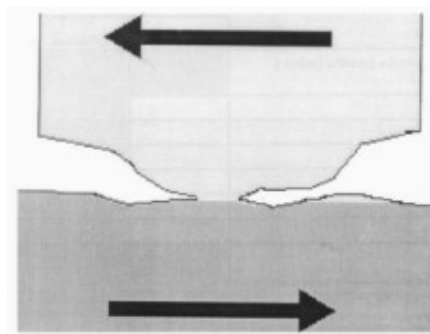
Aby mohlo nastat rýhování kovu abrazivním zrnem, je potřeba, aby se zrna abraziva zatlačila do povrchu, a aby se v průběhu rýhování, kdy se odebírá tříska při vzrůstajícím odporu zpevňujícího materiálu, nerozdrobila. Schopnost abrazivního zrna vnikat do materiálu nezávisí jen na tvrdosti, ale i na geometrickém tvaru zrna. Hranaté částice měkkého materiálu mohou způsobit větší opotřebení než zaoblené částice tvrdého materiálu. Vliv ostroty hran se snižuje při zvyšování odolnosti zkoušeného materiálu proti opotřebení. Velmi důležitý je i vliv velikosti abrazivních částic.

Významným faktorem, který ovlivňuje odolnost proti abrazivnímu opotřebení materiálu zpevněných karbidy je poměr šířky tvořící se rýhy ku velikosti karbidů.

Jednou z nejdůležitějších charakteristik procesu opotřebení jsou počáteční podmínky, při kterých opotřebení nastalo. Nejdůležitější jsou především abraziva, jeho způsob vazby, specifický tlak na opotřebovávaný povrch, relativní rychlost pohybu, délka dráhy, vlhkost a chemická agresivita prostředí.

1.2 Adhezivní opotřebení [4], [38], [48]

Silné adhezivní síly, které se vytvoří mezi kontaktními plochami materiálů, způsobují adhezivní opotřebení. Styčné povrchy nejsou hladké, následkem toho dochází ke kontaktům v místě styku nerovností a vzniku elastické a plastické deformace. V první fázi dochází k elastické deformaci. Překročí-li v místě dotyku tlakové napětí mez kluzu, dojde postupně k plastické deformaci povrchových vrstev materiálu s nižšími mechanickými vlastnostmi. Během toho může nastat porušení povrchové vrstvy, následkem toho se v místech



Obr. 3 Mechanismus adhezivního opotřebení [21]

dotyku nerovností začnou vytvářet mikrospoje. Při relativní pohybu obou povrchů jsou mikrospoje porušovány vlivem působení tangenciální nebo normálových sil, buď na původní ploše dotyku, nebo pod povrchem jednoho z kontaktních materiálů, zpravidla toho měkčího. Povrchové vrstvy materiálu se následkem plastické deformace značně zpevní. Dochází k velkému nárůstu teploty v místě styku materiálu s nerovnostmi během porušování mikrospojů. To má za následek zvýšení difúze, při které dochází k přenosu měkčího materiálu na povrch tvrdšího kovu. Na povrchu tvrdšího členu třecí dvojice, vytváří postupně přenesený materiál tenký, zpravidla nespojitý povlak zpevněného materiálu. Porušení oxidických nebo chemických reakcí vzniklých povrchových vrstev, jsou pro přenos materiálu důležitým předpokladem. Pokud se nevytvoří částice otěru, může být adhezivní otěr poměrně mírný. Pokud dojde k intenzivnímu přenosu materiálu, může docházet k výraznému poškození a tvorbě částic otěru.

Rozlišuje pět různých typů porušování ve styku nerovností dotykových povrchů, které se liší stupněm deformace v jeho okolí.

Při elastické deformaci v oblasti styků nerovností dochází k porušování vysoko-cyklovou kontaktní únavou povrchových vrstev, která se projevuje nízkou rychlostí opotřebení.

Při plastické deformaci je opotřebení vyvoláno nízko-cyklovou únavou exponovaných povrchových vrstev. Rýhováním materiálu dochází k značnému poškození stykových povrchů, vytrháváním materiálu s vysokou rychlostí opotřebení. Povrchové porušování slabých meziatomárních mikrospojů vzniká v okamžiku, kdy jejich pevnost je mnohem nižší než pevnosti základních materiálů. Tento případ je možný pouze při kladném gradientu mechanických vlastností v povrchových vrstvách obou třecích materiálů. Intenzita opotřebení je velmi malá. Hlubkové porušování pevných adhezivních mikrospojů je provázeno vytrháváním částic z povrchu základního materiálu, přenosem materiálu a intenzivní tvorbou částic otěru. Intenzita opotřebení je obdobně jako v případě rýhování velká a proto doba spolehlivé funkce třecího uzlu bude krátká.



Obr. 4 Adhezivní opotřebení čepu [11]

Delaminační opotřebení je způsobeno mikrotrhlinami, které se vytváří pod povrchem a postupně se šíří až se spojí s dalšími trhlinami a pak dojde k oddělení částice otěru. Tvorba a šíření mikrotrhlin jsou způsobeny podpovrchovým deformačním gradientem vyvolaným zatížením kontaktu a jsou podporovány únavou povrchových vrstev nebo vadami materiálu. V důsledku těchto procesů nastane podpovrchová deformace kovového materiálu a postupné odstraňování částic otěru ve formě lístků nebo vrstevnatých útvarů. Struktura částic otěru je proto obdobná jako struktura podpovrchových vrstev, z kterých vzniká. Částice otěru, které vznikají při delaminačním opotřebení, se mohou stát částí přeneseného povlaku a jsou zpevněny stejným způsobem jako částice přenesené adhezivním opotřebením.

1.3 Erozivní opotřebení [11], [35], [38], [48], [49]

Erozivní opotřebení je trvale nežádoucí změna povrchu a rozměrů, důsledkem opakovaného působení funkčního povrchu a opotřebovávajícího media. Při nárazu se kinetická energie každé částice mění na deformační práci, která způsobuje plastickou deformaci, projevující se odstraňováním částic z opotřebovávajícího povrchu. Opakované nárazy na povrch mohou mít charakter únavového zatěžování.

Erozní opotřebení může být vyvoláno:

- částicemi nesenými proudem kapaliny
- částicemi nesenými proudem plynu
- částicemi nesenými proudem kapaliny, kapek, páry nebo plynu



Obr. 5 Příklad erozního opotřebení [11]

Proces erozivního opotřebení částicemi je komplikovaný jev, který je ovlivňován celou řadou faktorů, které lze rozdělit do tří skupin:

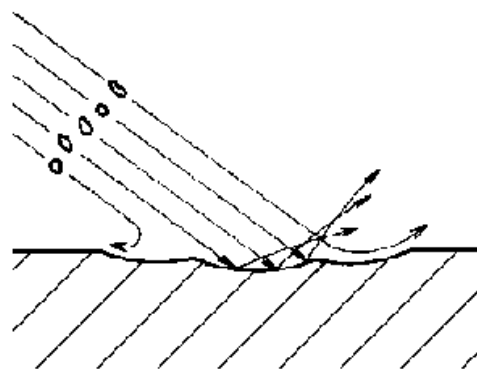
- podmínky nárazu - úhel nárazu, dopadová rychlost apod.
- charakteristika směsi media a částic - velikost, tvar, druh a tvrdost částic, druh a teplota nosného media, jeho chemický účinek na povrchové vrstvy erodovaného materiálu, množství a rozložení částic v proudu media apod.
- charakteristiky erodovaného materiálu - fyzikálně-mechanické vlastnosti a jeho makro i mikrostruktura

V okamžiku kontaktu s erodovaným povrchem působí na částici řada sil. Sousední částice mohou působit kontaktními silami, proudící medium unáší částici podél povrchu. Rozhodující silový účinek je převážně dán brzděním částice z počáteční dopadové rychlosti. Dopad částic způsobuje časově závislou povrchovou deformaci, která vede k šíření podélných i příčných elastických vln do materiálu a podél povrchu materiálu. Energie přenesená dopadajícími částicemi do povrchové vrstvy erodovaného materiálu způsobuje její porušování. Mechanismy erozního opotřebení mohou zahrnovat nejen plastickou, ale také křehký lom.

Při erozivním opotřebení kovů obvykle dochází k plastické deformaci. U křehkých materiálů převládá v závislosti na dopadových podmínkách opotřebování plastickou deformací nebo lomem.

Při dopadu částic na povrch kovových materiálů v závislosti na jejich vlastnostech, dopadové rychlosti, úhlu nárazu, tvaru a velikosti částic i okolního prostředí mohou nastat tyto procesy:

- Částice se mohou roztržít při dopadu, když je povrch erodovaného materiálu dostatečně tvrdý.
- Částice může řezat povrch a vytvářet třísku, jestliže je úhel nárazu velmi malý nebo částice ostrohranná.
- Částice může způsobit deformaci povrchu, vnikat do povrchových vrstev, vytvářet a podporovat šíření povrchových trhlin. Trhliny způsobené smykovou deformací jsou



Obr. 6 Schéma mechanismu erozního opotřebení [35]

orientovány kolmo ke směru dopadu a rovnoběžně se směrem se směrem plastické deformace materiálu.

- Při středním nárazovém úhlu nastává intenzivní plastická deformace a částečné vytlačování materiálu na okrajích dopadového kráteru, případně se vytváří třísky.
- Při kolmém dopadu částic dochází k tvorbě kráterů obklopených vytlačeným materiálem.

Rozlišujeme dva základní mechanizmy účinku částic na povrch materiálu:

- deformační
- rýhovací

Deformační mechanismus převládá při úhlech nárazu kolem 90° . Má charakter únavového porušování povrchových vrstev erodovaného materiálu. Při vysoké energii dopadajících částic, může docházet k plastické deformaci a k porušení materiálu již při jednotlivém dopadu. Rýhovací mechanismus působí hlavně při velkých dopadových rychlostech, kdy rozhodující roli má postupné vyčerpání deformační schopnosti materiálu.

1.4 Kavitační opotřebení [17], [23], [38], [50]

U vodních strojů a zařízení, pracujících v různých kapalinách, může docházet k porušování funkčních povrchů koroze, eroze a kavitace. Kavitační opotřebení je možno považovat za jeden z nejsložitějších a velmi intenzivních degradačních procesů. Souvisí s kavítací, což je vznikání dutin v kapalině při lokálním poklesu tlaku, které v oblasti zvýšeného tlaku implodují. Pokles tlaku může nastat vlivem lokálního zvýšení rychlosti, případně průchodu intenzivní akustické vlny v periodách zředění. Rázová vlna, která je doprovázena implozí kavitačních dutin, má destruktivní vliv na okolní materiál.



Obr. 7 Kavitace na lopatkách lodního šroubu [23]

Kavitace je definována jako fyzikální jev v kapalině, při němž vznikají, vyvíjejí se a zanikají kavitační bubliny. Při jejich zanikání tzv. implozi dochází vlivem tlakových vln k cyklickému únavovému namáhání povrchu materiálu. Ke kavitaci dochází v proudící kapalině v místech, kde součet hydrostatického a hydrodynamického tlaku vede k porušení kontinuity proudu.

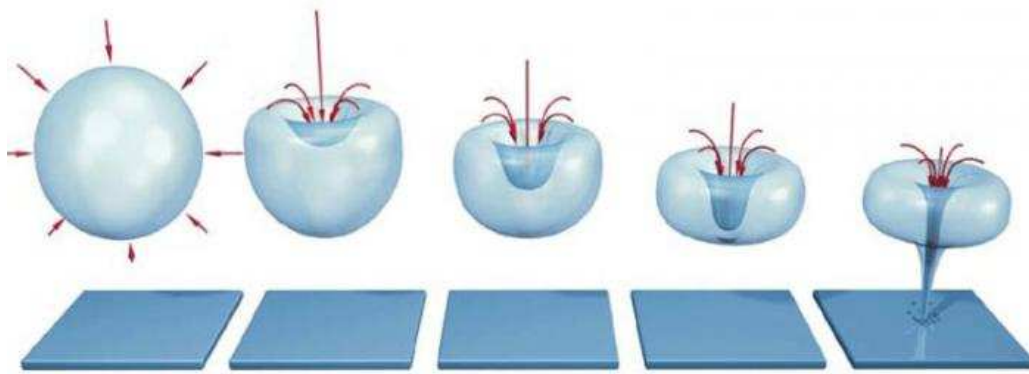
V místech zúžení proudu kapaliny, dochází k výraznému vzrůstu rychlosti proudění, může tlak poklesnout na hodnotu atmosférického tlaku, případně i níže. Pokles tlaku může nastat nejen následkem lokálního zvýšení rychlosti (tzv. hydrodynamická kavitace), ale i následkem průchodu intenzivní akustické vlny v periodách zředění (akustická kavitace). V kapalině se v těchto místech objevují kavitační bubliny nebo dutiny zaplněné párou a plyny rozpuštěnými v kapalině. Zpravidla mají kavitační bubliny kulovitý nebo vajíčkovitý tvar.

V kavitačních dutinách tlak odpovídá tlaku nasycených par při dané teplotě. Závisí na druhu, tvaru, velikosti kavitačních jader a na době jejich výskytu v kritické oblasti. Obvykle vzniká shluk kavitačních dutin či bublin tzv. kavitační zóna. Tyto zóny mohou mít různý tvar - kapsovitá zóna (za obtékaným tělesem) plošná zóna (na povrchu tělesa), vláknová

zóna (sled kavitačních dutin v podobě vlákna), spárová zóna, zóna odtržení proudu. Při zvýšení tlaku kavitační bubliny a dutiny kolabují a přitom vznikají sférické rázové vlny nebo při jejich asymetrickém zániku vznikají nahromaděné mikro-proudy kapaliny s vysokou rychlostí a dynamickým působením na povrch tělesa, které působí destruktivně na okolní materiál. Silové účinky působí na velmi malé plochy - 10^9 m^2 . Během imploze, která působí, podle velikosti kavitační dutiny, po dobu 10^5 až 10^3 vteřin, dochází k tlakovým rázům, které zapříčiňují výrazný hluk. Rychlost imploze kavitačních bublin dosahujících hodnot nad 300 m/s.

Rázy i mikro-proudy působí mechanickým účinkem na povrch materiálu - dochází k elastické i plastické deformaci, vytváří se vnitřní pnutí v povrchových vrstvách materiálu. Vysoká frekvence zanikajících kavitačních dutin vede k vysoko-cyklické únavě materiálu, postupné tvorbě mikrotrhlin, jejich šíření a oddělování částic otěru.

Lokální nárůst teploty spojený s tímto dějem se odhaduje až na 3000°C , tlaky řádově ve stovkách MPa v nanosekundových časových úsecích. Kromě mechanického a tepelného působení dochází ke korozi povrchu. Která je vzhledem k rychlosti poškozování kovů vlivem kavitace zanedbatelná.



Obr. 8 Kavitační bublina [17]

Negativní důsledky kavitace:

- rázy, otřesy, hluk ve vodních strojích a v potrubních systémech
- velké ztráty účinnosti (u vodních turbin a čerpadel)
- kavitační opotřebení

Kavitační poškozování materiálů závisí na:

- rychlosti proudící kapaliny
- materiálu součástí
- velikosti dílů
- korozním působení kapaliny
- drsnosti povrchu součástí
- teplotních a termodynamických vlivech
- charakteristice kapalin
- obsahu rozpuštěných plynů v kapalině

1.5 Únavové opotřebení [11], [38]

Únavový proces je jedním z nejrozšířenějších mechanismů oddělování částic při porušení povrchových vrstev během opotřebení. Podmiňují ho opakující se střídavé napětí, které mají za následek tvorbu zárodků povrchových nebo podpovrchových trhlin, které následně umožňují vznik částic opotřebení a porušení povrchové vrstvy. Dochází k vydrolování materiálu. V homogenních materiálech tvorbu únavových trhlin podněcují dislokační procesy.



Obr. 9 Únavové opotřeбенé kroužku ložiska [11]

Faktory ovlivňující únavové opotřebení:

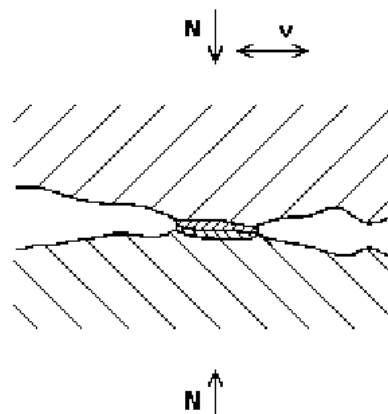
- velikost konstantního napětí
- tvorba částic na povrchu
- tvrdost povrchových vrstev
- rychlost a směr pohybu součástí
- velikost přítláčných tlaků
- vznik tahových a tlakových napětí
- velikost skluzů
- tření mezi součástmi
- vlastnosti media mezi součástmi
- měrný tlak na styčných plochách
- materiál součástí
- vznik mikrospojů

Zmírnit únavové opotřebení lze:

- snížení nebo vyloučení tření u kluzných dvojic
- zlepšení mazacích podmínek

1.6 Vibrační opotřebení [4], [35], [38], [50]

Vibrační opotřebení nastává v kontaktech nerovností stykových ploch, kde se vytváří a porušují mikrospoje. Elastická a plastická mikro-deformace povrchových vrstev vzniká, v první fázi procesu opotřebení působením normálových sil. Povrchové vrstvy zpevňují až do vyčerpání plasticity, kdy dojde k tvorbě malých částic otěru. Na povrchu se začnou vytvářet důlky a dojde k přenášení materiálu z jednoho povrchu na druhý povrch. Drobné částice vzniklé při otěru oxidují a následně na oba povrchy působí abrazivně. K lokální abrazi dochází vlivem malých amplitud pohybu, které neumožňují odstraňování částic z okolí styčných ploch.



Obr. 10 Schéma mechanismu vibračního opotřebení [35]

Vliv faktorů na vibrační opotřebení

Řada faktorů ovlivňuje proces vibračního opotřebení, jak v jeho počátcích, tak v dalších etapách. Mezi nejdůležitější faktory ovlivňující intenzitu vibračního opotřebení patří:

- Vliv odchylky vibračního pohybu
- Vliv frekvence vibračního pohybu
- Vliv měrného tlaku
- Vliv počtu cyklů
- Vliv pracovního prostředí
- Vliv vlastností materiálu

Negativní účinky vibračního opotřebení

- Může iniciovat vznik únavových trhlin. Dochází k výraznému snížení meze únavy.
- Může podporovat lokální korozi za napětí.
- Poškození funkčních povrchů má za následek zhoršení drsnosti povrchu a ztrátu přesnosti.



Obr. 11 Vibrační opotřebení ložiska [11]

Možnosti snížení vibračního opotřebení

- Různými konstrukčními úpravami můžeme zabránit relativnímu pohybu součástí. Valivým uložením nahradit kluzné. Za pomoci pružných prvků umožnění větších amplitud vzájemného pohybu. Pomocí pružného uložení nebo tlumičů omezit provozní vibrace.
- Použití maziv izolovat povrch před vzdušnou atmosférou a snížit koeficient tření.
- Použití povrchových úprav (mechanické úpravy, chemicko-tepelné zpracování, povlakování)

1.7 Opotřebení za vysokých teplot [22], [40]

Obecně své dobré vlastnosti kovy ztrácejí, když jsou po delší čas vystavené vysokým teplotám. Následkem tepelné únavy při práci za vysokých teplot, často nastává praskání materiálu.

Při práci v oxidační atmosféře se na povrchu materiálu vytvoří vrstva oxidů, která může vést vlivem rozdílné tepelné roztažnosti k praskání. Následkem toho se celý cyklus oxidace opakuje.

Proti tepelné únavě jsou dobře odolné martenzitické oceli s obsahem 5-12% chromu. Až do teplot okolo 600°C dobře odolávají slitiny s obsahem karbidů chromu. Slitiny na bázi niklu nebo kobaltu se používají při práci za vyšších teplot než 600°C.



Obr. 12 Opotřebení za vysokých teplot [22]

1.8 Koroze [36], [44]

Koroze se nazývá trvalá nežádoucí změna povrchu materiálu, které v okolním prostředí způsobují elektrochemické a chemické vlivy.

Koroze se podle mechanismu korozních procesů rozděluje na chemickou a elektrochemickou.

Chemická koroze není příliš častý jev. Vyskytuje se v případech, kdy dochází k chemickým reakcím v nevodivém prostředí. Typický je příklad tvorby okují při tváření za tepla.

Elektrochemická koroze je proces znehodnocování materiálu, během kterého vzniká elektrický proud. Podmínkou je elektricky vodivé prostředí. Může probíhat všude, kde se stýkají různé kovy, za přítomnosti elektrolytu, stačí k tomu vzdušná nebo kondenzační vlhkost.

Korozi můžeme rozdělit podle vzhledu na rovnoměrnou a nerovnoměrnou. U rovnoměrné koroze lze dobře předvídat její postup. Po celém napadeném povrchu probíhá přibližně stejnou rychlostí. Naopak je tomu u nerovnoměrné koroze, při které jsou napadeny jen některé části povrchu nebo strukturní složky. Bodová koroze působí do hloubky materiálu, kdy může dojít až k jeho proděravění. Laminární koroze postupuje zpravidla po hranicích jednotlivých vrstev, které se poté oddělují ve formě šupin. Mezikrystalová koroze postupuje do hloubky po hranicích mezikrystalových zrn. V mnoha případech vede k úplné destrukci napadeného materiálu. Transkrystalická koroze postupuje do hloubky, jak po hranicích mezikrystalických zrn, tak přes zrna.



Obr. 13 Korozní opotřebení [36]

Nejčastěji se vyskytuje atmosférická koroze, kterou podporuje hlavně:

- Vlhkost
- Přítomnost iontů minerálních solí
- Přítomnost vzdušného kyslíku a jiných plynů
- Sluneční záření

2 NÁVRH EXPERIMENTÁLNÍ PRÁCE [19]

Podle požadavků konstrukce a materiálové analýzy originálně vyráběných dílů mísičů slévárenských písků, bylo potřeba navrhnout vhodný základní materiál na renovované lopatky mísiče pro přípravu směsi na formy pro odlitky. Slévárenský písek na formy má vysokou tvrdost cca 1000 HV a v kombinaci s vlhkým prostředím působí velmi abrazivně. V těchto extrémních podmínkách by se jistě osvědčil návar wolframkarbidu na zvolený základní materiál. Životnost takto provedených vrstev je vyšší než klasické návarové materiály standardních materiálů na bázi vysokých obsahů C, Cr a dalších legur.

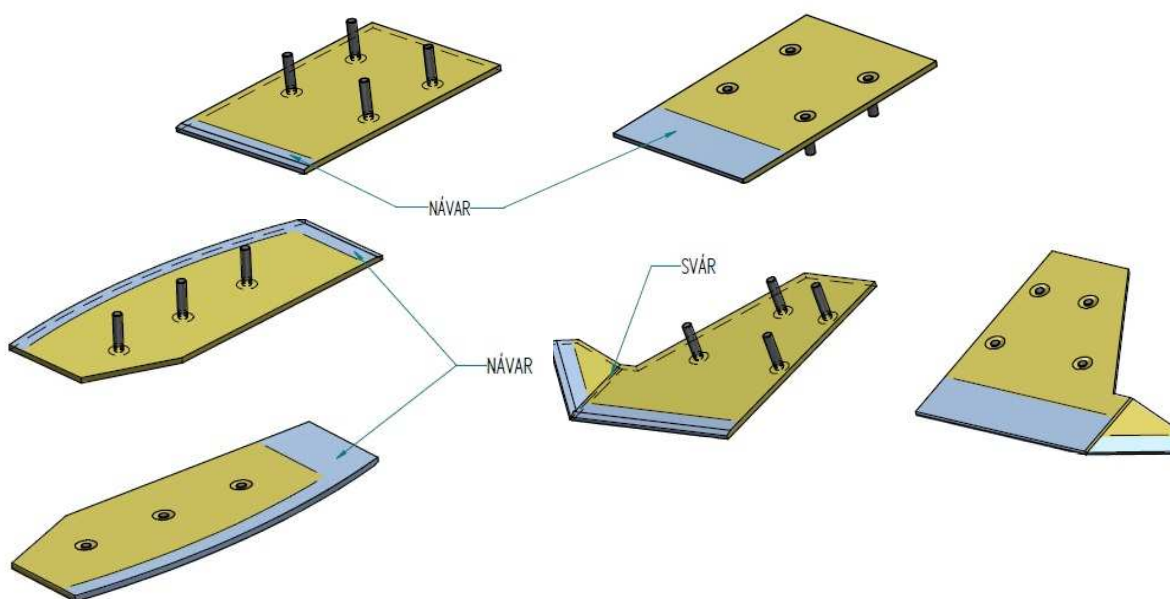
2.1 Popis lopatek mísiče a prostředí

Tvar a design lopatek byl dán výrobcem mísiče. Hlavně z důvodu následné přesné montáže do mísiče, musel být původní tvar zachován, včetně dodržení zaoblení hran a zvažovaných navařených (nejvíce abrazivně opotřeбенých) ploch po renovaci.

2.1.1 Popis lopatek mísiče - parametry mísiče

Tab. 1 Slévárenský písek suchý – ST 54 VL

Zrnitostní rozsah	Od 0,10 do 0,63 mm
Chemické složení [%]	
SiO ₂	99,2
Al ₂ O ₃	0,127
TiO ₂	0,0643
Fe ₂ O ₃	0,0343
Fyzikální vlastnosti	
Vlhkost [%]	0,11



Obr. 14 3D modely lopatek mísiče [15]

2.1.2 Popis prostředí v mísiči

Do mísiče se pneumaticky nasype 1500 kg slévárenského písku, kterým se musí lopatky mísiče prodrat. Do slévárenského písku se v průběhu procesu přidávají aditiva, pojivo a voda. Celý cyklus trvá jednu minutu. Průměrná vlhkost v mísiči je 6,7%. V mísiči je podtlak, kvůli odsávání prachu. Během míchání se pohybuje teplota písku kolem 50°C. Na lopatky působí, tíha písku, kdy za rotace lopatek je mísič silně abrazivně zatěžován působením slévárenského písku. Mísič má keramické obložení po obvodu i na dně.

2.2 Volba základního materiálu lopatek mísiče

2.2.1 Materiál S355JR [5], [16]

Jedná se o nelegovanou konstrukční jemnozrnnou jakostní ocel, která je vhodná ke svařování.

Používá se na mostní a jiné svařované konstrukce, ohýbané profily, svařované konstrukce z dutých profilů a součástí strojů, tepelných a energetických zařízení a součástí tlakových nádob vyrobených z tyčí.

Tab. 2 Chemické složení [5]

Chemické složení [%]					
C	Si	Mn	P	S	N
≤ 0,24	≤ 0,55	≤ 1,60	≤ 0,045	≤ 0,045	≤ 0,009

Tab. 3 Mechanické vlastnosti [5]

Re [MPa]	Rm [MPa]	A ₅ [%]	KV +20°C [J]
min. 355	470 - 630	min. 22	27

2.2.2 Materiál CREUSABRO 4800 [28]

Jedná se o otěruvzdornou ocel se zvýšenou odolností proti opotřebení v porovnání s klasicky kalenými oceli. Jsou to oceli termodynamicky válcované s řízenou rychlostí ochlazování nebo kalené do oleje. Jejich struktura je martenziticko-bainitická, obsahující rovněž zbytkový austenit, který se při plastické deformaci mění na martenzit. Ve struktuře této oceli se nacházejí homogenně rozložené karbidy titanu, které zvyšují odolnost oceli proti opotřebení.

Uplatnění nachází tato ocel v dolech, lomech, cementárenské a ocelárenském průmyslu. Je možné ji použít pro všechny typy opotřebení. Odolává při práci jak suchými tak vlhkými médii, včetně opotřebení při teplot dosahujících až 350 °C.

Tab. 4 Chemické složení [28]

Chemické složení [%]							
C	S	P	Mn	Ni	Cr	Mo	Ti
≤ 0,20	≤ 0,005	≤ 0,018	≤ 1,60	0,20	≤ 1,90	≤ 0,040	≤ 0,20

Tab. 5 Mechanické vlastnosti [28]

Re [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	Tvrđost[HB]	KV -20°C [J]
900	1200	12	370	min. 45

2.2.3 Materiál X120Mn12 [53]

Vysokomanganová ocel charakteristická vysokou houževnatostí se schopností zpevnit při tváření za studena a vysokou odolností proti abrazivnímu opotřebení. Zpevnění je docíleno změnou substruktury austenitu při plastické deformaci a tvorbou deformačního martenzitu.

Uplatnění nachází v oblasti manipulace se zeminami, těžbě, drcení, ve výrobě oceli, cementu atd..

Tab. 6 Chemické složení [53]

Chemické složení [%]					
C	Si	Mn	P	S	Cr
1,2	0,4	12	≤ 0,1	≤ 0,040	≤ 1,5

Tab. 7 Mechanické vlastnosti [53]

Re [MPa]	Rm [MPa]	Tvrdost[HB]	A [%]	Z [%]	KV [J]
min. 350	800 - 1000	200	50	60	30

2.2.4 Vyhodnocené volby základního materiálu pro lopatky mísiče

Podle výsledků spektrometrické analýzy a měření povrchové tvrdosti původních lopatek mísičů. Bylo potřeba zvolit vhodný materiál pro renovované lopatky mísiče slévárenského písku. Dokonce jeden z mísičů byl vypálen z materiálu X120Mn12 bez následného navaření tvrdokovem. V provozu dále porovnána otěruvzdornost vůči v experimentu navařovaným mísičům, hlavně z důvodu možné finanční úspory bez navařování wolframkarbidy. Po přibližně 1000 hodinách v provozu byly abrazí opotřebený hrany lopatek z materiálu X120Mn12 více než povolovala konstrukce. Opotřebení (zaoblení lopatek) bylo větší než očekávané, proto byl zvažován jiný materiál i podle výsledků materiálové analýzy. Navrhovaný základní materiál Creusabro 4800 nebyl použit z důvodu očekávané ztráty vlastností termodynamicky zpracované oceli. Kde by se v tepelně ovlivněné oblasti, vneseným teplem při navařování, degradovaly užité vlastnosti tohoto materiálu. I když v části mísiče bez návaru bude mít rozhodně větší opotřebitelnosti než nakonec z důvodů ekonomických a praktických zvolený materiál S 355JR.

2.3 Návrh destruktivních mechanických zkoušek

2.3.1 Makroskopická a mikroskopická kontrola svarových spojů [6], [43]

Za účelem odhalení makroskopických nebo mikroskopických charakteristik svarového spoje, obvykle kontrolou příčného řezu, se provádí makroskopická a mikroskopická kontrola. Hodnotí se struktura (včetně struktury zrn, morfologie a orientace, precipitáty a vměstky) nezávisle anebo ve vztahu k různým trhlinám a dutinám.

Při odběru vzorků jsou obecně zkušební vzorky orientovány napříč ose svaru (příčný řez) zahrnují svarový kov a TOO.

Vzorky se ke kontrole připravují řezáním, broušením nebo leštěním, naleptaném nebo neleptaném stavu, podle vhodnosti. Těmito procesy nesmí být kontrolovaný povrch ovlivněn.

Při mikroskopické kontrole svarů je zkušební vzorek kontrolován pod mikroskopem, obecně se zvětšením 50x až 500x v naleptaném nebo neleptaném stavu.

Při makroskopickém pozorování jde o pozorování vad v materiálu, nehomogenit a struktury při malých zvětšeních. Makrostruktura se sleduje a dokumentuje maximálně při dvacetinásobném zvětšení a často jen při zvětšení 1:1, za použití speciálních objektivů.

V naleptaném nebo neleptaném stavu. Pozorují se vady jako dutiny, řediny, póry a trhliny. Na výbrusu v naleptaném stavu se pozorují trhliny a jiné prohloubeniny.

2.3.3 Zkouška tvrdosti dle Vickerse [10], [31], [46]

Princip zkoušky spočívá ve vtlačování diamantového tělesa ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu se čtvercovou základnou a s daným vrcholovým úhlem mezi protilehlými stěnami do povrchu vzorku. Po odlehčení zkušebního zatížení se měří úhlopříčka vtisku, která zůstala na povrchu vzorku. Poměr zkušebního zatížení k ploše vtisku vyjadřuje tvrdost podle Vickerse.

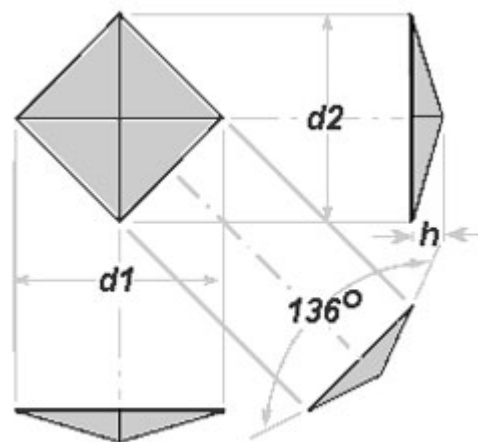
Zkoušení tvrdost podle Vickerse HV10 nebo HV5 musí být provedeno podle ISO 9015-1. Příčná tvrdost musí být měřena pod úhlem 15° k povrchu. Musí zahrnovat návar, tepelně ovlivněnou oblast a základní materiál. U tvrdonávarů musí být na opracovaném zkušebním kusu provedeno nejméně pět vtisků. Na drsnosti měřeného povrchu a na homogenitě materiálu je závislá přesnost měření.

Výpočet tvrdost podle Vickerse:

$$HV = 0,102 \cdot \frac{2 \cdot F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (2.1)$$

Kde: F – zkušební zatížení [N]

d – aritmetický průměr dvou délek úhlopříček d_1 a d_2 [mm]



Obr.15 Vickersovo vnikací tělísko [46]

Tab. 8 Rozdělení zkoušek dle Vickerse podle použitého zkušebního zatížení [31]

Zkušební zatížení	Symbol tvrdosti	Označení dle ČSN EN ISO 6507 - 1
$F \geq 49,03$	$\geq HV5$	Zkouška tvrdosti podle Vickerse
$1,961 \leq F < 49,03$	HV 0,2 až < HV5	Zkouška tvrdosti podle Vickerse při nízkém zatížení
$0,09807 \leq F < 1,961$	HV 0,01 až < HV 0,2	Zkouška mikrotvrdosti podle Vickerse

2.3.4 Prvková analýza EDS [37], [56]

Energiově disperzní spektroskopie (EDS) umožňuje využití skenovacího elektronového mikroskopu pro rychlou a přesnou prvkovou analýzu a prvkové mapování studovaných preparátů. Energiově disperzní spektrometr je založen na principu měření elektronového záření, které je vyvolané dopadem primárních elektronů na valenční elektron prvku, kde je tento valenční elektron vyražen a následně nahrazen elektronem z nižší slupky. Podle typu a kvanta rentgenového záření se určí typ a množství prvku ve vzorku, kdy každý prvek má odlišnou energii rentgenového záření. Měření probíhá ve vysokém vakuu.

3 ROZBOR PŘÍDAVNÝCH MATERIÁLŮ PRO NÁVARY, VÝBĚR PRO EXPERIMENT

Z hlediska vhodnosti přídatných materiálů pro navařování otěruvzdorných vrstev tvrdokovem, a vzhledem k prostředí, ve kterém součástka (mísič) pracuje, v souvislosti s vhodnou aplikací technologie navařování bude potřeba navrhnout otěruvzdorný materiál na bázi wolfram-karbidu.

3.1 Svařitelnost [3]

Svařitelnost jako komplexní charakteristika vyjadřuje vhodnost materiálu vytvořit svarový spoj požadovaných mechanických, fyzikálních a chemických vlastností, s dosažením požadované jakosti, spolehlivosti a životnosti svarového spoje, při určitých metalurgických, konstrukčních a technologických možnostech.

Způsob výroby oceli, chemické složení, způsob odlévání, tváření a tepelné zpracování zajišťují mechanické vlastnosti.

Pevnostní vlastnosti materiálu, tloušťka a tvar spoje, příprava svarových hran, tuhost spoje a přístupnost ke spoji, zajišťují konstrukční požadavky.

Metoda svařování, přídatné materiály, postup svařování, tepelný režim svařování a tepelné zpracování po svařování, zajišťují technologické požadavky.

Svařitelnost ocelí se rozděluje na:

- 1a - zaručená svařitelnost
- 1b - zaručená podmíněná svařitelnost
- 2 - dobrá svařitelnost
- 3 - obtížná svařitelnost

3.2 Vliv chemického složení ocelí na jejich svařitelnost [26], [29], [33], [39], [43]

C - uhlík - ovlivňuje rozhodujícím způsobem svařitelnost, je obsažen ve všech ocelích. Vliv má především na mechanické vlastnosti ocelí. S rostoucím obsahem uhlíku roste mez kluzu, mez pevnosti a tvrdost oceli, klesají plastické vlastnosti jako vrubová houževnatost, tažnost a kontrakce. Pro dosažení požadované odolnosti je obsah uhlíku pod 0,15% nedostačující. Hodnoty tvrdosti martenzitu, který vzniká ve svarech při velkých rychlostech ochlazování, se zvyšují s rostoucím obsahem uhlíku v oceli. Současně se snižují kritické rychlosti ochlazování pro vznik martenzitické struktury, z tohoto důvodu je obsah uhlíku ve svařitelných nelegovaných ocelích omežován na hodnotu 0,25%, při které se ještě nepředpokládá vznik studených trhlin ve svarech. Při svařování uhlíkových ocelí s obsahem uhlíku více než 0,25% je nutné pro zabránění vzniku studených trhlin předepsat předehřev, případně dohřev a tepelné zpracování.

S – síra - tvoří se železem siričkatý železnatý FeS, který je v tuhém železe skoro nerozpustný. Zhoršuje houževnatost ocelí za teploty okolí i svařitelnost. V některých případech se používá úmyslně do nelegovaných konstrukčních ocelí za účelem zvýšení obrobitelnosti. Jednou z hlavních příčin vzniku lamelárních trhlin je vysoký obsah síry. U běžných ocelí bývá horní hranice obsahu síry 0,06%. V ušlechtilých ocelích se pohybuje okolo 0,04% a ve svařovacích drátech do 0,03%.

P – Fosfor - je v ocelích nežádoucí prvek, jeho obsah by proto měl být co nejmenší. Netvoří sloučeniny a v ocelích je rozpuštěn ve feritu. Zvyšuje pevnost a tvrdost, jeho vliv je závislý

na obsahu uhlíku. Při nízkých obsazích uhlíku do 0,01% má obsah fosforu nepatrný vliv i na zvýšení tažnosti. Ve spojení s mědí má příznivý vliv na korozní odolnost a zvyšuje mez kluzu i mez pevnosti. Fosfor zvyšuje křehkost feritu při vyšších obsazích uhlíku nad 0,05%. Vliv fosforu na křehkost je významný už při obsahu 0,005%. I při pokojové teplotě jsou křehké oceli s obsahem fosforu 0,12%. U vysoce pevných ocelí snižuje mez únavy a zvyšuje sklon ke vzniku trhlin, prasklin a křehkých lomů.

N - Dusík - při teplotě 1600°C je maximální rozpustnost dusíku 0,04%. U nelegovaných ocelí jsou obsahy obvykle nižší než 0,012%. Na vlastnosti ocelí má podstatný vliv vznik nitridů, protože zvyšují mez kluzu, mez pevnosti a tvrdost, zároveň se snižují plastické vlastnosti ocelí jako tažnost a vrubová houževnatost. Nebezpečné je vylučování nitridů v úzkém pásmu v okolí svaru, které při nižších teplotách může vést k úplnému porušení konstrukce.

H – Vodík - patří k nežádoucím příměsím ve slitinách železa. Snižuje tažnost, kontrakci a vrubovou houževnatost. V ocelích se vodík obvykle vyskytuje v rozmezí 0,0001 až 0,002%. Ve svarových spojích je vodík příčinou vzniku pórovitosti svarového kovu, oduhličení svarového kovu, vzniku trhlin ve svarovém kovu a TOO.

Si - Křemík - je silně deoxidační prvek. V menším rozsahu než mangan zvyšuje také tvrdost. Zvyšuje pevnost a mez kluzu, nad 1% snižuje plastické vlastnosti feritu. Horní hranice obsahu křemíku v ocelích je omezena na hodnotu 0,45%. Při obloukovém svařování nezpůsobuje křemík do obsahu 0,5% potíže, ale při svařování plamenem způsobuje obsah křemíku nad 0,3% problémy a musí se současně zvyšovat obsah manganu. Při vysokém obsahu uhlíku způsobuje křemík větší náchylnost k tvorbě trhlin.

Mn – Mangan - aniž by byla do určitého obsahu snížena plasticita, zvyšuje mangan mez kluzu i mez pevnosti. Díky tomu je možné ve svařitelných ocelích dosáhnout vyšších hodnot meze kluzu a meze pevnosti než odpovídá maximálnímu množství uhlíku 0,25%. Zvýšení pevnosti je tím větší, čím méně uhlíku ocel obsahuje. U ocelí s obsahem uhlíku do 0,15% je zvýšení pevnosti největší, u ocelí s obsahem uhlíku v rozmezí 0,7 až 0,8% se pevnost se zvýšením manganu zvyšuje jen nepatrně. U nízkolegovaných manganových ocelí se projevuje vyšší náchylnost k popouštěcí křehkosti než u ocelí bez manganu. Mangan je zpravidla u nelegovaných ocelí obsažen v rozmezí 0,3 až 1,70%. Při obsahu manganu pod 0,3% je dosaženo jen nepatrného zvýšení pevnosti a houževnatosti, a při obsahu nad 1,7% se zvyšuje tvorba perlitických struktur, které podporují výskyt povrchových lomů. K výrobě uklidněných ocelí se společně s křemíkem používají díky svým dezoxidačním schopnostem. Obsah síry v oceli nebo ve svarovém kovu se dá snížit manganem díky tomu, že se síra váže na mangan za tvorby MnS. Oceli s vysokým obsahem manganu jsou velmi odolné vůči abrazi.

Cr - Chrom - má velkou afinitu k uhlíku, proto se soustřeďuje do karbidických fází. Ocel i svarový kov výrazně precipitačně zpevňuje. Výrazně také zvyšuje prokalitelnost ocelí, odolnost proti korozi a opalu.

W – Wolfram - tvoří karbidy WC, W₂C a karbidy typu M₆C. Přítomnost těchto karbidů zvyšuje tvrdost za vysokých teplot a odolnost proti tečení.

V - Vanad – jeho základní vlastností je, že zjemňuje zrna. Zvyšuje také prokalitelnost, tvrdost a žárupevnost. Spolu s dusíkem vytváří karbonitrid vanadu nebo nitridy vanadu, které zvyšují pevnostní vlastnosti ocelí a svarových kovů při vysokých teplotách v oblasti tečení.

Obsah vanadu nad 0,3% způsobuje následkem zhrubnutí těchto karbonitridů tečení. Obsah vanadu se proto pohybuje v rozsahu 0,03% až 0,3%.

Nb – Niob - se používá, protože s dusíkem tvoří stabilní nitridy a v ocelích tím zjemňuje zrno. Jeho přítomnost v ocelích má za následek zvýšení pevnosti, tažnosti a houževnatosti. Při obsahu pod 0,01% není dosaženo výrazného zvýšení účinku. Obsah niobu je omezen v rozsahu 0,01% až 0,05%. Při překročení více než 0,05% způsobuje niob křehkost tvorbou intermetalické fáze.

B –Bór - se u svařování využívá jako legující prvek pro řízení tvorby fází, které zajišťují tvorbu povrchu zrna v austenitu. Zvýšení kalitelnosti a meze pevnosti patří mezi jeho významné vlastnosti. Při obsahu 0,0005% nemá významný vliv, a při obsahu větším než 0,005% snižuje kvalitu materiálu. Proto se obsah bóru pohybuje v rozsahu 0,0005% až 0,005%.

3.3 Uhlíkový ekvivalent [26]

Uhlíkovým ekvivalentem vyjadřujeme vliv chemického složení oceli na její svařitelnost. Vyjadřuje příspěvek jednotlivých legujících prvků na kalitelnost oceli. Čím snadněji se daná ocel zakalí, tj. roste nebezpečí vzniku zakalených struktur v TOO svarového spoje a ve svarovém kovu i za nižších ochlazovacích rychlostí, a tím se daná ocel obtížněji svařuje. Uhlíkový ekvivalent je proto zároveň ukazatelem svařitelnosti dané oceli z pohledu jejího chemického složení. V uhlíkovém ekvivalentu má dominantní postavení obsah uhlíku v oceli. Čím vyšší má daný materiál hodnotu uhlíkového ekvivalentu, tím je hůře svařitelný. V případě, že je daná ocel dle výpočtu uhlíkového ekvivalentu svařitelná, je za daných podmínek rovněž vhodná k navařování (navářitelná).

Podle ČSN EN 1011-2 se ekvivalent uhlíku vypočítá:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [\%] \quad (3.1)$$

Tato rovnice je platná pro materiály do obsahu prvků: C = 0,05 až 0,25%, Mn = max. 1,7%, Cr = max. 0,9%, Ni = max. 2,5%, V = max. 0,2%, Cu = max. 1,0%, Si = max. 0,8%, Mo = max. 0,75%

3.4 Rozdělení a popis WC [19]

Při výrobě WC vznikají dva druhy vazeb – WC a W₂C, které mají rozdílné vlastnosti a jsou jedním z určujících parametrů zrn.

Tab. 9 Srovnání WC [19]

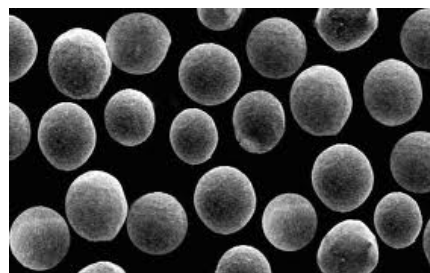
Wolframkarbid	Hustota [g/cm ³]	Tvrdost [HV]	Teplota tání [°C]
WC	15,7	2400	2870
W ₂ C	17,2	3000	2730

Zpracování samotných zrn je dalším určujícím parametrem WC, které se vyrábějí tavením. Zrna jsou vyráběna jako:

- Mletý nebo drcený WC, označovaný také jako FTC. Vyznačuje se nerovnoměrným, jehlicovým tvarem zrn.
- Sférický WC, označovaný také jako STFC, který má nerovnoměrný kulatý tvar zrn.
- Sintrovaný (spékaný) WC, který je speciálně vyráběn pouze pro žárové nástřiky. Tvar zrn bývá kulatý a je obvykle spékaný ve směsi s kobaltem, který je obsažen v rozmezí 8-18 % a zbytek tvoří WC. V menší míře se spékají s niklem (cca 12% Ni).



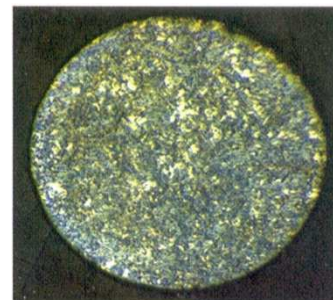
Obr. 16 Drcené zrno FTC [19]



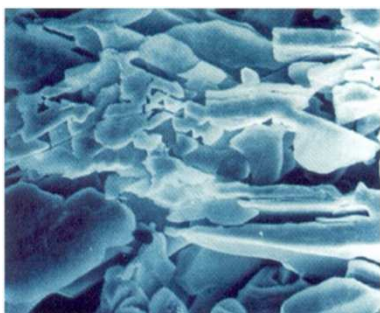
Obr. 17 Sférické zrno SFTC [19]



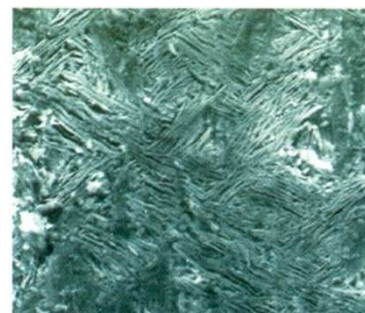
Obr. 18 Zvětšení 200x [19]



Obr. 19 Zvětšení 200x [19]



Obr. 20 Zvětšení 3000x [19]



Obr. 21 Zvětšení 3000x [19]

Tab. 10 Vlastnosti zrn podle způsobu výroby [19]

	Drcené zrno FTC	sférické zrno SFTC
Tvrdost [HV]	2 200 - 2 400	2 800 - 3 200
Tvar zrn	jehlice (acikulární)	sférický (globulární)
Struktura	jemné zrno	velmi jemné jehlice
Smáčivost v matrici	dobrá	vynikající

WC se vyrábějí ve velkém rozsahu rozměrů. WC se sférickými zrny se vyrábějí v rozmezí 0,05 – 1,00 mm. Drcené WC v rozsahu od 0,18 mm až po velké zrna o rozměrech 8,0 x 12,0 mm.

Matrice pro WC

Slitiny na bázi niklu a železa tvoří v různých poměrech s dalšími legurami základní druhy matic pro navařování.

Návary na bázi niklu mají tvrdost matrice v rozmezí 380 – 520 HV. Návar je možné použít i v chemickém a petrochemickém prostředí. Matrice je odolná proti kyselinám, louchům a jiným korozním médiím.

Návary na bázi železa mají martenzitickou strukturu a tvrdost matrice se pohybuje v rozmezí 45 – 68 HRC. Pro materiály s vyšším obsahem uhlíku je potřeba navařit mezivrstvu.

3.5 Výsledné vlastnosti návarů [19]

Při volbě přídatných materiálů pro navařování je nutné vycházet z materiálových listů konkrétních materiálů. Různí výrobci pro různé materiály mohou uvádět odlišné hodnoty. V materiálovém listu musí být uvedena tvrdost v určitém rozmezí a také, ve které vrstvě je těchto hodnot dosahováno. Jsou materiály, které mají definovanou tvrdost v první vrstvě a jiné materiály, které vlivem legování a promísení dosahují hodnot požadované tvrdosti až ve třetí vrstvě. Další faktor, který výrazně může ovlivnit strukturu a výslednou tvrdost návaru je samotný proces navařování.

3.6 Volba přídatného materiálu pro návar

Z výše popsaných hledisek i vzhledem k aplikaci návaru tvrdokovem na abrazí otěruvzdorné lopatky mísiče jsme měli možnost zvolit plněné elektrody na bázi otěruvzdorných návarů legovaných Cr, B, Nb (standartní podmínky) nebo do extrémních podmínek otěruvzdornosti použít přímo návar na bázi WC. Některé zvažované typy plněných elektrod popsány níže.

3.6.1 Trubičkový drát F-Durit G [58]

Speciální trubičkový drát pro navařování elektrickým obloukem metodou MOG. Je plněný spékáním wolfram-karbidem. Návar je tvořen martenzitickou maticí s vloženým wolfram-karbidem. Lze jej obrobit pouze broušením. Navařovat lze oceli s obsahem uhlíku max. 0,45 %. Je důležité nepřekračovat maximální povolené svařovací parametry, aby nedocházelo k rozpadu wolfram-karbidových zrn.

Uplatnění nachází v keramickém průmyslu, při zpracování písků a minerálů, u dopravních šneků, při dolování hornin a u dílů vystavených vysoké abrazii.

Tab. 11 Chemické složení svarového kovu [58]

Chemické složení [%]	
WC	Matrice C,Fe
60,0	40,0

Tvrdost navařeného kovu v první vrstvě je ve 40% Matrice C, Fe 64 HRC a v 60% WSC - 2400 HV.

3.6.2 Trubičkový drát F EH Cr 61 [58]

Vysokolegovaný trubičkový drát s vlastní ochrannou atmosférou pro navařování elektrickým obloukem metodou MOG. Výhodou je vysoká výtěžnost návarového kovu.

Komplexní karbidy chromu vložené do nadeutektické legované ledeburické matrice. Navařený kov vykazuje vynikající odolnost vůči abrazivnímu opotřebení a to zejména proti minerálům a písku. Návarové housenky lze klást bez rozkvy. Výsledný návar lze opotřebit pouze broušením. Na povrchu vzniknou trhliny, které jsou vzniklé složením materiálu, ale nijak nesnižují ořezuvzdornost a vlastnosti navařeného kovu.

Tento přídatný materiál se používá pro mlecí a drtící válce, zemní stroje, rošty, mlecí desky, betonárny, cementárny, cihelny. U komponentů s požadavkem na vysokou odolnost vůči abrazi, jako jsou například dopravníky na horkou strusku. Ocelářský průmysl, zpracování minerálů a hornin. Vysoce odolné pancéřování pro vyšší teploty.

Tab. 12 Chemické složení svarového kovu [58]

Chemické složení [%]			
C	Cr	Nb	B
5,40	22,0	7,0	1,0

Tvrlost navařeného kovu je ve druhé vrstvě: 63 - 65 HRC.

3.6.3 Trubičkový drát MF A 760 M [58]

Jedná se o středně legovaný trubičkový drát pro navařování elektrickým obloukem metodou MAG, s kovovou/bazickou náplní, který netvoří strusku. Nepoužívá se pro dostavbu materiálu, pouze jako vrstvy odolné proti opotřebení. Houževnatý návarový kov, který je vysoce odolný proti trhlínám, odolný proti otěru při současném zatížení silnými rázy a šoky. Teplota interpass nesmí překročit 250°C. Návary lze strojně obrábět pouze nástroji se speciálními řeznými destičkami nebo broušením. Návar je možné dále tepelně zpracovávat. Tvrlost je dosahována v první vrstvě a závisí na základním materiálu.

Používá se např. u dopravních ploch, zuby bagrů, rypadla, korečky, drapáky, lžíce, dopravní šneky, čelisti drapáků, drtiče atd..

Tab. 13 Chemické složení svarového kovu [58]

Chemické složení [%]				
C	Cr	Nb	B	Si
5,40	22,0	7,0	1,0	0,60

Tvrlost navařeného kovu ve druhé vrstvě je 63 - 65 HRC.

3.6.4 Trubičkový drát MF A 867 M [58]

Vysoce legovaný trubičkový drát s kovovou náplní s vlastní ochrannou atmosférou, netvoří strusku, pro navařování elektrickým obloukem metodou MOG. Je možné ho použít pro metodu MAG se směsí plynu Ar-CO₂. Výhodou je vysoká výtěžnost.

Jedná se o nový typ materiálu legovaný borem, kde matici tvoří směs cementitu a ledeburitu s karbidy chromu a boru. S vozenými jehlicemi boridů má při vysoké tvrdosti vynikající ořezuvzdornost a odolnost vůči všem typům abraze i vyšších teplotách.

Během svařování je snadné ovládání svarové lázně, kov neteče tak hustě jako materiály na bázi vysokého uhlíku a chromu. Netvoří se karcinogenní zplodiny chromu. Návarové housenky lze klást bez rozkvy. Návar lze obrobit pouze broušením. Trhliny na povrchu návaru jsou dány složením materiálu, ale nesnižují ořezuvzdornost a vlastnosti návaru.

Uplatnění nachází v těžebním, důlním a ocelářském průmyslu, u těžkých stavebních a zemědělských strojů, cementárny, cihelny. U dílů a komponentů s požadavkem na vysokou odolnost proti abrazivnímu opotřebení.

Tab. 14 Chemické složení svarového kovu [58]

Chemické složení [%]				
C	Cr	Mn	B	Si
1,80	8,10	0,80	4,20	0,6

Tvrdost navařeného kovu typická pro druhou vrstvou je 62 – 70 HRC.

3.6.5 Vyhodnocení volby přídatného materiálu pro návar

Při volbě přídatného materiálu pro navařování se vycházelo z materiálových listů. Z důvodu očekávané největší otěruvzdornosti, byl vybrán trubičkový drát **F-Durit G**, plněný spékaným WC, kde výsledný návar je tvořen martenzitickou maticí s vloženými WC. Cenová hladina WC materiálů je vyšší než obvyklých návarových materiálů, ale životnost takto provedených vrstev a užitná hodnota, vysoce převyšuje životnost obvyklých materiálů na bázi vysokých obsahů C, Cr a dalších legujících prvků.

4 VÝBĚR METODY NAVAŘOVÁNÍ, STANOVENÍ PODMÍNEK

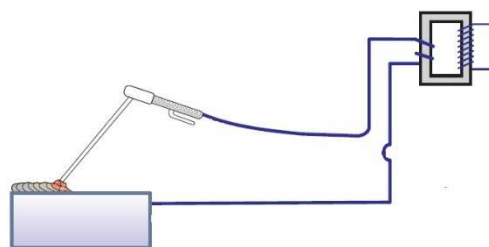
Metod vhodných k navařování tvrdokovů je mnoho. Zohlednili jsme výběr vhodné technologie k aplikacím na mísič slévárenského písku, včetně použitého návaru wolfram-karbidy.

4.1 Navařování obalenou elektrodou - 111 [3]

Navařování ručně elektrickým obloukem s obalenými elektrodami je určeno převážně na vytváření antikorozních návarů a speciálních tvrdonávarů u povrchů vystavených mechanickému opotřebení. Výhodné je navařování relativně malých ploch, různých tvarovaných přechodů a prostorově komplikovaných tvarů.

Je důležité použití předepsaných elektrod, zejména u návarů, které je nutno navařit jako dvojvrstvové nebo více průchodové.

Používají se elektrody s bazickým nebo rutilovým obalem. Elektrody se suší při 100°C/h a 350°C/2h. U tvrdonávarů je nutné navařovat krátkými housenkami, maximálně 50 mm, kdy se doporučuje rovné vedení bez rozkvyvu. Při navařování vzniká tzv. studená struska, která má vliv na propal legujících prvků. Kvůli snížení teplotního rozdílu mezi místem navařování a materiálem se místo navařování předehřívá, z důvodu prodloužení doby tuhnutí a vyrovnání tepelných roztažností materiálu a návaru. Dohřev se provádí buď v peci, nebo zábalu, zásypu. U některých typů návarů je nutné závěrečné tepelné zpracování.



Obr. 22 Ruční navařování obalovanou elektrodou [1]

4.2 Navařování ručně plamenem - 311 [3]

V dnešní době se navařování plamenem používá pro navařování menších detailů tvrdými slitinami a materiálů se specifickými vlastnostmi. Hlavní oblast použití se soustřeďuje kolem navařování tvrdonávarů a oblasti renovací opotřeбенých dílců. Dosažení velice tenké návarové vrstvy, téměř bez promísení, je hlavní předností. Navařovaný materiál je přidáván ve formě prášku nebo tyčinky. Je důležité předem pečlivě očistit a tvarově upravit povrch navařovaného dílu tak, aby neměl žádné ostré hrany, které by se snadno odtavily a s návarovým kovem lehce promíchaly. Navařované drážky musí být mělké a hrany zaoblené. Je vhodné navařované díly předehřát na teplotu kolem 400°C, rozměrnější díly na teplotu vyšší, kdy předehřev brání praskání návaru. Plamen se nastavuje s přebytkem acetyleny. Nevýhodou navařování plamenem je poměrně malá produktivita navařování. Při nedodržení technologie navařování pórovitost návaru, při správném nastavení hladký povrch bez nerovností.

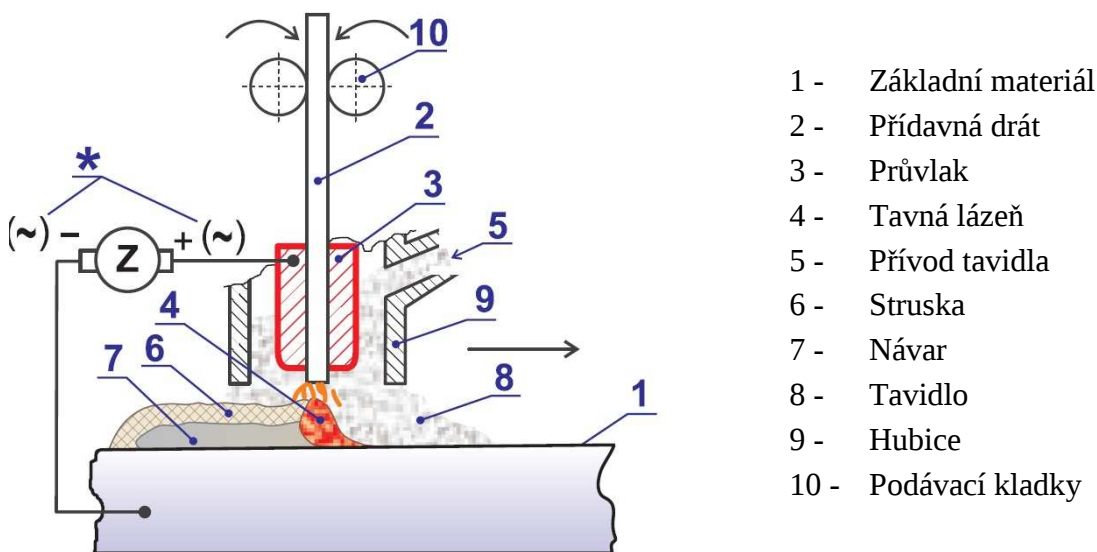


Obr. 23 Navařování plamenem [27]

4.3 Navařování automatem pod tavidlem - 12

4.3.1 Navařování plným drátem - 121 a plněnou elektrodou - 125 [3]

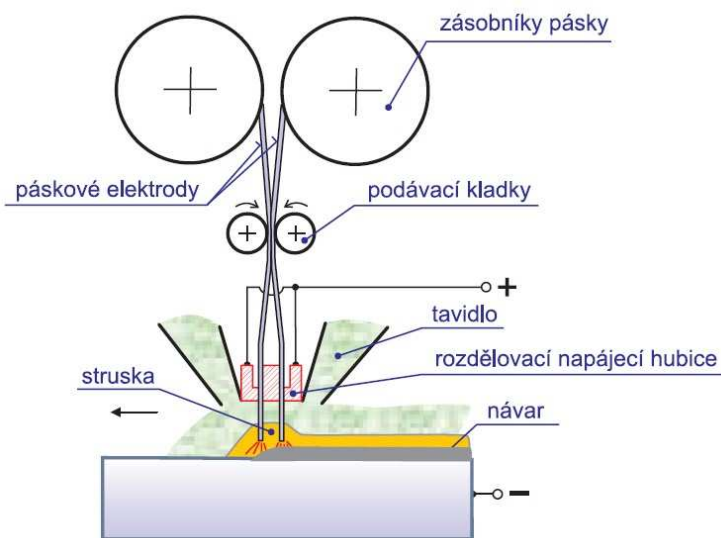
Metoda využívá elektrického oblouku hořícího pod vrstvou tavidla, vyznačuje se velice stabilním procesem navařování přídatného kovu. Hrozí vznik podnávarových trhlin, kvůli velkému promíchání základního materiálu. U ploch, které jsou větších rozměrů a geometricky málo nebo příznivě členité, navařování probíhá převážně ve vodorovné poloze shora. Poté je umožněno strojní vedení navařovacího procesu. Pro lineární posuv se používá buď traktor, který pojíždí po kolejkách nebo příčnících anebo portálem či výložníkem. Při navařování je nutné počítat s nerovnoměrným formováním navařeného povrchu a také s dosahováním nerovnoměrných hloubek průvarů jednotlivých housenek. Velké využití nachází u navařování antikorozních návarů.



Obr. 24 Navařování automatem pod tavidlem[1]

4.3.2 Navařování páskou - 122 a plněnou páskou - 126 [3]

Stejně jako při navařování drátem, také pod tavidlem, jen s páskou namísto drátu. Lze dosáhnout podstatně větší rovnoměrnosti povrchu návaru i s malinko menším promísením návarového kovu se základním materiálem. Používá se stejné zařízení, podtavidlové automaty, jen dodatečně vybavené hubicí, speciálně upravenou pro vedení podávané navařovací pásky. Navařování se provádí také ve vodorovné poloze shora a to hlavně u ploch, které jsou větších rozměrů a geometricky méně členité. Podmínkou je, aby byl relativní pohyb



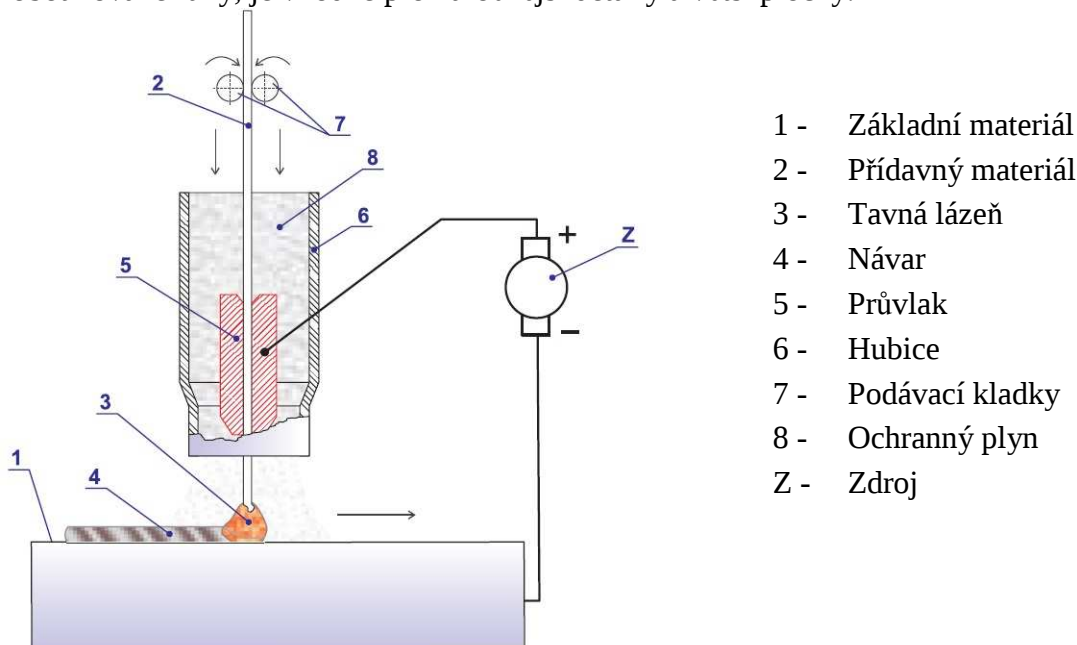
Obr. 25 Navařování automatem pod tavidlem páskami [1]

navarovací hlavy oproti navařovanému povrchu rovnoměrný, ať už je lineární nebo otáčivý, což umožňuje právě strojní vedení navařovacího procesu. Traktorem poježdějícím na kolejkách nebo na závěsné dráze jsou prováděny návary. Navařovací automat může být také unášen portálem nebo výložníkem.

4.4 Navařování v ochranných atmosférách aktivních plynů – MAG 135 [3]

Velký pokrok ve vývoji moderních zdrojů a zařízení pro svařování metodou MIG/MAG, které mají modulovaný přenos svarového kovu i programovatelný vlastní proces svařování, umožňuje využití této metody pro navařování. Nově vyvinuté typy přídatných drátů se u této metody příznivě uplatňují a to včetně trubičkových. Proces navařování výrazně ovlivňuje také vývoj ve výzkumu působení a využívání různého složení směsných plynů. Dlouhodobými zkouškami je zjištěné optimální složení, které je plněním zajištěné. To následně umožňuje kladně ovlivňovat vlastnosti navařeného kovu, dosahovat vysoké stability obloukového procesu a co nejhomogennější vrstvy navařeného kovu bez vzniku pórů.

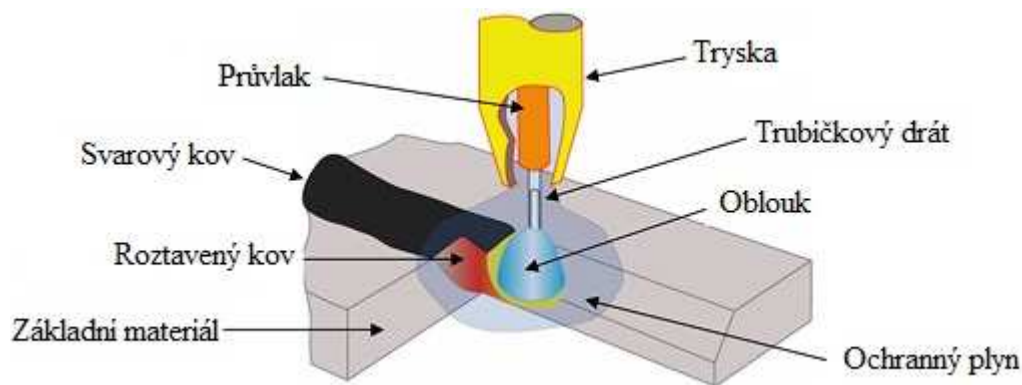
Této metody v ruční aplikaci pro navařování se využívá spíše pro menší a členité plochy, kvůli poměrně velkému množství natavené plochy. Strojní vedení, případně použití robotizované ruky, je vhodné pro náročnější detaily a větší plochy.



Obr. 26 Navařování v ochranných atmosférách aktivních plynů – MAG [1]

4.4.1 Obloukové svařování plněnou elektrodou metodou - 138 (FCAW) [52], [55]

Svařování trubičkovým drátem je pokud jde o práci a zařízení velmi podobné jako svařování MIG/MAG. Místo plného drátu nebo elektrody se používá trubičkový drát. Stejně jako u MIG/MAG závisí i tato metoda na ochranném plynu, který chrání svarovou oblast roztaveného kovu. U této metody je trubičkový drát určen pro svařování v ochranné atmosféře, kdy se plyn dodává samostatně. Kromě ochranného plynu produkuje trubičkový drát strusku, která slouží jako ochrana během chladnutí svarového kovu a poté je z povrchu odstraněna.



Obr. 27 Proces svařování plněnou elektrodou metodou 138 (FCAW) [18]

4.4.2 Obloukové svařování plněnou elektrodou s vlastní ochranou - 136 (MOG) [52], [55]

Jedná se o metodu tavného svařování plněnou elektrodou neboli svařování trubičkovým elektrodou, kdy je drát plněný tavidlem nebo látkou, která chrání svarovou lázeň podobně jako ochranný plyn. Náplň některých drátů může být navržena, tak že se při svařování rozkládají její přísady a vzniká vlastní ochranná atmosféra a samostatný přívod plynu není nutný. Práce a zařízení je pro svařování trubičkovým drátem podobná jako při svařování MIG/MAG. Jako ochranu při chladnutí svarového kovu vytváří trubičkový drát i strusku, která se po svařování z povrchu svarového spoje odstraní.

Velký přínos trubičkových drátů můžeme pozorovat ve zvýšené kvalitě provedeného svarového spoje, což je způsobeno, jednak profilem průvaru, tak klidnější průběhem hoření oblouku, menší vnesené teplo do svařence a od toho odvíjející se hodnoty propalu a rozstříku. S tím souvisejí kvalitnější mechanické vlastnosti ve svarovém kovu i v přechodové oblasti tepelně ovlivněné zóny, kde jsou vyloučeny deformace a prnutí ve svařenci.

Použití trubičkových drátů má menší spotřebu elektrické energie na provedení svarového spoje. Následkem vyšší proudové hustoty u trubičkových drátů, je potřeba při stejně nastaveném svařovacím proudu výrazně zvýšit posuv drátu oproti plným drátům. Při použití trubičkových drátů se dosahuje také menší spotřeby elektrické energie.

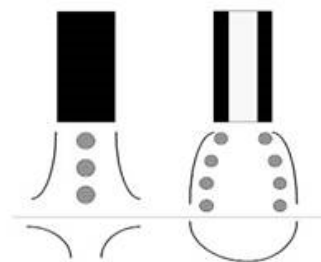


Obr. 28 Trubičkové dráty [12], [14]

Rozdíl hoření oblouku u plného a trubičkového drátu

U plného drátu je proud vedený jeho průřezem, přenos nastává po kapkách, způsobuje turbulenci ve svarové lázni, vytváří trojúhelníkový až prstencovitý průvar.

U plněného drátu je proud vedený přes prstencový průřez vnějšího pláště. Značný odpor pro průchod proudu představuje prášek uvnitř trubičky. Tento fyzikální jev vede k výrazně větší proudové hustotě plněného drátu. Ta má výrazný vliv na



Obr. 29 Rozdíl v přenosu kovu [55]

vytvořený oblouk při svařování plněným drátem. Tvoří se bezrozstříkový sprchový proud s typickým přechodem materiálu ve formě jemných kapek. Následkem toho, že kapky jsou na vnější straně plněného drátu odděleny, vzniká širší oblouk, který vytváří široký profil závaru. Průvar bývá obloukového až čtvercového tvaru. Čím tenčí je vnější ocelový plášť plněného drátu, tím větší rozdíl mezi výkonem odtavení.

Základní výhody plněných drátů při navařování

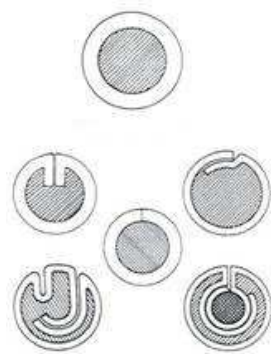
- Hlubší závar
- Větší množství nanesení navařeného kovu
- Malá náchylnost ke tvorbě pórů
- Malý rozstřík
- Vyšší výkon odtavení
- Bezpečné natavení svarových ploch, které zaručuje snížení náchylnosti na vznik studených svarů
- Hladký povrch návaru, bezvrubé přechody
- Vysoká odolnost proti tvorbě trhlin
- Bezrozstříkový kapkový přenos
- Vysoká stabilita procesu
- Návary nejvyšší kvality
- Možnost použití mikrolegujících prvků

Rozlišujeme dva základní nejpoužívanější typy trubičkových drátů:

- Falcované se švem (př. z experimentu Durit G)
- Svařované bezešvé (př. z experimentu MF 760M, MF 760 M)

Falcované trubičkové dráty mohou z okolního prostředí nabrat vlhkost podobně jako je tomu u obalených elektrod, proto se doporučuje po 72 hodinách, kdy opustí sklad nebo originální balení je přesušit, podobnými hodnotami jako obalené elektrody, čímž se eliminuje vyšší hodnota difuzního vodíku ve svarovém spoji.

Bezešvé trubičkové dráty jsou po celé délce uzavřené a není nutné je přesušovat, proto jsou také poměděné, kdy je lze protáhnout mořicí lázní, což u falcovaných trubičkových drátů není možné.



Obr. 30 Různé typy trubičkových drátů [55]

Porovnání švových a bezešvých trubičkových drátů

- | Švové | Bezešvé |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> • Slabší plášť trubičky – menší tuhost trubičky • Nutno přesušit při delší skladování • Nelze pomědit • Vyšší nároky na vedení – čtyřkladková mechanika, speciální kladky pro trubičky • Vyrábí se od $\varnothing$ 1,2 mm | <ul style="list-style-type: none"> • Silnější plášť trubičky – větší tuhost trubičky • Není nutné přesušovat • Poměděné, leštěné • Žíhané uklidněné • Vyrábí se od $\varnothing$ 1,0 mm • Spolehlivě vede dvoukladková mechanika – dobrý průchod bowdenem |



Obr. 31 Řez falcovanou trubičkou se švem [42]



Obr. 32 Řez bezešvou svařovanou trubičkou [42]

Bezešvé plněné dráty pro tvrdonávary - způsob výroby

Z výchozího materiálu „nekonečného“ pásu o tloušťce 2 mm a šířce 50 mm, se vysokofrekvenčním svařováním vyrobí trubička. Vzniklá svařená trubička se používá jako polotovar pro výrobu všech typů trubičkových drátů. Vnější průměr má 13 mm, tloušťka 2 mm. Po naplnění se táhnou průměry 1,0 1,2 1,6 mm pro FCAW dráty a případně 2,4 3,2 a 4,0 mm pro SAW dráty. Po rekrytalizačním žíhání se trubička plní na vibračním zařízení nahromaděným plnivem - kovovým práškem. Při setřásání prášku dochází současně k jeho zhutnění. Následně proběhne protahování polotovaru na žíhací průměr. Během tepelného zpracování je plášť žíhán na měkko. Trubička je ve více krocích tažena na požadovaný konečný průměr. Vícenásobně čištěna a nakonec poměděna a leštěna.

Plněné dráty vyrobené touto metodou jsou zcela chráněny proti navlhavosti, použitelné bez přesušování. Díky tomu, že obal je hebký, dráty se nekrotí a umožňují plynulé podávání i dvoukladkovým podavačem.

Kovová náplň drátu – prášek je směsí více komponent a obsahuje mimo jiné stabilizátory elektrického oblouku pro dosažení jeho vysoké stability, legující prvky, stejně jako i mikro-legury pro zlepšení kvality svarového kovu efektem tvorby zárodků. Poslední jmenovaný umožňuje jemnozrnnou strukturu svarového spoje.

Současné trubičkové dráty se dodávají se struskou nebo bez strusky.

4.4.3 Vyhodnocení volby metody navařování

Pro navařování byla nakonec zvolena technologie FCAW, buď plněná elektroda s kovovou náplní v ochranné atmosféře aktivního plynu (metoda 138) nebo plněná elektroda s vlastní ochranou (metoda MOG). Z výše pospaných hledisek a výhod byly zvoleny plněné elektrody z důvodu lepšího namíchání jednotlivých přísad (legur) do kovové náplně, včetně prášku (zrn) wolframkarbidu. Rovněž tvárnost (ohebnost) plněné elektrody oproti plnému drátu je lepší. Obecně pro navařování WC není vhodný plný drát, z důvodů daných tvrdostí a možnostmi WC jsou těžko vyrobitelné.

4.5 Stanovení podmínek navařování WC

Samotný proces navařování je důležitý faktor, který může výrazně ovlivnit strukturu a výslednou tvrdost. Hlavně svařovací parametry, teploty přehřevu, teploty interpas a chladnutí návaru mají na výsledný návar velký vliv.

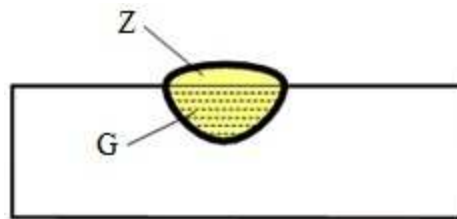
4.5.1 Promíšení základního materiálu s přídatným materiálem [25], [32], [40]

K promíšení svarového kovu dochází při tavném svařování, kdy se svařovaný materiál promísí se základním materiálem. Jedná se o „znehodnocení“ svarového kovu základním

materiálem. Míra promíšení závisí na metodě svařování. Ze zkušebního vzorku, který je příčně nařezán a vybroušen, lze spočítat vzájemné promíšení. Výsledná hodnota se udává v %.

$$V = \frac{G}{G+Z} \cdot 100 \% \quad (4.1)$$

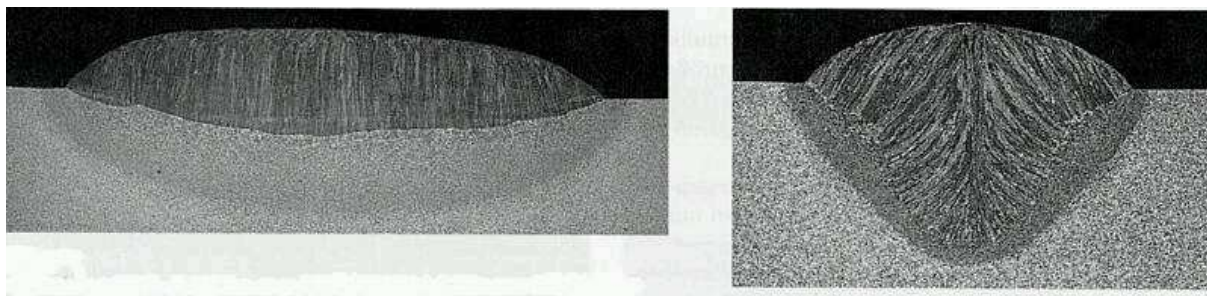
Kde: V – výsledné promíšení [%]
 Z – oblast návaru
 G – oblast natavení



Obr. 33 Znázornění výpočtu promíšení [19]

Faktory ovlivňující promíšení:

- Svařovací rychlost: Malá rychlost – vysoké promíšení
 Vysoká rychlost – malé promíšení
- Svařovací polarita: DC (-) malé promíšení
 AC střední promíšení
 DC(+) vysoké promíšení
- Tepelný příkon: Malý – malé promíšení
 Vysoký – vysoké promíšení
- Technika svařování: Tahové housenky – malé promíšení
 Svařování s rozkyvem – vysoké promíšení
- Poloha svařování: Svislá nahoru – vysoké promíšení
 Vodorovná shora, svislá dolů – nízké promíšení
- Počet vrstev: Se stoupajícím počtem vrstev promíšení klesá
- Typ svarového kovu: Přelegované svarové kovy jsou méně citlivé na promíšení
- Výlet drátu: Dlouhý výlet – menší promíšení



Obr. 34 Rozdíly v promíšení páskou a drátem [19]

Tab. 15 Porovnání promíšení [19]

Plněná páska		Plný drát	
Rozměr:	19 mm x 1 mm	Průměr:	4 mm
Proud:	700 A	Proud:	700 A
Napětí:	26 V	Napětí:	32 V
Rych. navařování:	30 cm/min	Rych. navařování:	60 cm/min
Promíšení:	32 %	Promíšení:	63 %

Tab. 16 Promíšení návaru se základním materiálem [19]

Metoda	Promíšení [%]	Počet vrstev	Tloušťka [mm]
Navařování plamenem	3 - 5	1 – 3	3
Ruční obalenou elektrodou	10 - 30	2 - 4	3 - 6
TIG – navařování	7 – 15	1 – 3	3
MIG – navařování	13 – 30	2 – 4	6
MAG - navařování	25 - 45	3 – 5	6
Pod tavidlem- jeden drát	30 - 50	3 - 4	10
Pod tavidlem - páska	8 - 20	1 - 3	4 - 6
MOG - trubičky s vlastní ochrannou	20 - 40	2 - 3	4 - 8

4.5.2 Svařovací parametry [8], [20], [25], [26]

Svařovací napětí

Potenciální rozdíl mezi drátem elektrody a povrchem svarové lázně představuje napětí na oblouku. Mění se v závislosti na délce oblouku. Napětí má výrazný vliv na šířku svarové housenky, ale hloubku závaru příliš neovlivňuje. Napětí se nastavuje přímo na svařovacím zdroji, obecně platí nastavené hodnoty napětí:

$$U = 15 + 0,035 \cdot I \text{ [V]} \quad (4.3)$$

Kde: U – napětí při svařování [V]
I – svařovací proud [A]

K dosažení optimálních podmínek samoregulace délky oblouku a ustálení pracovního bodu, má napětí na oblouku výrazný vliv.

Napětí má vliv na kontrakční účinky, které ovlivňují tvar i rozměry oblouku a může se měnit jen v omezeném rozsahu a má významný vliv na typ přenosu kovu v oblouku.

Vliv napětí na přenos kovu v oblouku s ohledem na použitý plyn:

- Napětí mezi 14 až 21 V, odpovídá zkratovému přenosu v oxidu uhličitým i ve směsných plynech.
- Při napětí nad 21 V, probíhá částečný bezzkratový přenos.
- Napětí mezi 22 až 27 V, odpovídá ve směsi plynu bezzkratovému přenosu kovu a u oxidu uhličitého nastává částečně zkratový přenos s velkými kapkami.
- Při napětí nad 27 V, probíhá ve směsi plynu sprchový přenos.

Při nadměrně vysokém napětí se zvyšuje délka oblouku a propal prvku, zvětšuje se rozstřík a svary jsou náchylnější na pórovitost. Svarová lázeň je široká, mělká a vzniká nebezpečí předbíhání svarové lázně před oblouk.

Nízké napětí bývá příčinou nestabilního procesu, především při vysokých rychlostech svařování se tvoří úzké housenky s velkým převýšením. Za nízkého napětí nedochází k dokonalému natavení svarových hran a při vícevrstevném svařování dochází k výskytu studených spojů.

Svařovací proud

Svařovací proud má na charakter přenosu kovu při svařování a tvar housenky největší vliv. Proudová hustota, svarové lázně, součinitel roztavení a odtavovací výkon se vzrůstající teplotou rostou.

Za konstantního napětí na oblouku nastává při zvyšování proudu výrazný růst hloubky závaru s poměrně malým růstem šířky housenky i převýšení.

Charakter přenosu kovu v oblouku lze svařovacím proudem výrazně ovlivnit:

- S rostoucím proudem roste frekvence kapek kovu.
- Intenzita proudu podle složení ovlivňuje síly, které působí na kapky kovu.
- U běžných typů přenosu se s rostoucím proudem zmenšuje objem kapek.

Předběžně se proud před začátkem svařování nastavuje dle zkušeností nebo tabulek. Hodnota proudu roste se vzrůstajícím průměrem elektrody.

Menší průměr drátu je z hlediska kvality svaru výhodnější, protože produkuje větší množství drobných a kvalita povrchu svarových housenek je velmi dobrá. Z hlediska směrové stability výletu drátu a ekonomických nákladů je výhodnější větší průměr drátu, protože z důvodu snížení počtu tahů vzniká úspora ve spotřebě drátu. Toho je možné využít u pulzního svařování, kdy rozměr kapek je řízen vlastním procesem svařování.

Rychlost svařování

Rychlost svařování udává délka svarové housenky za jednotku času [m/min].

Na požadavku kvality svarového spoje, zručnosti svářeče, druhu a průměru elektrody a poloze svařování závisí volba rychlosti svařování.

Při malé rychlosti svařování se vytváří převýšená housenka, přehřívá se základní materiál, vznikají velké pnutí a velké deformace, obecně hrozí možnost předbíhání strusky a tím vznik struskových vměstků.

Při velké rychlosti svařování vzniká úzká housenka, natavené základního materiálu je malé, tavná lázeň rychle tuhne a mohou vznikat studené spoje i plynové dutiny.

Vnesené teplo

U mnoha ocelí je potřeba kvůli možnému vzniku trhlin nebo zakalení zabránit náhlému ochlazení ze svařovací teploty. V závislosti na druhu a tloušťce materiálu, a tepelném příkonu, se může vyžadovat předehřev a udržování vyšší nebo nižší teploty

interpas. Tepelný příkon, který ovlivňuje teplotně časový cyklus vznikající během svařování, má také významný vliv na vlastnosti svarů v průběhu svařování. Musí se zvolit tak, aby vyhovoval metodě svařování.

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} \text{ [kJ/mm]} \quad (4.3)$$

Kde: Q – množství vneseného tepla přivedeného do svarového spoje na jednotku délky svaru [kJ/mm]
 k – koeficient tepelné účinnosti metody svařování
 v – rychlost svařování [mm/s]

Tab. 17 Koeficient tepelné účinnosti vybraných metod svařování [26]

Č. metody	Metoda svařování	Koeficient k
121	Svařování pod tavidlem drátovou elektrodou	1,0
111	Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou	0,8
135	Obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu; MAG svařování	0,8
136	Obloukové svařování tavidlem plněnou elektrodou v aktivním plynu	0,8
138	Obloukové svařování kovem plněnou elektrodou v aktivním plynu	0,8

4.5.3 Předehřev [3], [26]

Předehřev je ohřev materiálu před svařováním na požadovanou (vypočtenou) teplotu. Předehřevem při svařování lze výrazně přispět ke zvýšení kvality svarového spoje. Předehřevem je možné snížit tepelný spád a snížit hladinu vnitřních pnutí.

Rychlost ochlazování svarového spoje v TOO a tím i výsledná struktura ve sledovaném místě se řídí pomocí předehřevu, který lze do jisté míry nahradit v návaznosti na svařovanou tloušťku tepelným příkonem. Výše teploty předehřevu je limitována teplotou interpasu, která by měla zabránit nadměrnému zhrubnutí zrna v TOO a stabilizaci austenitu v pásmu jeho nejvyšší stability. Prakticky pokud je nutný předehřev, svářeč nesmí začít svařovat bez předehřátí svaru. Nejčastěji plamenem nebo elektricky nebo indukci či v peci.

Chemické složení základního materiálu je potřebné k určení teploty předehřevu, kterou určuje hlavně obsah uhlíku v základním materiálu a obsah legujících prvků. Čím vyšší je obsah uhlíku v základním materiálu, tím vyšší je teplota potřeba k předehřevu.

Tloušťka stěny svařence a jeho rozměry mají také velký vliv na teplotu předehřevu, která roste s rostoucími rozměry a tloušťkou stěny.

Teplotu předehřevu lze měřit pomocí termočlánku, termokříd, pyrometrů apod..

Jednovrstvé a vícevrstvé svařování

Po převáření první housenky druhou housenkou, je TOO od první housenky znovu tepelně zpracována, tj. oblast je vyžihána druhou housenkou. V případě navaření třetí housenky je oblast znovu žihána, což je z hlediska snížení napjatosti výhodné. Při navařování krycí housenky s převýšením můžeme tuto housenku hodnotit jako „žihací“, tj. po opracování povrchu s převýšením housenky obdržíme svarový spoj s podstatně sníženou hladinou pnutí.

Při vícevrstvě svařování dochází tedy k žihání a tím snížení již navařené housenky další housenkou.

Výpočet přehřevu podle Seferiana:

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{C_p - 0,25} \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.5)$$

Kde: T_p - teplota přehřevu [$^\circ\text{C}$]

$$C_c = \frac{360 \cdot C + 40 \cdot (\text{Mn} + \text{Cr}) + 20 \cdot \text{Ni} + 28 \cdot \text{Mo}}{360} \quad (4.6)$$

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_c \quad (4.7)$$

$$C_p = C_s + C_c \quad (4.8)$$

s - tloušťka materiálu [mm]

Výpočet přehřevu podle Ita a Bessya:

$$T_p = 1440 \cdot P_W - 392 \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (4.9)$$

$$\text{Kde: } P_W = P_{CM} + \frac{H}{60} + \frac{K}{40 \cdot 10^4} \quad (4.10)$$

$$P_{CM} = C + \frac{\text{Si}}{30} + \frac{\text{Mn}}{20} + \frac{\text{Cu}}{20} + \frac{\text{Cr}}{20} + \frac{\text{Ni}}{60} + \frac{\text{Mo}}{15} + \frac{\text{V}}{10} + 5B \quad (4.11)$$

$$K = K_0 \cdot s \quad (4.12)$$

H - obsah difuzního vodíku, stanovený glycerinovou zkouškou [ml/100g]

K - intenzita tuhosti spoje

K_0 - koeficient, pro tupý spoj $K_0 = 69$ ($K_0 = 66$)

4.5.4 Interpas, dohřev, chladnutí v zábalu [7], [26]

Teplota interpas udává teplotu vícevrstvého svaru a přiléhajícího základního materiálu těsně před aplikací další svarové housenky. Zpravidla se udává jako maximální teplota. Při svařování uhlíkových feritických ocelí je běžně předepisovaná interpas teplota stejná jako teplota přehřevu. Překročení teploty interpas může nepříznivě ovlivnit mechanické vlastnosti. S vysokou teplotou interpas hrozí u feritických ocelí pokles meze kluzu i meze pevnosti. Prakticky svářeč před zahájením svařování další housenky (vrstvy) musí počkat, až teplota svaru klesne pod teplotu interpas.

Použití dohřevu svarových spojů se doporučuje při možném, vodíkem indukovaném praskání. Čas, po který může vodík difundovat ze svaru ven, se dohřevem prodlouží. Výdrž na minimální teplotě interpas nebo ještě předtím než teplota svaru vychladne pod minimální teplotu interpas, zvýšení teploty na 200 až 300 $^\circ\text{C}$. Tloušťka stěny svařence určuje dobu výdrže na této teplotě. Při větších tloušťkách materiálu se doporučuje teplota dohřevu na horní hranici a prodloužení doby ohřevu.

Účelem chladnutí v izolačním zábalu je snížení rychlosti ochlazování, čímž se dosáhne rovnoměrnější struktury. Na vzduchu svarový kov chladne rychlostí 100 $^\circ\text{C/h}$, v izolačním zábalu se rychlost chladnutí pohybuje kolem 60 $^\circ\text{C/h}$.

4.5.5 Závěrečné stanovení podmínek pro zvolenou technologii navařování

Při obloukovém navařování metodami MIG/MAG/MOG, jsou přídatné materiály vyráběny ve formě plněných trubičkových drátů a je nutné dodržovat nízké svařovací parametry. Tyto parametry je nutné nastavit tak, aby oblouk hořel ve zkratovém režimu. Při navařování s vyšším výkonem uložení návarového kovu, a tím při vyšších svařovacích hodnotách nastává sprchový přenos návarového kovu – ve sprchovém přenosu je delší

elektrický oblouk, který má výrazně vyšší teplotu a zrna WC se během přechodu přes něj mohou vlivem vysokých teplot rozpadat na wolfram a uhlík. Tím se naleguje matrice uvedenými prvky, ale nedosáhne se požadovaných vlastností, které mají zrna wolframkarbidu. Svařovací hodnoty pro plněnou elektrodu o **průměru 1,6 mm** se pohybují v rozmezí **$I = 180 - 230 \text{ A}$** a **$U = 24 - 26 \text{ V}$** . **Zdánlivě nízké hodnoty pro tento průměr je nutné dodržovat.** Nižší hodnoty platí také pro ruční navařování obalenými elektrodami, i když u této metody při nastavení vyšších hodnot dochází k výraznému ohřevu elektrody a je hned vidět, že proudové hodnoty se musí snížit. Pro orientaci hodnoty pro průměr elektrody 4,0 mm = přibližně 110 A. Neplatí zde tedy obecné doporučení, kdy na 1 mm průměru elektrody je potřeba 40 A.

5 PROVEDENÍ A VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Všechny tři vzorky byly navařeny na zvolený materiál S355JR plněnými elektrodami o průměru 1,6 mm, na svařovacím zařízení EWM PHOENIX 500 Expert TG, se 4-kladkovým podavačem drátu, ochranným plynem Stargon C18 (80% Argonu a 18% CO₂).

První vzorek 1.1.1 byl proveden z důvodu určení typu návaru. U druhého vzorku 1.1.2 byly dodrženy výše popsané parametry navařování pro WC. U třetího vzorku 1.1.3 byl úmyslně překročen povolený proud a vnesené teplo při navařování. Všechny vzorky, kvůli vystavení hran návaru byly navařeny v měděné (Cu) podložce.



Obr. 35 Svařovací zařízení EWM PHOENIX 500 Expert TG [57]

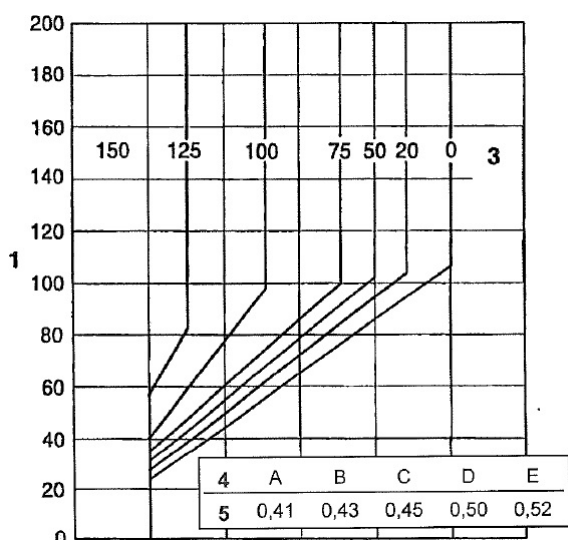
Výpočet přehřevu pro základní materiál:

$$CE = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} = 0,24 + \frac{1,6}{6} = 0,50$$

Tab. 18 Stupně obsahu vodíku [7]

Obsah difuzního vodíku (ml/100g svarového kovu)	Stupně obsahu vodíku
> 15	A
10 ≤ 15	B
5 ≤ 10	C
3 ≤ 5	D
≤ 3	E

Stupeň obsahu difuzního vodíku byl zvolen D.



Legenda:

- 1 Kombinovaná tloušťka [mm]
- 2 Tepelný příkon [kJ/mm]
- 3 Minimální teplota přehřevu [°C]
- 4 Stupeň obsahu vodíku
- 5 Použitelné pro hodnoty uhlíkového ekvivalentu nepřevyšující

Obr. 36 Podmínky pro svařování ocelí s definovanými uhlíkovými ekvivalenty [7]

Pro navařovaný základní materiál S 355JR, tloušťky 10 mm byl podle Seferiana vypočten přehřev:

$$C_c = \frac{360 \cdot C + 40 \cdot (Mn + Cr) + 20 \cdot Ni + 28 \cdot Mo}{360} = \frac{360 \cdot 0,24 + 40 \cdot 1,6}{360} = 0,417$$

$$C_s = 0,005 \cdot s \cdot C_c = 0,005 \cdot 10 \cdot 0,417 = 0,0208$$

$$C_p = C_s + C_c = 0,0208 + 0,417 = 0,4378$$

$$T_p = 350 \cdot \sqrt{C_p - 0,25} = 350 \cdot \sqrt{0,4378 - 0,25} = 151,67 \text{ }^{\circ}\text{C}$$

Z normy EN 1011-2 a výpočtu dle Seferiána byl vypočten přehřev 150°C (zaokrouhluje se, aby se to dalo změřit i termokřídami) ovšem z praxe víme, že tento základní materiál není nutné přehřívát. Vzhledem k praktickým zkušenostem aplikace tvrdokovových návarů na uhlíkové oceli se použití přehřevu doporučuje téměř vždy, hlavně z důvodu snížení pnutí v návaru a omezení praskání. Obecně se u tvrdokovů aplikuje přehřev ne ve vztahu k základnímu materiálu, ale k přídavnému materiálu (v tomto případě návaru WC).

Oproti tomu, speciálně u WC návarů jsem byl zvolen přehřev základního materiálu pouze 80 a 100°C. Hlavně z důvodu limitního vneseného tepla (proudového zatížení), které se vyšším přehřevem úměrně zvyšuje, do navařovaného dílu. U vzorku č. 1.1.3, jak bylo výše zmíněno, byl úmyslně zvýšen přehřev na 350°C, včetně nedodržení proudu a vneseného tepla, z důvodu překročení všech povolených parametrů navařování WC.

5.1 Navaření vzorků

Vzorek 1.1.1 byl zkoumán z důvodu určení typu návaru. Z výsledků tvrdosti, viz obr. 39, a chemického složení níže plyne, že tento vzorek nebyl dle požadavku navařen tvrdokovem, nýbrž austenickou nerezí (ER 307) konkrétně plným MIG drátem s označením S 4370, o průměru 1,6 mm. Navařovaly se rovné housenky, jedna vedle druhé. Parametry navařování si zdroj automaticky měnil v průběhu navařování, což bylo způsobeno vzdáleností hořáku od navařovaného materiálu.

Tab. 19 Podmínky navařování vzorku č. 1.1.1

Napětí U [V]	22 – 26
Proud I [A]	max. 200
Rychlost navařování v [cm/min]	10 – 18
Průtok plynu [l/min]	14 – 18
Přehřev [°C]	80°C
Teplota interpas [°C]	n/a
Dohřev [°C]	n/a

Vnesené teplo:

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{26 \cdot 200}{2,33} \cdot 10^{-3} = 1,65 \text{ kJ/mm}$$

U **vzorku 1.1.2** byla navařovaným materiálem plněná elektroda kovovým práškem WC F-Durit-G o průměru 1,6 mm. Navařovaly se rovné housenky, jedna vedle druhé. Parametry navařování si zdroj automaticky měnil v průběhu navařování, což bylo způsobeno vzdáleností hořáku od navařovaného materiálu. Při první housence cca. $I = 200 \text{ A}$ a $U = 20 \text{ V}$. Při sedmé housence $I = 153 \text{ A}$, $U = 22,1 \text{ V}$.

Tab. 20 Podmínky navařování vzorku č. 1.1.2

Napětí U [V]	20
Proud I [A]	200
Rychlost navařování v [cm/min]	27
Průtok plynu [l/min]	20 - 21
Předehřev [°C]	100
Teplota interpas [°C]	n/a
Dohřev [°C]	n/a

Vnesené teplo:

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{20 \cdot 200}{4,5} \cdot 10^{-3} = 0,71 \text{ kJ/mm}$$

U **vzorku 1.1.3** byl při navařování úmyslně překročen povolený proud a vnesené teplo. V průběhu navařování i po navaření vznikaly velké deformace, průhyb vzorku, materiál se upaloval po hranách. Při vysoké teplotě materiál nevrství, odkapává, kapičky odlétávají mimo požadovaný povrch.

Celkem byly na tento zkušební vzorek navařeny tři housenky. Parametry navařování se v průběhu procesu měnily, což bylo způsobeno vzdáleností hořáku od základního materiálu. Při první housence $I = 300 \text{ A}$ a $U = 29,1 \text{ V}$, při druhé housence $I = 234 \text{ A}$ a $U = 30,5 \text{ V}$ a při třetí housence $I = 243 \text{ A}$ a $U = 30,2 \text{ V}$.

Tab. 21 Podmínky navařování vzorku č. 1.1.3

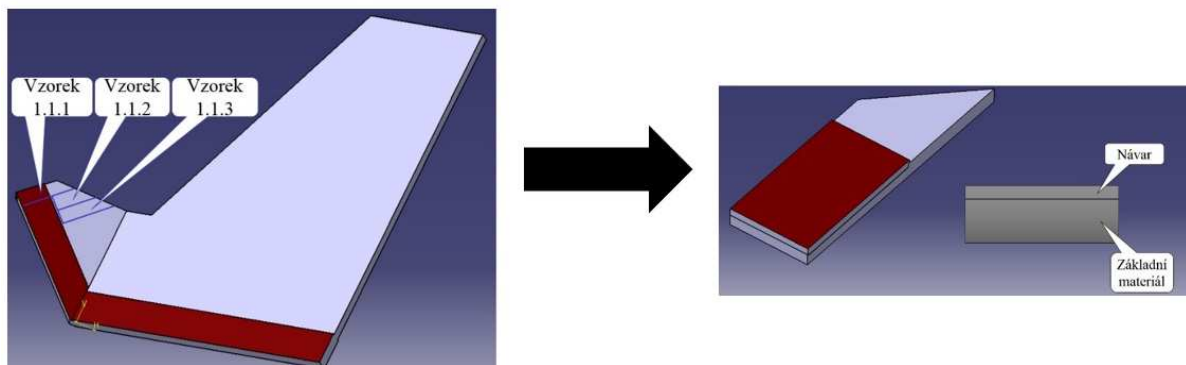
Napětí U [V]	29,1
Proud I [A]	300
Rychlost navařování v [cm/min]	27
Průtok plynu [l/min]	20 - 21
Předehřev [°C]	350
Teplota interpas [°C]	n/a
Dohřev [°C]	n/a

Vnesené teplo:

$$Q = k \cdot \frac{U \cdot I}{v} \cdot 10^{-3} = 0,8 \cdot \frac{29,1 \cdot 300}{4,5} \cdot 10^{-3} = 1,55 \text{ kJ/mm}$$

5.2 Odběr vzorků z mísiče

Vzorky byly z mísiče odřezány ruční kotoučovou pilou.



Obr. 37 Rozřezání vzorků z mísiče.

5.3 Vyhodnocení tvrdosti

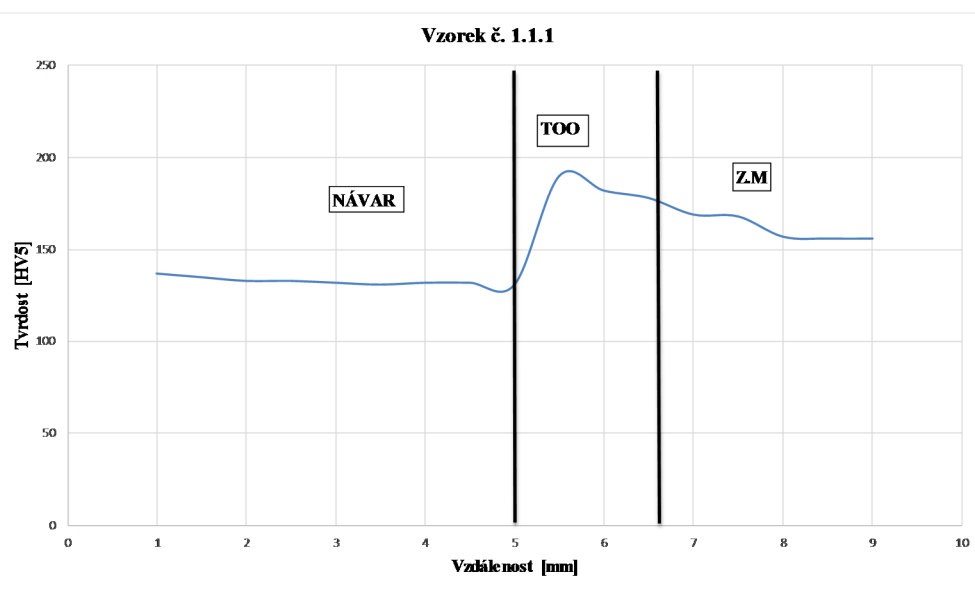
Tvrdot byla měřena na Ústavu strojírenské technologie na VUT v Brně na Vickersově tvrdoměru Zwick 3212, které je schopen měřit tvrdost v rozmezí HV0,2 až HV30. Tvrdoměr je propojen s PC. Povrch vzorku byl snímán přes objektiv opatřený CCD kamerou, která vtisky promítala na monitor, kde poté v softwaru testXpert byly měřeny délky úhlopříček jednotlivých vtisků a následně automaticky vypočítána hodnota tvrdosti. Tvrdot byla měřena na vzorcích z mikrostruktury a měřila se pomocí HV5 v základním materiálu, v tepelně ovlivněné oblasti a návaru. Na vzorku č. 1.1.1 bylo provedeno celkem 17 vtisků, ba vzorku č. 1.1.2 bylo měřeno 14 vtisků a na vzorku č. 1.1.3 bylo měřeno taktéž 14 vtisků. Rozestupy mezi jednotlivými vtisky byly 0,5 mm.



Obr. 38 Tvrdoměr Zwick 3212 [29]

Vzorek 1.1.1

Tvrdość na přičném řezu		
HV5		
Návar	1	137
	1,5	135
	2	133
	2,5	133
	3	132
	3,5	131
	4	132
	4,5	132
	5	131
TOO	5,5	190
	6	182
	6,5	178
Z.M	7	169
	7,5	168
	8	157
	8,5	156
	9	156
S-4370	P.M	
S355JR	Z.M	
22-26	U [V]	
200	I [A]	
1,65	Q [kJ/mm]	

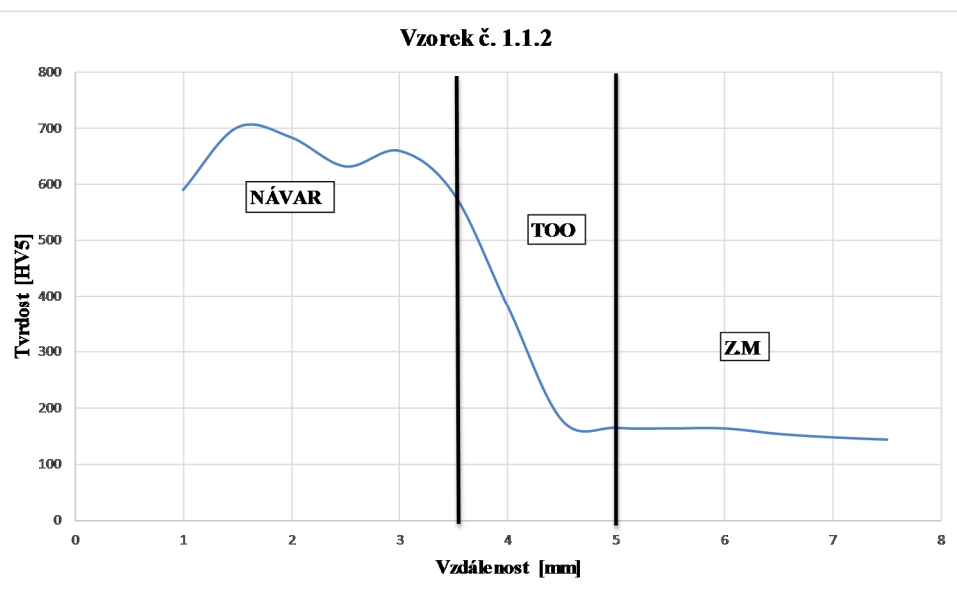


Obr. 39 Hodnoty tvrdosti vzorku č. 1.1.1

Naměřená maximální tvrdost Z.M (S355JR) je 169 HV5. Naměřená max. tvrdost v TOO (rozhraní) je 190 HV5. Maximální povrchová tvrdost (průměrná hodnota přičné tvrdosti v řezu) jednovrstvého návaru je 137 HV5.

Vzorek 1.1.2

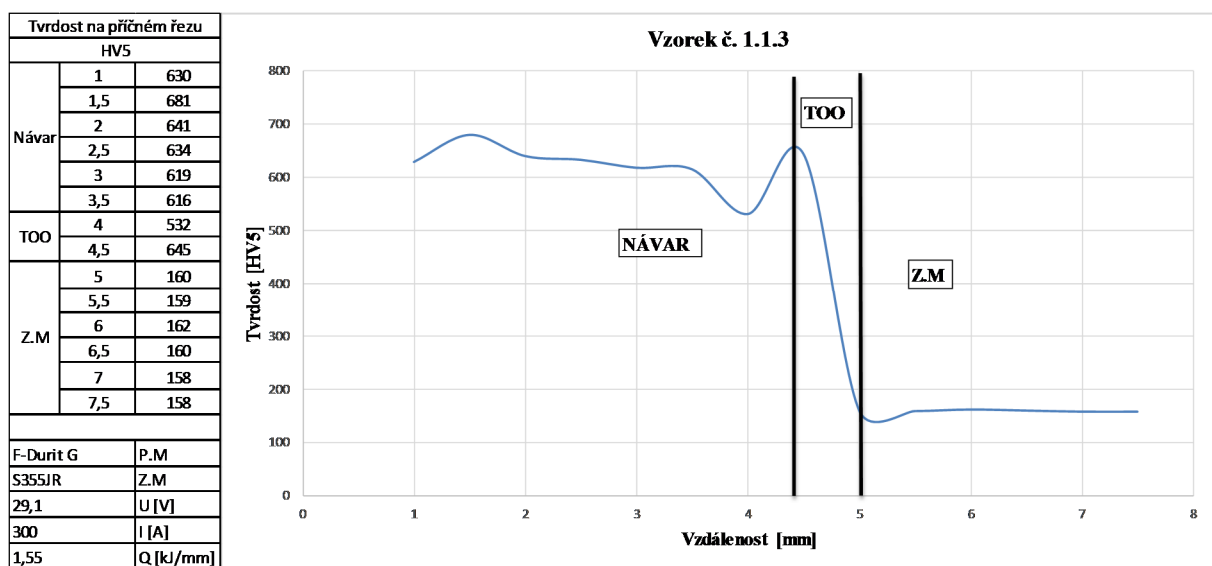
Tvrdość na přičném řezu		
HV5		
Návar	1	591
	1,5	703
	2	685
	2,5	633
	3	661
	3,5	584
TOO	4	380
	4,5	177
Z.M	5	164
	5,5	163
	6	163
	6,5	153
	7	147
	7,5	143
F-Durit G	P.M	
S355JR	Z.M	
20	U [V]	
200	I [A]	
0,71	Q [kJ/mm]	



Obr. 40 Hodnoty tvrdosti vzorku č. 1.1.2

Naměřená maximální tvrdost Z.M (S355JR) je 164 HV5. Naměřená max. tvrdost v TOO (rozhraní) je 380 HV5. Maximální povrchová tvrdost (průměrná hodnota přičné tvrdosti v řezu) jednovrstvého návaru je 703 HV5.

Vzorek 1.1.3



Obr. 41 Hodnoty tvrdosti vzorku č. 1.1.3

Naměřená maximální tvrdost Z.M (S355JR) je 162 HV5. Naměřená max. tvrdost v TOO (rozhraní) je 645 HV5. Maximální povrchová tvrdost (průměrná hodnota příčné tvrdosti v řezu) jednovrstvého návaru je 681 HV5.

5.4 Vyhodnocení chemického složení (EDS analýza)

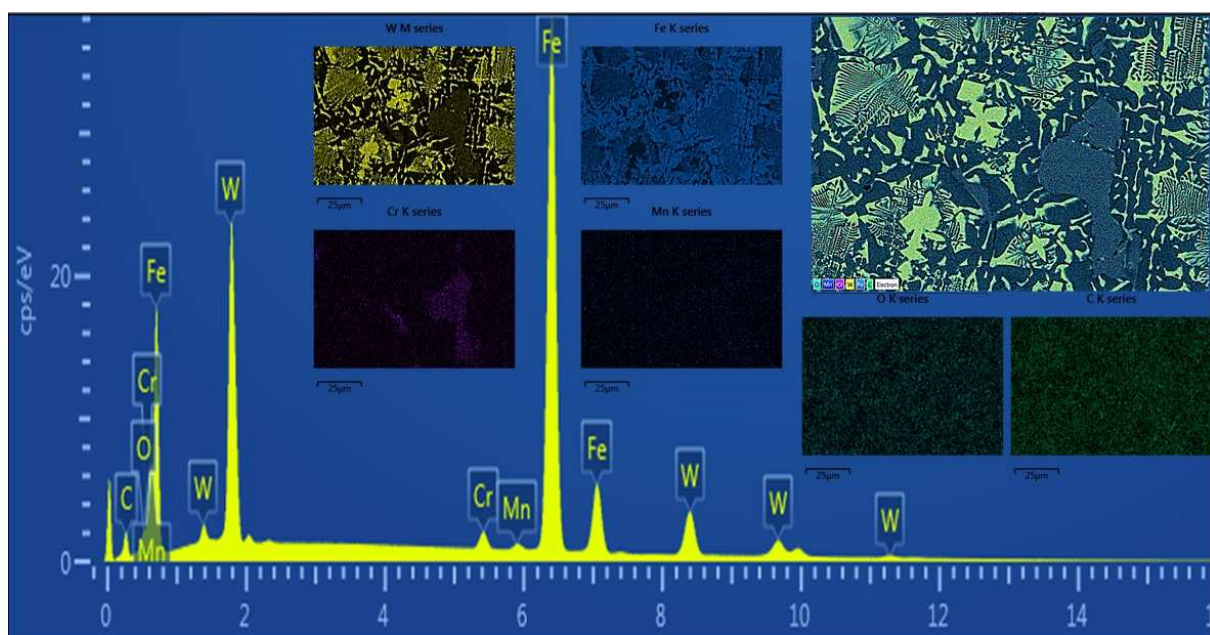
Chemická analýza vzorků 1.1.2 a 1.1.3 byla provedena na Ústavu materiálových věd a inženýrství na Odboru strukturní a fázové analýzy, rastrovacím elektronovým mikroskopem s autoemisním zdrojem a vysokou rozlišovací schopností Zeiss Ultra Plus s chemickým analyzátozem Oxford X-max s plochou detektoru 20 mm². Urychlovací napětí bylo nastaveno na 20kV, proud svazku elektronů se pohyboval v desítkách nA. Snímky byly pořízeny odrazem sekundárních elektronů. Chemická analýza byla provedena na vzorcích z mikrostruktury.



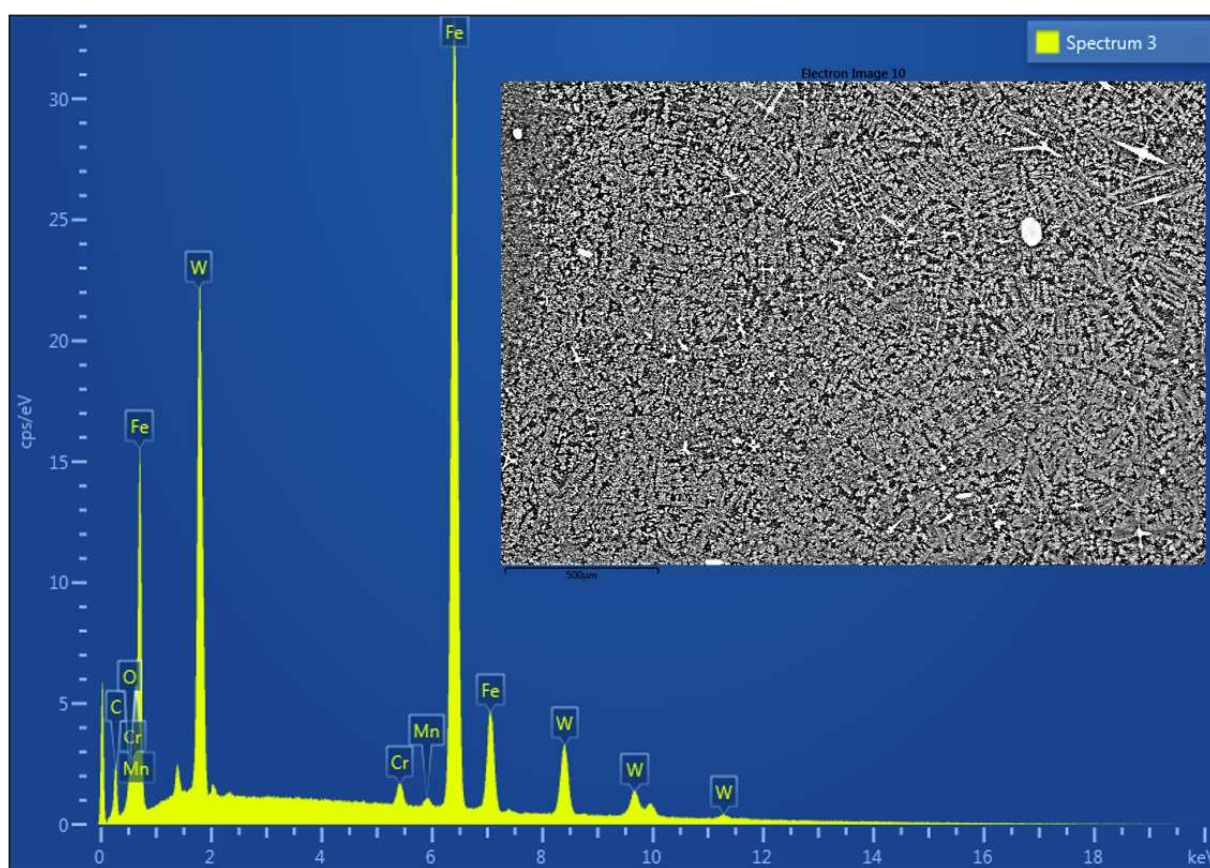
Obr. 42 Analytický komplex FEG SEM Zeiss Ultra Plus [34]

Vzorek 1.1.1 - typ návaru byl určen měřením tvrdostí, proto EDS analýza u toho vzorku nebyla provedena.

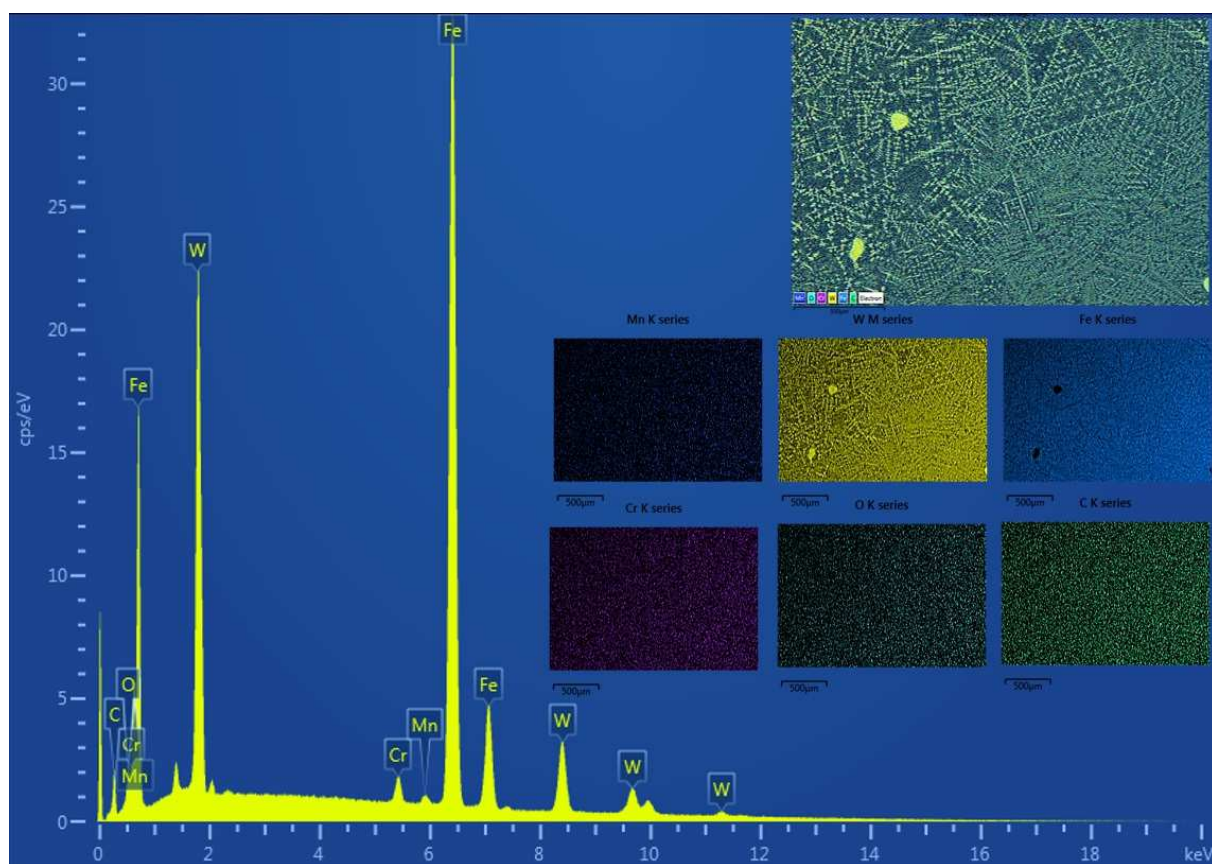
Vzorek 1.1.2



Obr. 43 Návar horní okraj vzorku 1.1.2



Obr. 44 Návar spodní okraj vzorku 1.1.2



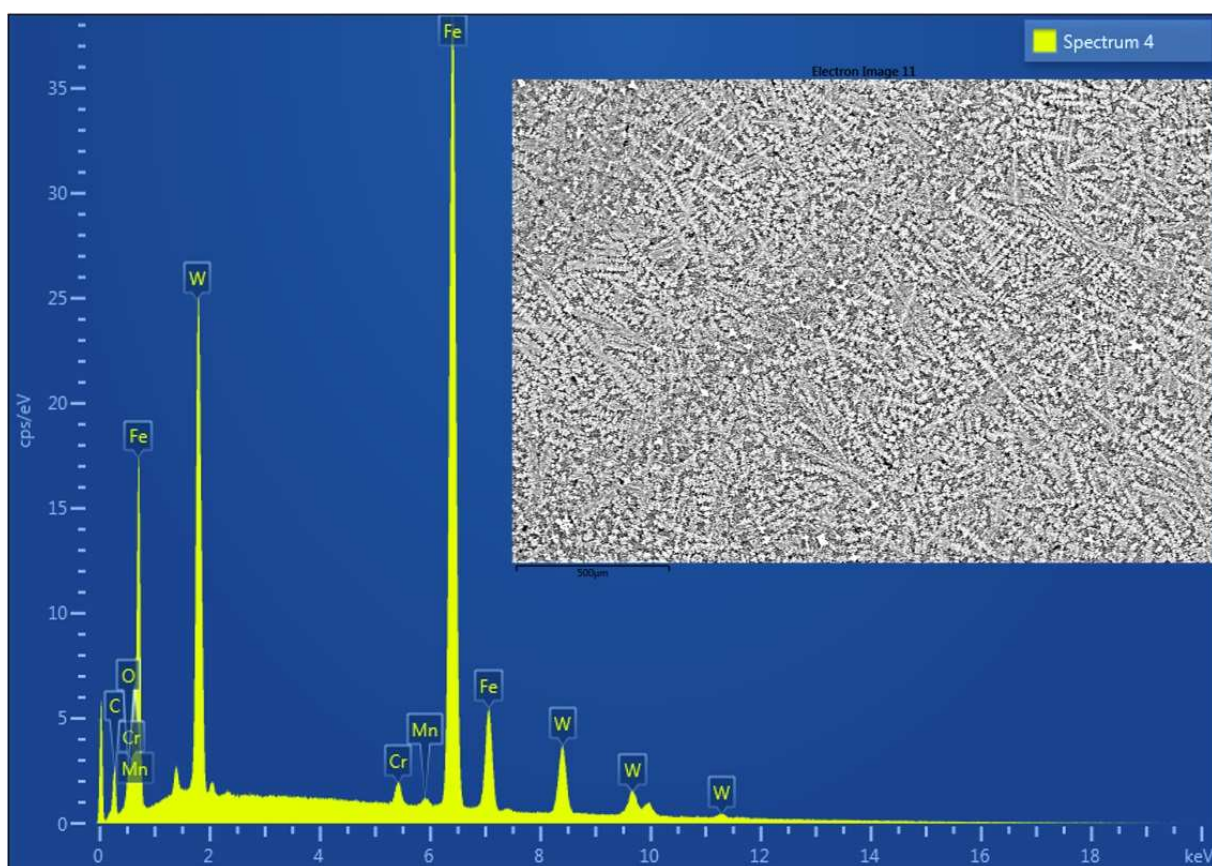
Obr. 45 Návar horní okraj vzorku 1.1.2 (průměrné složení)

Na obrázcích (obr. 43, 44 a 45) je znázorněno chemické složení, obsahy jednotlivých prvků (Fe, C, W, Cr, Mn, O) v atomárním množství, níže (tab. 22) převod na hmotnostní (objemový) podíl jednotlivých prvků, mapy chemického složení v malém (50 μm) i velkém zvětšení (500 μm) a EDS analýza jednotlivých prvků (Fe, C, W, Cr, Mn, O) u **vzorku 1.1.2**.

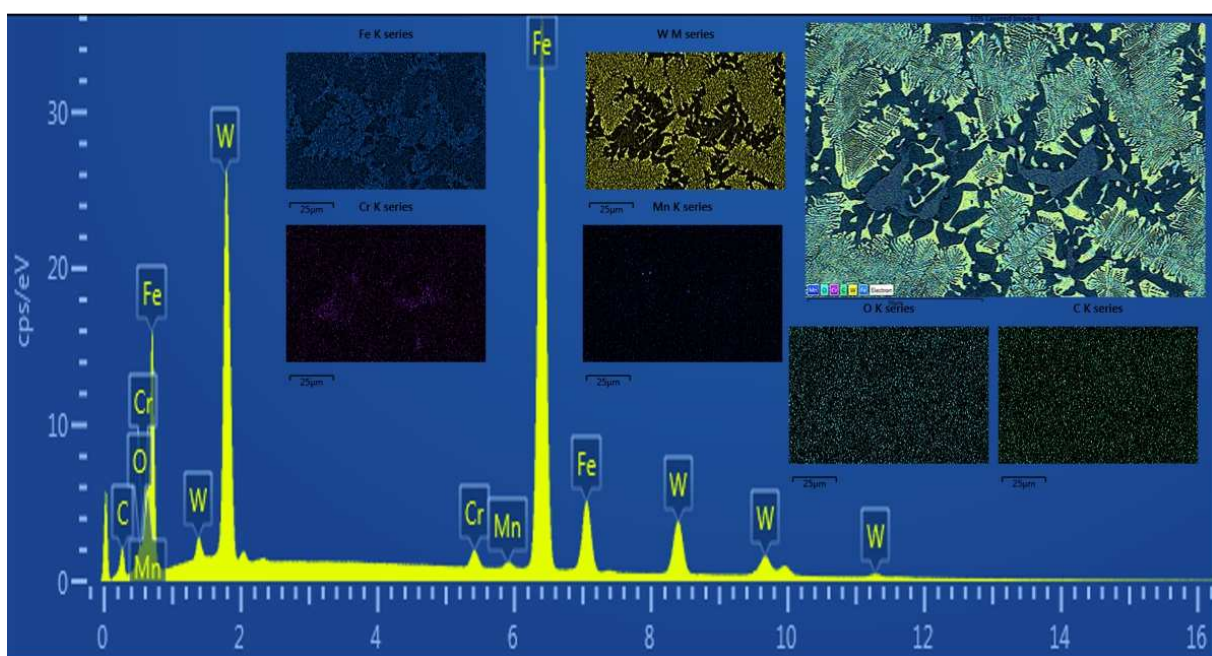
Tab. 22 Podíl jednotlivých prvků ve složení u vzorku 1.1.2

Prvky	Podíl atomové hmotnosti [%]	Podíl objemové hmotnosti [%]
C	24,05	5,19
O (SiO₂)	3,46	0,99
Cr	1,42	1,33
Mn	0,48	0,48
Fe	61,36	61,54
W	9,23	30,48
Celkem:	100	100

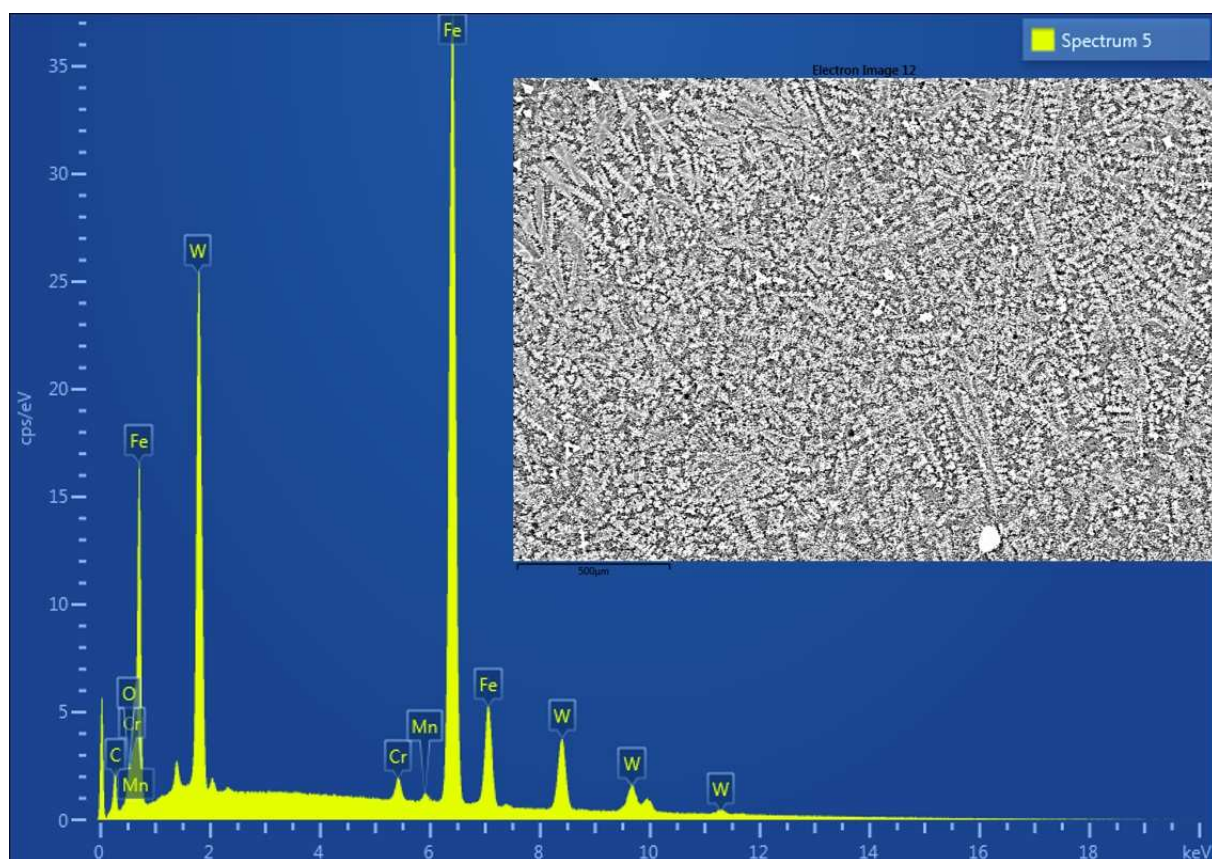
Vzorek 1.1.3



Obr. 46 Návar horní okraj vzorku 1.1.3



Obr. 47 Návar spodní okraj vzorku 1.1.3



Obr. 48 Návar horní okraj vzorku 1.1.3 (průměrné složení)

Na obrázcích (obr. 46, 47 a 48) je znázorněno chemické složení, obsahy jednotlivých prvků (Fe, C, W, Cr, Mn, O) v atomárním množství, níže (tab. 22) převod na hmotnostní (objemový) podíl jednotlivých prvků, mapy chemického složení v malém (50 µm) i velkém zvětšení (500 µm) a EDS analýza jednotlivých prvků (Fe, C, W, Cr, Mn, O) u **vzorku 1.1.3**.

Tab. 23 Podíl jednotlivých prvků ve složení u vzorku 1.1.3

Prvky	Podíl atomové hmotnosti [%]	Podíl objemové hmotnosti [%]
C	28,27	6,5
O (SiO₂)	4,68	1,43
Cr	1,13	1,13
Mn	0,37	0,39
Fe	57,16	61,07
W	8,38	29,49
Celkem:	100	100

5.5 Příprava vzorků pro metalografii

Vzorky pro makrostrukturu a mikrostrukturu byly nařezány na ruční rozbrušovací pile Struers Labotom-5. Byl použit řezný kotouč pro velmi tvrdé materiály Struers 60A25 250 x 1,5 x 32 mm. Celkem bylo nařezáno 6 vzorků, tři na makrostrukturu a tři na mikrostrukturu.

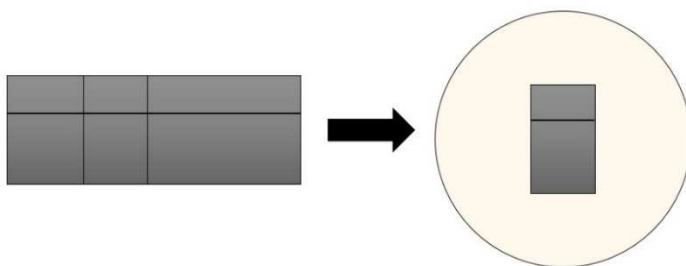
Broušení a leštění vzorků bylo prováděno na dvoukotoučové brusce a leštičky Saphir 330. Celkem byly použity čtyři magnetické disky s diamantovými kolečky. Zrnitost prvního disku se pohybovala mezi 80 až 100, zrnitost druhého disku 120 až 180, zrnitost třetího disku 220 až 320 a zrnitost posledního byla 600. Při práci se na povrch disku přilévala voda. Vzorky byly opláchnuty vodou a stříčkou opláchnuty lihem. Následovalo sušení vzorku fénem při zvýšené teplotě vzduchu. U vzorků určených ke zkoumání makrostruktury byl, ke zviditelnění struktury chemickým leptáním, použit 10% roztok kyseliny dusičné v alkoholu zvaný Nital. Vzorky byly poté zality do pryskyřice a zalisovány. Po vytuhnutí se ještě brousily a leštily.



Obr. 49 Ruční rozbrušovací pila Struers Labotom-5 [45]



Obr. 50 Dvoukotoučová bruska a leštička Saphir 330 [32]



Obr. 51 Schéma pořízení vzorků pro metalografii

5.7 Vyhodnocení makrostruktury

Připravené vzorky pro metalografii byly nejprve hodnoceny při 10x zvětšení (hodnocení makrostruktury). U vzorků na povrchu i v řezu hodnoceny mikrotrhliny, trhliny, póry, vměstky a ostatní okem pozorovatelné vady.

Vzorek 1.1.1



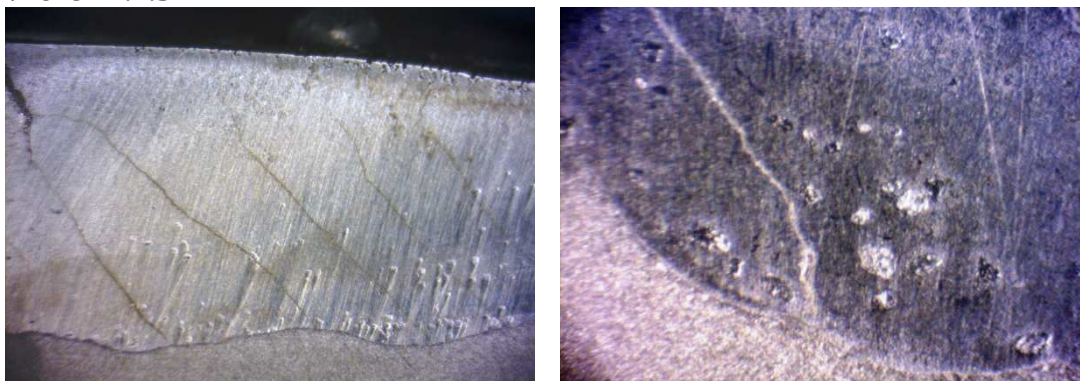
Obr. 52 Makrostruktura vzorku 1.1.1 (zvětšení 10x)

Vzorek 1.1.2



Obr. 53 Makrostruktura vzorku 1.1.2 (zvětšení 10x)

Vzorek 1.1.3



Obr. 54 Makrostruktura vzorku 1.1.3 (zvětšení 10x)

5.7 Vyhodnocení mikrostruktury

Po hodnocení makrostruktury byla hodnocena mikrostruktura. Snímky mikrostruktury a byly pořízeny na Ústavu materiálových věd a inženýrství v laboratoři světelné mikroskopie na mikroskopu Olympus GX-71, snímacím zařízením Olympus DP 20.



Tab. 24 Měřítka na snímcích struktur

Měřítko	Zvětšení
100 μm	50x
50 μm	100x
30 μm	200x
10 μm	500x
5 μm	1000x

Obr. 55 Mikroskop Olympus GX71 [54]

Vzorek 1.1.1



Obr. 56 Mikrostruktura vzorku 1.1.1

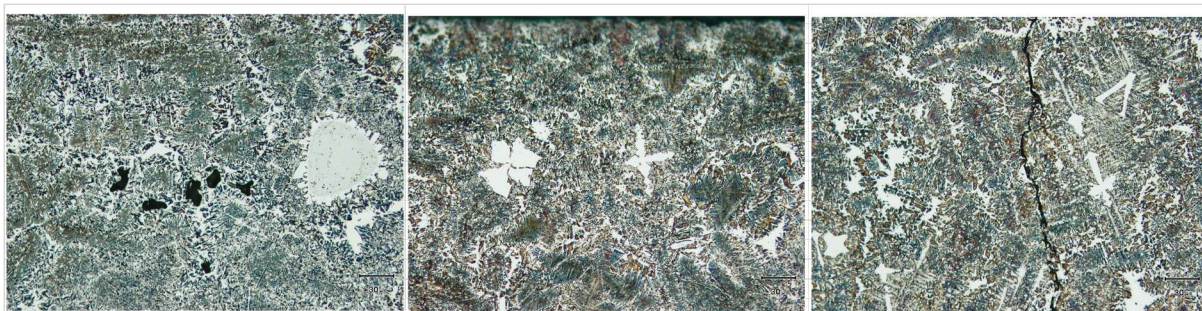
Mikrostruktura byla hodnocena při 200x zvětšení, první snímek ze základního materiálu, druhý z TOO, třetí z návaru. Základní materiál JE perlitická struktura, TOO je perliticko-austenitická struktura a oblast návaru je austenitický struktura.

Vzorek 1.1.2



Obr. 57 Mikrostruktura vzorku 1.1.2

Mikrostruktura byla hodnocena při 200x zvětšení, první snímek ze základního materiálu, druhý z TOO, třetí z návaru. Základní materiál perlitická struktura. TOO s výrazným zhrubnutím zrna a oblast návaru tvořená WC.



Obr. 58 Mikrostruktura vzorku 1.1.2

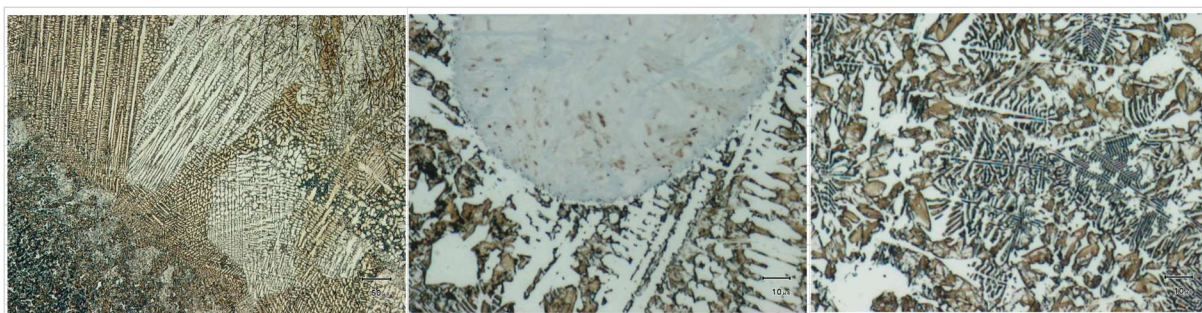
Byly rovněž pozorovány (200x zvětšení) WC struktury, první snímek - primární karbidy (WC) globulárního tvaru + bubliny (tmavé), druhý snímek - dendritické uspořádání tvořené karbidy, třetí snímek - trhlina ve WC návaru (po hranicích i středem zrn).

Vzorek 1.1.3



Obr. 59 Mikrostruktura vzorku 1.1.3

Mikrostruktura byla hodnocena z prvního snímku ze základního materiálu (200x zvětšení), druhý z TOO (500x zvětšení), třetí z návaru (100x zvětšení). Základní materiál perlitická struktura. TOO tvořená WC a oblast návaru tvořená WC.



Obr. 60 Mikrostruktura vzorku 1.1.3

Byly také pozorovány WC struktury, první snímek primární karbidy WC (100x zvětšení), druhý snímek primární karbid WC (500x zvětšení), na třetím snímku jsou vidět žebírka rostoucí z dendritu karbidu (500x zvětšení).

6 TECHNICKÉ ZHODNOCENÍ

Po provedení experimentů a praktických zkoušek opotřebení reálných mísičů slévárenských písků, s ohledem na ekonomickou stránku renovovaného dílu, byl jako nejvhodnější vyhodnocen základní materiál **S355JR**.

Po provedení experimentů a praktických zkouškách opotřebení a životnosti na reálných mísičích, vzhledem k aplikaci v agresivním prostředí a podmínkách opotřebení ve slévárnách, se jako vhodný osvědčil **návar WC**, konkrétně použitý přídavný materiál ve formě plněné elektrody **DURIT G**.

Vzhledem ke zvolenému přídavnému materiálu (DURIT G), ekonomické stránce a produktivitě (možnosti poloautomatizace nebo automatizace) navařování byla zvolena jediná použitelná technologie **navářování FCAW (138)**.

Byly navrženy, odladěny a vyhodnoceny vhodné parametry navařování (vzorek č. 1.1.2) pro daný základní i přídavný materiál a navařovanou tloušťku v případě jednovrstvého návaru. Předehřev 80-100°C. Svařovací parametry pro plněnou elektrodu o průměru 1,6 mm se pohybují v rozmezí $I = 180 - 230 \text{ A}$ a $U = 24 - 26 \text{ V}$. Je **nutné dodržovat. Svařovat bez rozkvyu**.

Z hlediska hodnocení tvrdosti navařovaných vzorků. **Vzorek 1.1.1** podle výsledné tvrdosti návaru **137 HV5**, srovnáno (s přihlédnutím k promíšení) s tvrdostí v první vrstvě po navaření 190 HB = 190 HV jsme určili návarový kov 307 nerez - ekvivalentní k použitému přídavnému materiálu **S 4370**. Po určení jiného typu návaru už vzorek 1.1.1 nebyl dále zkoumán. Záměna při použití zpevňující nerez (307), která měla v reálných podmínkách opotřebení minimální životnost, byla způsobena technologickou nekázní operátora při navařování (záměna cívek při realizaci předchozí zakázky).

U **vzorků 1.1.2 a 1.1.3** se výsledná tvrdost po první vrstvě návaru a vzhledem k promíšení pohybuje mezi **683 - 703 HV5**. Ve srovnání s tvrdostí přídavného materiálu (v první vrstvě návaru) udáváno materiálovým listem v 40% Fe-C matrice **64 HRC = 804 HV**. U vzorku č. 1.1.3 menší maximální tvrdost - 681 HV5 oproti vzorku 1.1.2 - 703 HV5 u návaru odpovídá přepálení WC, vysokými parametry svařování a velkým vneseným teplem.

Z hlediska chemického složení (EDS analýzy) po srovnání hmotnostních procent (podílů) jednotlivých prvků (C, Cr, Fe, Mn, O) u vzorků 1.1.2 a 1.1.3 vyplývá, že při tepelném procesu došlo k rozpadu primárních karbidů, vlivem vneseného tepla, a vyloučené sekundárních karbidů. Chemická analýza prokázala, že při správně nastavených parametrech navařování WC (vzorek 1.1.2) bylo v návaru obsaženo 30,48% W a 5,19 % C. Při překročení svařovacích parametrů (vzorek 1.1.3) došlo vlivem většího vneseného tepla k rozpadu karbidu na uhlík a v návaru bylo obsaženo 29,49 % W a 6,5 % C. Což také potvrzuje i vyhodnocení tvrdosti, kdy výsledná tvrdost vzorku 1.1.2 je vyšší než u vzorku 1.1.3.

Z hlediska makrostruktury jsou v návarech WC u vzorků 1.1.2 a 1.1.3 pozorovány (obr. 52, 53 a 54) **trhliny i mikrotrhliny**. Obecně očekávány u všech tvrdonávarů nad 40 HRC. V porovnání makrostruktur u vzorku 1.1.2 nejsou viditelné minimálně na povrchu (pouze TOO, hranice ztavení a pod povrchem) u vzorku 1.1.3 trhliny až na povrch.

Z hlediska zhodnocení mikrostruktury se jedná u vzorků 1.1.2 a 1.1.3 o perlitickou strukturu základního materiálu, perliticko-WC strukturu v hranici ztavení a karbidickou strukturu návaru. Dokumentovanou (obr. 56, 57, 58, 59, 60) řadou směsných WC struktur (primárních či sekundárních) karbidů (globulárního i jehlicovitého) tvaru.

ZÁVĚR

Jak už bylo zmíněno v úvodu, obecně se ve všech případech potřeby renovací hledá nejschůdnější způsob, jak pokud možno místo originálního dílu starý díl buď zrenovovat, nebo přímo vyrobit nový, hlavně z důvodu finančních i časových úspor vzniklých při zhotovení náhradních dílů vůči originálním.

Obecně co všechny neznalé problematiky a kvality návarů WC překvapí, bez vlivu na použitou technologii a parametry navařování a vlivu na otěruvzdornost a abrazi renovovaných dílů, jsou trhliny (popraskaný povrch) i nevzhledný povrch návaru, který ovšem není závadou kvality a otěruvzdornosti návaru. Běžné hodnocení vizuální i penetrační zkoušky na tvrdokovových návarech jsou v těchto případech nevhodné, dalo by se říci, že zcela zbytečné je požadovat. Je nutné představit si co vlastně WC karbidový návar je, že se jedná v podstatě o sklo-keramický povlak, značně křehký a náchylný na vznik povrchových trhlin, který je, ale dostatečně tvrdý a otěruvzdorný. K pochopení této problematiky souvislosti tvrdosti - opotřebení a kvality požadovaných návarů WC měla přispět tato diplomová práce.

Tato diplomová práce splnila cíle vytyčené v zadání. Jak v oblasti návrhu vhodných materiálů a technologií, včetně parametrů navařování na renovovaných lopatkách mísiče slévárenského písku, tak včetně vyhodnocení výsledků makro i mikrostruktury, chemické analýzy i tvrdosti daných vzorků a reálného opotřebení mísičů v provozu, kde celý postup realizace, zhotovení a navaření renovovaných lopatek je od objednávky (specifikace požadavku) s termínem dodání, v tomto konkrétním případě do třech týdnů, včetně specifikace základního materiálu, požadované tvrdosti na povrchu a podle aplikace druhů opotřebení dané součásti, případné zhotovení výkresové i výrobní dokumentace, volby a schválení typu návaru a technologie navařování, včetně zhotovení návaru a předání renovované nebo nové součásti zákazníkovi.

Konkrétně pro firmu Wirpo s.r.o je tato diplomová práce, včetně ověření splnění požadavku konkrétního zákazníka na renovaci lopatek mísičů slévárenských písků a jiné úspěšně realizované zakázky navařování a renovací navařováním, přínosem a dobrou referencí do budoucna.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

- [1] BAJGA, Miroslav. *Navařování kovů: Svět svaru*. [online]. 2005, roč. 9, č. 2, s. 1-12 [cit. 2014-04-07]. Dostupné z: www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Nava%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_complete.pdf
- [2] BARTÁK, Jiří. *Svařování kovů v praxi: elektronická příručka*. Praha: Dashöfer, 2012. ISSN 1805-2835. 4x ročně.
- [3] BARTÁK, Jiří, Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2002, 417 s. ISBN 80-85771-97-7.
- [4] BLAŠKOVITŠ, Pavel, Marián DZIMKO a Jozef BALLA. *Tribológia*. 1. vyd. Bratislava: Alfa, 1990, 360 s
- [5] Bohdan Bolzano s.r.o. . *Nelegované konstrukční oceli podle normy ČSN EN 10025-2* [online]. [cit. 2014-02-03]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/TP/MOP_%20Tycova_ocel/EN_10025/MOP_EN10025-2-prehled-mech-vlast.pdf
- [6] ČSN EN ISO 17639 (051128). *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů*. Praha: Český normalizační institut, 2014. 12s
- [7] ČSN EN 1011-2 (052210) *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů. Část 2, Obloukové svařování feritických ocelí*. Praha: Český normalizační institut, 2002. 56s
- [8] ČSN EN 1011-1 (052210) *Svařování - Doporučení pro svařování kovových materiálů. Část 1, Všeobecná směrnice pro obloukové svařování*. Praha: Český normalizační institut, 2009. 16s
- [9] ČSN EN ISO 4063 (050011) *Svařování a příbuzné procesy - Přehled metod a jejich číslování*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 24s
- [10] ČSN EN ISO 9015-2 (051134) *Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů - Zkoušení tvrdosti. Část 2, Zkoušení mikrotvrdosti svarových spojů*. Praha: Český normalizační institut, 2011. 16s
- [11] *Degradace strojních součástí* [online]. 2003 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <http://degradace.tf.czu.cz>
- [12] DRAHTZUG STEIN. *Modification Wires* [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.megafil.com/en/products/modification-wires/>
- [13] DVOŘÁK, M. a kol. *Technologie II*, 2vyd. CERM Brno, 7/2004, 237s. ISBN 80-214-2683-7

- [14] ESAB HOLDINGS LTD. *FCAW-Flux cored arc welding* [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://products.esab.com/se/Templates/T095.asp?id=27317&MainHeadCode=Mild>
- [15] FERAMO METALLUM INTERNATIONAL S.R.O. *Výrobní dokumentace mísičů*. Brno, 2013.
- [16] FERONA, a.s. *Materiálové normy* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: <http://www.ferona.cz/>
- [17] FOCUS-IT Shockwave Company *Cavitation*. [online]. [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://eswt.net/>
- [18] HERA HOUSE. *Welding Processes, Welding Faults, Defects & Discontinuities For NDT Technicians Part 4* [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: https://www.hera.org.nz/Category?Action=View&Category_id=522
- [19] HERMAN, Petr. WIRPO s.r.o. *Materiály pro navařování a žárové nástřiky s wolframkarbidy*. Brno, 2012.
- [20] HLAVATÝ, Ivo. VŠB - TECHNICKÁ UNIVERZITA. *Ruční obloukové svařování obalenou elektrodou - 111* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://fs1.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/05-111.pdf>
- [21] HOUDKOVÁ ŠIMŮNKOVÁ, Šárka, Radek ENŽL a Olga BLÁHOVÁ. *Žárové nástřiky: Moderní technologie povrchových úprav* [online]. 2003 [cit. 2014-03-22]. Dostupné z: <http://www.kmm.zcu.cz/CD/content/index.html>
- [22] *Jak opravit kamna* [online]. 2012 [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: www.chatar-chalupar.cz
- [23] Kavítace. *Kavítace: Cavitation_Propeller_Damage* [online]. [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kavítace>
- [24] KOLAŘÍK, Ladislav. ČVUT V PRAZE. *Hodnocení svařitelnosti* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://u12133.fsid.cvut.cz/podklady/TMSV/Svaritelnost.pdf>
- [25] KOLEKTIV AUTORŮ. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 394 s. ISBN 80-85771-81-0.
- [26] KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. 1. vyd. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009, 240 s. ISBN 978-80-248-2025-5-.
- [27] KUBÍČEK, Jaroslav. *Renovace a povrchové úpravy* [online]. Brno, 2006 [cit. 2014-05-04]. 89 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/renovace_a_povrchove_upravy__kubicek.pdf. Skriptum. Vysoké učení technické v Brně.

- [28] LEGA-INOX spol. s r.o. *Creusabro 4800* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: [http://www.lega.cz/ims/ims_lega/cmscontent.nsf/DocumentsByIDWeb/6ZYE48/\\$File/Creusabro%204800.pdf](http://www.lega.cz/ims/ims_lega/cmscontent.nsf/DocumentsByIDWeb/6ZYE48/$File/Creusabro%204800.pdf)
- [29] MATERIAALONDERZOEK. *Vickers-hardheidsmeter (Zwick 3212) met X-Y-tafel*. [online]. [cit. 2014-05-27]. Dostupné z: <http://sg-mat.be/app/apparaat3.jpg>
- [30] *Megafil* [online]. [cit. 2014-05-18]. Trubičkový drát. Dostupné z: http://www.megafil.com/uploads/pics/header_modi_en_02.jpg
- [31] METROTEST S.R.O. *Zkoušky tvrdosti* [online]. 2010 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: http://www.metrotest.cz/files/zkousky_tvrlosti.pdf
- [32] METPREP LTD. *Saphir 330 Polisher/Grinders* [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.metprep.co.uk/products/manual-preparation/saphir-330-polishergrinders/>
- [33] MOHYLA, Miroslav. *Strojírenské materiály I*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2003, 144 s. ISBN 80-248-0270-8.
- [34] NETME CENTRE. *Analytický komplex FEG SEM Zeiss Ultra Plus* [online]. 2012 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: [http://www.netme.cz/img/texty/image/novinky/2012-05-15-novinky-lab-AMM/mikroskop\(1\).png](http://www.netme.cz/img/texty/image/novinky/2012-05-15-novinky-lab-AMM/mikroskop(1).png)
- [35] *Opotřebení* [online]. [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <http://www.gsxr.wz.cz>
- [36] *Pomohl ze Země vyrvat miliardy barelů ropy aneb Čech na ropné plošině* [online]. [cit. 2014-02-06]. Dostupné z: <http://www.idnes.cz>
- [37] PORTÁL MODERNÍ FYZIKY. *Úloha 3: Prvková analýza EDS* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://fyzika.upol.cz/cs/predmety-kef-slo/uloha-3-prvkova-analyza-eds>
- [38] POŠTA, Josef, Milan DVOŘÁK a Petr VESELÝ. *Degradace strojních součástí: monografie*. Vyd. 1. Praha: Česká zemědělská univerzita, Technická fakulta, 2002, 67 s. ISBN 80-213-0967-9.
- [39] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
- [40] *Příručka svařování: Opravy a údržba*. 6. aktualizované. Vamberk: ESAB VAMBERK s.r.o., 2011.
- [41] SIGMUND, Marián. *Svařitelnost bainitických ocelí: autoreferát doktorské disertační práce*. 1. vyd. Ostrava: VŠB - Technická univerzita Ostrava, 2008. 41 s. ISBN 978-80-248-1764-4. Disertační práce. VŠB - Technická univerzita Ostrava.
- [42] SIGMUND, Marián. WIRPO S.R.O. *OPERAČNÍ MANUÁL: pro svařování trubičkovými elektrodami v ochranné atmosféře*. Brno, 2013.

- [43] SILBERNAGEL, Arnošt. *Struktura, vlastnosti, zkoušení a použití kovů*. Vyd. 1. Ostrava: Kovosil, 2011, 284 s. ISBN 978-80-903694-6-7.
- [44] STODOLA, Jiří, Františka PEŠLOVÁ a Jan KRMELA. *Opotřebení strojních součástí: monografie*. Vyd. 1. Brno: Univerzita obrany, 2008, 195 s. ISBN 978-80-7231-552-9.
- [45] Struers GmbH *Labotom - manuální stolní metalografická rozbrušovací pila*. [online]. [cit. 2014-03-29]. Dostupné z: http://www.struers.cz/default.asp?doc_id=252
- [46] STRUERS GMBH. *Historie měření mikrotvrdosti: Aplikace měření mikrotvrdosti* [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: http://www.struers.cz/default.asp?top_id=0&main_id=0&sub_id=0&doc_id=470&admin_language=19
- [47] SUCHÁNEK, Jan. *Abrázivní opotřebení kovových materiálů* [online]. 2010/1 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12010/abrazivni-opotrebeni-kovovych-materialu.html>
- [48] SUCHÁNEK, Jan. *Adhezivní opotřebení* [online]. 2010/2 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22010/adhezivni-opotrebeni.html>
- [49] SUCHÁNEK, Jan. *Erozivní opotřebení a volba kovových materiálů v praxi - 2. část* [online]. 2010/4 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42010/erozivni-opotrebeni-a-volba-kovovych-materialu-v-praxi-2-cast.html>
- [50] SUCHÁNEK, Jan. *Kavitační opotřebení* [online]. 2011/1 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12011/kavitacni-opotrebeni.html>
- [51] SUCHÁNEK, Jan. *Vibrační opotřebení* [online]. 2011/2 [cit. 2014-05-18]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22011/vibracni-opotrebeni.html>
- [52] SVARECKY-OBCHOD.CZ. *Obloukové svařování - svárové spoje: Obloukové svařování plněnou (trubičkovou) elektrodou* [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: <http://www.svarecky-obchod.cz/33-caste-otazky-svarove-spoje.htm>
- [53] UnionOcel, s.r.o. *Kompozitní desky Composition plates* [online]. [cit. 2014-03-24]. Dostupné z: http://www.unionocel.cz/files/download/plechy_o/union_otery_en.pdf
- [54] ÚSTAV MATERIÁLOVÝCH VĚD A INŽENÝRSTVÍ. *Studijní obor „Materiálové inženýrství“: Mikroskop OLYMPUS GX71* [online]. [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.fme.vutbr.cz/studium/prezentace/N3942.pdf>

- [55] VEVERKA, J. OMNITECH SPOL. S R.O. *Technologie výroby trubičkových drátů firmy OERLIKON a jejich použití* [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z: http://www.omnitechweld.cz/cze/clanky/vyroba_trubickovych_dratu%20.html
- [56] WASSERBAUER, Jaromír. VUT V BRNĚ. *Není povrch jako povrch – EDS, WDS a EBSD* [online]. 2011 [cit. 2014-05-26]. Dostupné z: <http://www.chempoint.cz/neni-povrch-jako-povrch>
- [57] WEST COUNTRY WELDING LTD. *EWM Phoenix 500 Expert Pulse forceArc* [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z: <http://www.westcoweld.co.uk/images/stories/product%20images/mig%20welding/ewm-phoenix-500-expert-puls.jpg>
- [58] WIRPO S.R.O. *Navarován: Obalené elektrody pro ruční svařování* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z: <http://wirpo.cz/pridavne-materialy/svarovani-a-navarovani/navarovani>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
d	aritmetický průměr dvou délek uhlopříček d_1 a d_2	[mm]
I	svařovací proud	[A]
F	zkušební zatížení	[N]
H	obsah difuzního vodíku, stanovený glycerinovou zkouškou	[ml/100g]
K	intenzita tuhosti spoje	[-]
k	koeficient tepelné účinnosti metody svařování	[-]
KV	nárazová práce	[J]
U	svařovací napětí	[V]
TOO	tepelně ovlivněná oblast	[mm]
T_p	teplota předehřevu	[°C]
R_e	mez kluzu	[MPa]
R_m	mez pevnosti	[MPa]
Q	množství vneseného tepla přivedeného do svarového spoje na jednotku délky svaru	[kJ/mm]
v	rychlost navařování	[mm/s]
s	tloušťka materiálu	[mm]
Z	kontrakce	[%]

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č.1 Mat. list drátu pro navařování MIG S-4370

Příloha č.2 Mat. list trubičkového drátu pro navařování metodou MOG MF A 867 M

Příloha č.3 Mat. list trubičkového drátu pro navařování tvrdých vrstev MAG MF A 760 M

Příloha č.4 Mat. list trubičkového drátu pro navařování metodou MOG F EH Cr 61

Příloha č.5 Mat. list trubičkového drátu pro navařování metodou MOG F-Durit G

PŘÍLOHA 1

Materiálový list drátu pro navařování MIG S-4370 [58]

Zander Schweisstechnik – dráty pro svařování MIG

S-4370



Typ: Plný drát pro svařování korozivzdorných ocelí v ochranných atmosférách
Aplikace: Svařování austenitických Cr-Ni ocelí, svařování heterogenních spojů,
Vlastnosti: vysoce odolná proti tvorbě trhlin, pro svařování uhlíkových ocelí s obsahem uhlíku do 0,6 %, svařování přechodové vrstvy mezi nelegovanými a legovanými ocelí, pod návary a jako návarový kov odolný vrypům a napětí, po navaření cca 190 HB, po mech. zpevnění 400 HB.

Normy: ISO 14343-A : G 18 8 Mn
AWS A5.9 : ER 307
EN 14 700 : S Fe 10

Materiály : Heterogenní spoje antikorozních CrNi ocelí s nelegovanými a nízkolegovanými oceli, Mn oceli a ostatní austenitické nemagnetické oceli

Chemické složení svárového kovu % (typické hodnoty):

C	Mn	Si	Cr	Ni			
0,12	6,5	0,8	19	9			

Ochranný plyn

dle EN 439

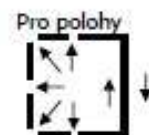
MIG - M12, M13

Mechanické vlastnosti svarového kovu (typické hodnoty)

Vrubová houževnatost ISO-V

Teplotné zpracování	R _{p0.2} [N / mm ²]	R _m [N / mm ²]	A ₅ [%]	Nárazová energie [J]	
				RT	-196°C
u	>400	>620	> 40	80	

metoda	Balení, průměr	0,8	1,0	1,2	1,6	2,0	2,4	3,2
MIG	15 kg cívka		x	X	x			
Ostatní průměry a balení na vyžádání								



PŘÍLOHA 2

Materiálový list trubičkového drátu pro navařování metodou MOG MF A 867 M [58]

Trubičkový drát pro navařování metodou MOG (Open Arc)

MEGAFIL[®] A 867 M



Typ :	Vysoce legovaný trubičkový drát s kovovou náplní s vlastní ochranou pro navařování metodou MOG (open arc), netvoří strusku použití pro metodu MAG se směsí Ar-CO ₂ je možné
Aplikace :	Těžební, důlní a ocelářský průmysl, návary nástrojů, těžké stavební a zemědělské stroje, řetězové dopravníky, míchač lopatky, rozmetací kola, cementárny, cihelny, pancéřování ploch a komponentů s požadavkem na vysokou odolnost vůči abrazi, dopravní šneky apod.
Vlastnosti :	Vysoká výtěžnost návarového kovu, nový typ materiálu postaveného na legování bórem, matricí tvoří směs cementitu a ledeburitu s karbidy Cr, B s vloženými jehlicemi boridů má při vysoké tvrdosti excelentní otěru vzdornost a odolnost vůči všem typům abraze i při vyšších teplotách snadné ovládání svarové lázně, svarový kov neteče tak hustě jako materiály na bázi vysokého uhlíku a chrómu, netvoří se karcinogenní splodiny chrómu, návar lze obrobit pouze broušením, návarové housenky klást bez rozkvy, pro dostavbu chybějícího materiálu použít Megafil 731B trhliny na povrchu návaru jsou dány složením materiálu, ale nesnižují otěru vzdornost a vlastnosti návaru
Normy :	EN 14 700 : T Fe 13

Chemické složení svarového kovu % (typické hodnoty)

C	Mn	Si	Cr	B
1,8	0,8	0,6	8,1	4,2

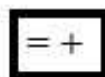
Tvrdost navařeného kovu typická pro 2 vrstvu :

62 - 70 HRC

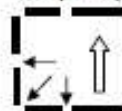
Výsledná tvrdost, stejně jako struktura návaru je závislá na základním materiálu, parametru navařování, tepelném režimu (předehřev, interpass teplota, ochladnutí apod.), počet vrstev, Síla a tvar navařovaného komponentu

Průměry : Ø > 1,6 mm

polarita



Pro polohy

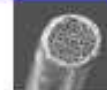


PŘÍLOHA 3

Materiálový list trubičkového drátu pro navařování tvrdých vrstev MAG MF A 760 M [58]

Trubičkový drát pro navařování tvrdých vrstev MAG

STEIN-MEGAFIL[®] A 760 M



Typ :	Středně legovaný trubičkový drát s kovovou náplní pro navařování metodou MAG, netvoří strusku
Aplikace :	Rypadla, dobývací korečky a lžice, zuby nakladačů, dopravníky, otěru vzdorné plochy, kuželové a čelistové drtiče.
Vlastnosti :	Houževnatý návarový kov vysoce odolný trhlínám odolný otěru při současném zatížení těžkými rázy a šoky, interpass teplota nesmí překročit teplotu 250°C, návar lze strojně obrábět pouze nástroji se speciálními řeznými destičkami nebo broušením, lze jej dále tepelně zpracovávat, nepoužívat pro dostavbu materiálu pouze jako vrstvy odolné opotřebení, pro dostavbu chybějícího materiálu použít Megafil 731 B, dosahovaná tvrdost je závislá na základním materiálu, je dosahována v první vrstvě.
Normy :	EN 14 700 : T Fe6

Chemické složení svařového kovu % (typické hodnoty)

C	Mn	Si	Cr	Mo
0,5	1,5	0,6	6,0	0,9

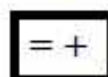
Tvrdost navařeného kovu:

57 – 63 HRC

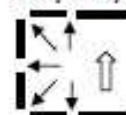
Výsledná tvrdost, stejně jako struktura návaru je závislá na základním materiálu, parametru navařování, tepelném režimu (předehřev, interpass teplota, chlazení apod.), počet vrstev, Síla a tvar navařovaného komponentu

Průměry : Ø > 1,2 mm

polarita



Pro polohy



PŘÍLOHA 4

Materiálový list trubičkového drátu pro navařování metodou MOG F EH Cr 61 [58]

Zander Schweisstechnik – trubičkový drát pro navařování MOG

F EH Cr 61



- Typ :** Vysoce legovaný trubičkový drát s vlastní ochranou pro metodu MOG.
- Aplikace :** Použití pro mlecí a drtící válce, zemní stroje, rošty, mlecí desky, betonárny, cementárny, cihelny, pro pancéřování ploch a komponentů s požadavkem na vysokou odolnost vůči abrazi jako jsou dopravní šneky na horkou strusku, ocelářský průmysl, zpracování minerálů a hornin, pásy aglomerace. Vysoce odolné pancéřování pro vyšší teploty.
- Vlastnosti :** Vysoká výtěžnost návarového kovu, nadeutektická legovaná ledeburitická matrice s vloženými komplexními karbidy chromu. Vynikající odolnost vůči abrazi zejména v minerálech a písku. Návar lze obrobít pouze broušením, návarové housenky klást bez rozkvy. Trhliny na povrchu návaru jsou dány složením materiálu ale nesnižují oteřuvzdornost a vlastnosti návaru.
- Normy :** EN 14700 : T Fe 15

Chemické složení svarového kovu % (typické hodnoty):

C	Mn	Si	Cr	Nb	B	
5,4	0,6	1,2	22,0	7,0	1,0	

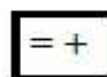
Tvrdost navařeného kovu:

63 - 65 HRC ve druhé vrstvě

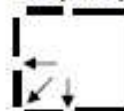
Balení a průměry :

Metoda:	Balení, průměr	1,6	2,0	2,4				
MOG	15 kg cívka	x	x	X				
Ostatní průměry a balení na vyžádání.								

Polarita



Pro polohy



PŘÍLOHA 5

Materiálový list trubičkového drátu pro navařování metodou MOG F-Durit G [58]

Zander Schweisstechnik - trubičkový drát pro metodu MOG

F –Durit G



Typ :	Speciální trubičkový drát pro navařování wolfram-karbidu elektrickým obloukem metodou MOG
Aplikace :	Keramický průmysl, zpracování písků a minerálů, dobývání hornin dopravní šneky a díly pro podmínky extrémní abraze
Vlastnosti :	Trubičkový drát, plněný spékáním wolfram-karbidem (FTC), návar je tvořen martenzitickou matricí s vloženým FTC, navarovat lze oceli a ocelové odlitky obsahem max.0,45% uhlíku návar obrobitelný pouze broušením nepřekračovat maximální svařovací parametry pro daný průměr drátu aby nedocházelo k rozpadu wolfram-karbidových zm
Normy :	EN 14 700 : TFe20

Chemické složení svarového kovu% (typické hodnoty)

WC	Matrice C,Fe					
60,0	40,0					

Tvrdost navařeného kovu :

40% C, Fe Matrice - 64 HRC v první vrstvě
60% WSC - 2 400 HV

Průměry a balení :

metoda	Balení, průměr	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2		
MOG	15 kg cívka	x	x	x	x	x		
Ostatní průměry a balení na vyžádání								

polarita



Pro polohy

