



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

RENOVACE NÁSTROJOVÝCH OCELÍ PRO TVÁŘENÍ ZA STUDENA

RENOVATION OF TOOLS STEELS FOR COLD FORMING

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. MARTIN HRABINA

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Martin Hrabina

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:

Renovace nástrojových ocelí pro tvářeni za studena

v anglickém jazyce:

Renovation of tools steels for cold forming

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

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

Cíle diplomové práce:

Rozbor druhů opotřebení, charakteru a svařitelnosti nástrojových ocelí.

Návrh experimentální práce.

Rozbor přídatných materiálů pro návary, výběr pro experiment.

Výběr metody navařování, stanovení podmínek.

Provedení a vyhodnocení experimentu.

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 2014/2015.

V Brně, dne 18.11.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

HRABINA Martin: Renovace nástrojových ocelí pro tváření za studena

Diplomová práce “Renovace nástrojových ocelí pro tváření za studena“ vystihuje soudobou problematiku vytváření otěruvzdorných návaru nástrojových ocelí. Práce je rozdělena do dvou základních kapitol. První část práce se zabývá teoretickým rozbohem, kde jsou popsány jednotlivé druhy porušení nástrojů vznikající při tváření. Na část teoretickou navazuje část experimentální. V této části jsou zvoleny materiály pro návary a v neposlední řadě technologie navařování. Závěr práce je věnován hodnocení dosažených výsledků, které jsou výstupem z provedených zkoušek.

KLÍČOVÁ SLOVA

Nástroj, ocel, opotřebení, svařitelnost, návar, přídavný materiál, TIG

ABSTRACT

HRABINA Martin: Renovation of tools steels for cold forming

Master's thesis “Revovation of tools steels for cold forming“ characterizes wear resistant welds for tool steels. The thesis is dividend into two main chapters. The first chapter of the thesis is focused on the theory of wear for cold work steels. The theory is combined with an experimental chapter. The experimental part describes particular materials and technology for welding. The conclusion of the thesis is evaluated results of test for mentioned technology and welding conditions.

KEYWORDS

Tool, steel, wear, weldability, clad, wire material, WIG

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HRABINA, Martin. *Renovace nástrojových ocelí pro tváření za studena*. Brno, 2015. 73s, 7 příloh, CD. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie svařování a povrchových úprav. Vedoucí práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci vypracoval samostatně, s pomocí uvedené použité literatury a rad vedoucího diplomové práce Ing. Jaroslava Kubíčka.

V Brně dne 28. 5. 2015

.....

Bc. Martin Hrabina

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji vedoucímu práce panu Ing. Jaroslavu Kubíčkovi za cenné rady a připomínky při zpracování diplomové práce. Dále děkuji všem ostatním, kteří mi byli jakkoliv nápomocni při psaní diplomové práce.

ZADÁNÍ	
ABSTRAKT	
BIBLIOGRAFICKÁ CITACE	
ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ	
PODĚKOVÁNÍ	
OBSAH	
ÚVOD	9
1. ZPŮSOBY ŘEŠENÍ RENOVACE	10
1.1 PROFIL SPOLEČNOSTI.....	11
2. ROZBOR OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ	12
2.1 ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ.....	12
2.1.1 ABRAZIVNÍ ČÁSTICE	13
2.2 ADHEZIVNÍ OPOTŘEBENÍ	14
2.3 ÚNAVOVÉ OPOTŘEBENÍ	16
3. ZÁKLADNÍ MATERIÁL PRO EXPERIMENT	18
3.1 MATERIÁL NÁSTROJE	18
3.2 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ	18
3.3 TVÁŘENÝ MATERIÁL	20
4. SVAŘITELNOST NÁSTROJOVÝCH OCELÍ	21
4.1 VLIV CHEMICKÉHO SLOŽENÍ.....	21
4.2 TECHNOLOGIE TIG/WIG.....	23
4.2.1 STANOVENÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU	24
4.2.2 TYPY VAD A PŘÍČINY VZNIKU	30
4.2.3 ROZBOR PŘÍDAVNÝCH MATERIÁLŮ	32
4.2.4 STANOVENÍ ZŘEDĚNÍ	34
4.3 TECHNOLOGIE ELEKTROJISKROVÉHO NAVAŘOVÁNÍ	36
4.4 PŘÍPRAVA NÁVAROVÉ PLOCHY	38
5. METODY ZKOUŠENÍ NÁVARŮ	39
5.1 METALOGRAFICKÁ ANALÝZA.....	39
5.2 ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE VICKERSE	39
6. PROVEDENÍ EXPERIMENTŮ	41
6.1 NÁVARY TIG/WIG	41
6.2 ELEKTROJISKROVÝ NÁVAR	45
7. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ	47
7.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO VYHODNOCENÍ	47
7.2 ZKOUŠKA TVRDOSTI.....	49
7.3 VYHODNOCENÍ MAKROSTRUKTURY.....	52
7.4 VYHODNOCENÍ WOLFRAM-KARBIDOVÉHO POVLAKU	54
TECHNICKÉ HODNOCENÍ	59
ZÁVĚRY	61
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	
SEZNAM PŘÍLOH	

ÚVOD

Technologie tváření za studena je oblastí zaměřenou na zpracování oceli v oblastech objemového nebo plošného tváření. Teplota tváření je pod hodnotou 35 % teploty tavení tvářeného materiálu. Nejrozšířenější operací plošného tváření je stříhání, které lze považovat buďto za konečnou nebo se jedná o operaci pro výrobky na další technologie (ohýbání, tažení, děrování). Zpracovávanými polotovary jsou ať už tabule plechu nebo svitky plechu. Požadavky zákazníků odebírající výrobky vzrůstají na kvalitě a přesnosti. Není třeba opomenout ani požadavky na mechanické vlastnosti výrobku, které zaručí bezproblémový provoz výrobku v užití oblasti. S těmito požadavky není brán ohled jen na zpracovávaný materiál, ale také na nástrojové oceli, které udávají tvar budoucímu výrobku. Každá nástrojová ocel není užitečná po nekonečně dlouhou dobu a se vzrůstajícím počtem výrobků se snižuje životnost oceli. To platí především v sériové nebo hromadné výrobě. Výsledky praktických zkoušek ukázaly, že navařováním (renovací) lze dosáhnout stejných nebo lepších vlastností na lokálních místech oceli. Z toho důvodu je používána celá řada přídatných materiálů pro dosažení požadovaných mechanických vlastností. Příklady renovovaných povrchů lze vidět na Obr. 1 [2], [3], [4].



Obr. 1 Příklady renovovaných povrchů nástrojů [5], [6]

1. ZPŮSOBY ŘEŠENÍ RENOVACE

Stav nástroje určuje kvalitu vylisku nejen z hlediska rozměrů, ale i jakosti povrchu. Nástroje prochází po odlisování větší výrobní dávky (vždy) pravidelnou údržbou, při které jsou pomocí jeřábů tzv. otevřeny, viz Obr. 2. Po otevření následuje kontrola poškození jednotlivých dílů. Nástroje lisující plechy větší tloušťky a o vyšší hodnotě meze pevnosti v tahu jsou zákonitě opotřebeny rychleji i při menších výrobních sériích [8].

Mezi vlastnosti, které je nutné zkontrolovat, ostrost střížných hran razníků a matric, a dále stav ohybové plochy.

Ke zjištění, že stav střížných a ohybových ploch není vyhovující, nedochází pouze při údržbě nástrojů po odlisování výrobní série, ale mnohem častěji již během lisování. Z tohoto důvodu je nezbytné se problémem co nejrychleji zabývat a nalézt vhodný způsob řešení [7], [8].



Obr. 2 Pracoviště údržby tvářecích nástrojů

Jedním ze způsobů, jak problém efektivně řešit, je náhrada součásti za novou ze skladové pojistné zásoby. Druhou možností je renovace.

Renovaci lze dosáhnout původních nebo jiných požadovaných rozměrů s lepšími vlastnostmi lokálního místa na nástrojových ocelích. Tímto způsobem je možné životnost nástroje prodloužit. Ještě před samotnou renovací nástroje je nutné položit si otázku, jak jsou poškození rozsáhlá a zda by se renovace ekonomicky vyplatila. V případě, že by náklady na renovaci přesáhly 70 % ceny nové součásti, z ekonomických důvodů se neprovádí. V takovém případě se opotřebovaná součást nahrazuje za novou z pojistných skladových zásob. V případě renovace jsou dostupné tyto dvě možnosti renovace [7], [8].

- Jedním ze způsobů, jak opravit nebo upravit součást, aby plnila svoji funkci je přebroušení funkčních částí nástroje. Malé opravy ploch můžeme provádět přímo v lisu, ale přebroušení velkých ploch vyžaduje vyjmutí tvářecího nástroje z lisu a demontáž konkrétního nástroje. Funkční částí střížných nástrojů představují čela. Vlivem jejich častého přebroušování dochází ke změně rozměrů nástroje, především výška. V důsledku změny výšky nástroje je zapotřebí vkládat pod ně podložky, jinak hrozí při lisování neprostřížení plechu.

- Druhým způsobem řešení je renovace pomocí svařovacího zařízení. Výhoda technologie navařování oproti broušení spočívá ve vytvoření návaru na poškozené místo. Takto dosáhneme původního nebo jiného požadovaného tvaru součásti. Navařená místa jsou následně opracovávány broušením či leštěním. Nevýhodou představuje poměrně velká počáteční investice do svařovacího zařízení, přídavných materiálů a příslušenství [7], [8].

1.1 PROFIL SPOLEČNOSTI

Jedním z podniků zabývajících se konstrukcí tvářecích nástrojů a výrobou lisovaných dílů je ROSTRA s.r.o., (Obr. 3). Provozovna této firmy sídlí ve Vizovicích ve zlínském kraji a Zkušenosti této společnosti s lisováním plechových dílů na postupových a tandemových nástrojích jsou dlouholeté. Výrobní prostory (lisovna) jsou vybaveny periferními linkami a výstředníkovými klikovými lisami. V současné době produkty lisovny nachází uplatnění především v automobilním průmyslu, dále pak v elektrotechnice, plastikářském průmyslu a zdravotnictví [9].



Obr. 3 Pohled na sídlo společnosti Rostra s.r.o. [9]

2. ROZBOR OPOTŘEBENÍ NÁSTROJŮ

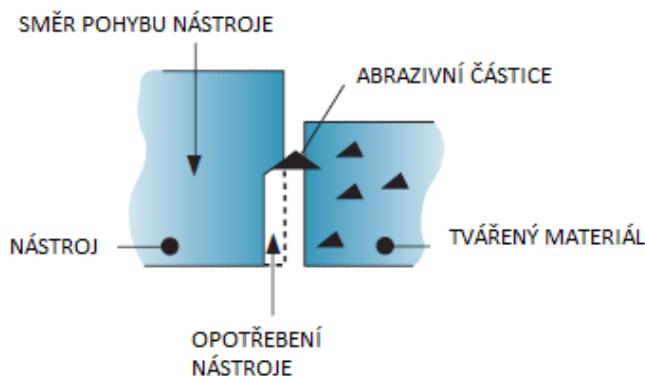
Opotřebení nástroje představuje nežádoucí proces, který vzniká při vzájemném působení funkčních částí nástroje a tvářeného materiálu. Měřítkem opotřebení není jen úbytek materiálu, ale i celková změna kvality funkčního povrchu součásti. Způsobuje zhoršení funkce a vede k předčasnému vyřazení nebo k úplnému porušení nástroje. Opotřebení se projevuje jako odstraňování nebo přemísťování částic hmoty z funkčního povrchu nástroje [10], [11].

Aby bylo možné nástroj opravit nebo upravit, je důležité nejprve zjistit, jakým způsobem byl nástroj porušen (opotřebován). Daná opotřebení vznikají buď osaměle, nebo v různých kombinacích. V závislosti na způsobu porušení volíme vhodnou technologii opravy tak, aby byla zajištěna dostatečná účinnost a bezpečnost pro další provoz. Mezi nejběžnější druhy porušení nástrojů (v závislosti na tvářecí operaci) patří zadírání, rýhování, vyštipování a lomy [12], [10].

Výše uvedené typy porušení lze zařadit podle ČSN 01 5050 do tří základních mechanismů opotřebení [12].

2.1 ABRAZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

Abrazivní opotřebení řadíme mezi dominantní druhy opotřebení. Vzniká při kluzném pohybu za současného silového působení abrazivních částic a funkčního povrchu nástroje. Při tomto způsobu opotřebení dochází k oddělování a přemísťování částic materiálu nástroje. Pohyb částic nacházející se mezi funkčními povrchy může být volný (kdy částice vnikly mezi funkční povrchy samostatně) nebo vázaný v tvářeném materiálu. Schematicky je opotřebení znázorněno na Obr. 4. Opotřebenou hranu nástroje lze pozorovat také na Obr. 5 [13], [14], [15], [16].



Obr. 4 Schéma abrazivního opotřebení [16]



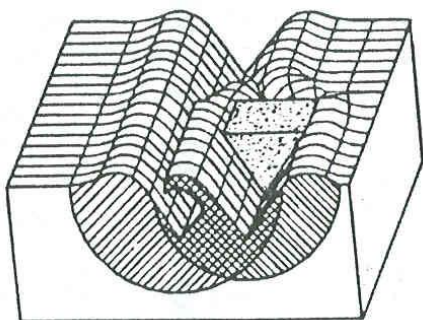
Obr. 5 Opotřebení hrany nástroje [16]

Abrazivní částice, nacházející se mezi kontaktními plochami, způsobují vlivem působícího zatížení rýhy na povrchu nástroje. Rýhování povrchu vždy předchází plastická deformace [10].

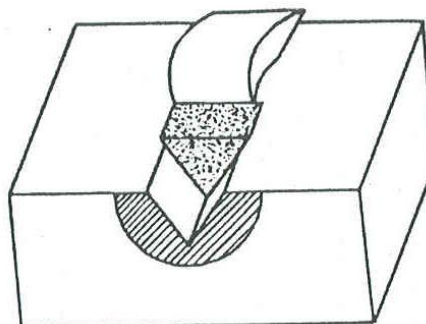
Při vzájemném pohybu mohou nastat tyto dvě situace:

- Plastická deformace vzniká rýhováním povrchu nástroje abrazivními částicemi. Před abrazivní částicí se vytváří nárůstek, následně také nával kolem rýhy (Obr. 6). V tomto případě nedochází k úběru materiálu nástroje, ale celý objem rýhy je přemístěn ve formě návalu na okraj vzniklé rýhy [14], [15], [10].

- Ke vzniku návalů nedochází na okrajích rýh, ale celý objem této rýhy je odstraněn z povrchu nástroje mikrořezáním, a to ve formě třísky (Obr. 7). Tento způsob opotřebení je v praxi častější [14].



Obr. 6 Rýhování povrchu s návalem [15]



Obr. 7 Rýhování povrchu s bez návalu s odstraněním třísky [15]

U obou případů se na spodní části rýhy často vytváří trhliny, které v dalších operacích mohou vést k porušení nástroje. Důležitými faktory ovlivňujícími opotřebení nejsou jen abrazivní částice, ale i přitlačné síly a délka dráhy, na které dochází k abrazi. Se zvyšováním přitlačné síly dochází ke zvyšování tlaku, který nástroj vyvíjí na tvářený materiál, čímž dochází k lineárnímu zvýšení počtu rýh na povrchu nástroje [10]. Plastická deformace na povrchu nástroje vzniká i v případě, kdy je zatěžující síla malá. Se zvyšující se plastickou deformací roste počet nově vzniklých abrazivních částic, které se podílejí na zvýšení intenzity abraze [10].

2.1.1 ABRAZIVNÍ ČÁSTICE

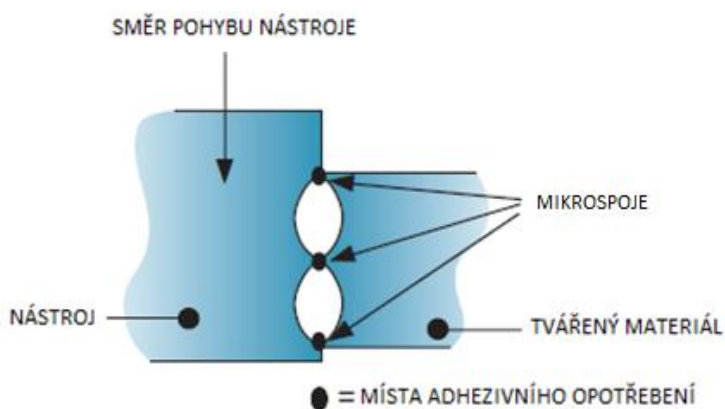
Abrazivní částice, účastníci se procesu abraze, představují částice s vyšší tvrdostí, než jakou má opotřebovávaný povrch nástroje. Těmito tvrdými částicemi, rýhující povrch nástroje, mohou být látky obsažené nejen v tvářeném materiálu jako vměstky, ale i nečistoty, které se dostaly mezi kontaktní povrchy z okolního prostředí. Abrazivní částice mohou vzniknout také od adhezivního opotřebení, kdy od třecího procesu vznikají částice, které jsou vlivem zatížení a pohybem plasticky deformovány a stávají abrazivními pro nástrojový materiál [17] [18].

Mezi hlavní vlastnosti těchto částic patří geometrie, orientace, tvrdost a pevnost. Geometrie a orientace částic má vliv na velikost úběru materiálu z povrchu nástroje. Na rýhování a odstraňování materiálu se mohou podílet jen taková zrna, která jsou vhodně orientovaná. Tvar částice totiž ovlivňuje vzniklý reliéf na povrchu nástroje. Ostrohranný tvar vytváří škrábance. Zaoblená zrna naopak způsobují důlky, které navíc povrch zpevňují. Abraze se zvyšuje s velikostí částic, přičemž opotřebení volnými částicemi mezi funkčními povrchy se účastní jen ty částice, které jsou největší [17], [18].

2.2 ADHEZIVNÍ OPOTŘEBENÍ

Adhezivní opotřebenění vzniká u styčných povrchů, které nejsou hladké. Tyto nerovnosti v místě styku nástroje s tvářeným materiálem způsobí zpočátku elastickou deformaci. Jakmile tlaková napětí v kontaktu překročí mez kluzu v tlaku, dojde k deformaci plastické [19].

Mezi nástrojem a tvářeným materiálem vznikají při nerovnostech povrchu velké adhezivní síly, které narušují povrchové vrstvy a vytváří mikrospoje (Obr 8). Ty jsou dále vlivem pohybu nástroje narušovány vnějšími silami na původní ploše nebo pod povrchem. V důsledku plastické deformace ve styčných místech dochází ke značnému zpevnění povrchové vrstvy, která má vyšší pevnost, než je pevnost podpovrchová. To má za následek zvýšení teploty v lokálních místech a lepší podmínky pro zvýšení difuze. Za těchto podmínek budou částice měkkého materiálu (polotovaru) přenášeny na tvrdý povrch nástroje. Vytvářenou vrstvu měkkého materiálu na nástroji lze charakterizovat jako povlak (Obr. 9), jehož částice se mohou přenášet zpět na měkký materiál [11], [16], [19].

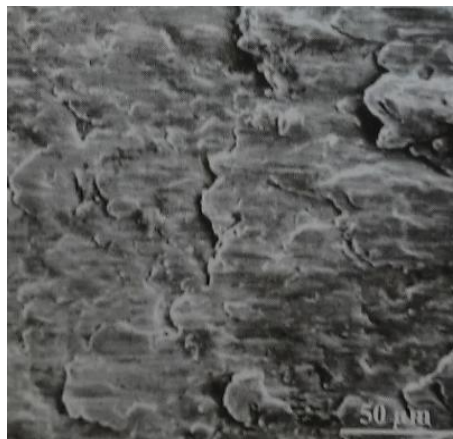


Obr. 8 Schéma adhezivního opotřebenění [16]

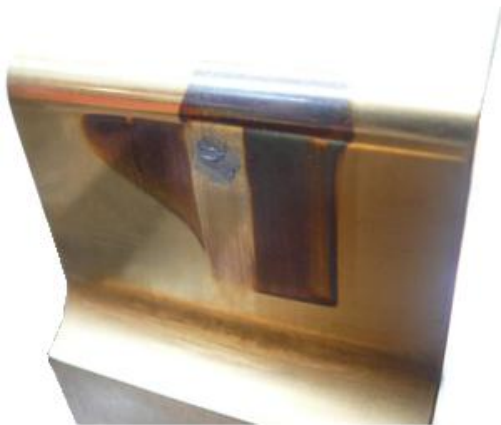


Obr. 9 Adhezivně opotřebený nástroj [16]

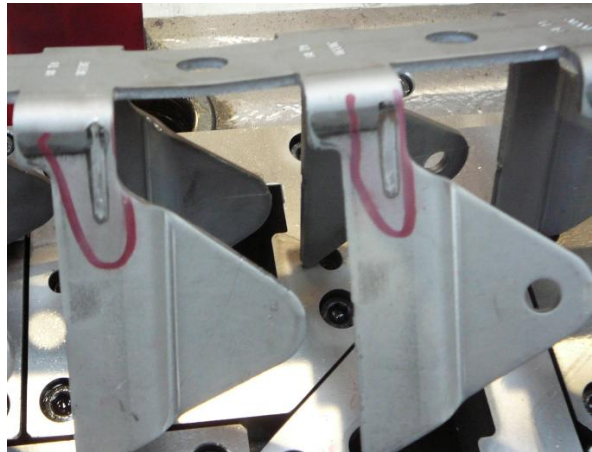
Adhezivní opotřebenění je do určité míry přijatelné. Avšak s růstem počtu cyklů nástroje dochází k intenzivnímu poškození třecích ploch na nástroji, což způsobuje tvorbu částic otěru. Důvodem je střídavý přenos částic z měkkého materiálu na tvrdý povrch nástroje a dále zpět na měkký materiál. Vzniklé částice otěru způsobují rýhování povrchu nástroje. Zároveň zapříčiňují tvorbu mikrotrhlin (Obr. 10) pod povrchem. Jejich šíření je ovlivněno působícím zatížením v kontaktních místech. Odstraněné částice otěru jsou ve tvaru lístků nebo vrstevnatých útvarů. Vlivem těchto činitelů se doba spolehlivosti nástroje velmi zkracuje, přičemž mechanismus v pokročilém stádiu je obdobný, jako abrazivní opotřebenění [15], [19], [11].



Obr. 10 Adhezivně opotřebený povrch nástroje [15]



Obr. 11 Poškozená ohybová plocha



Obr. 12 Poškozený výlisek

V plošném tváření, u střížných a ohybových nástrojů, se intenzivní adheze projevuje jako zadírání. To je možné charakterizovat délkou nebo plochou. V praxi způsobuje zadírání dvojí poškození - poškození samotného nástroje a lisované součásti. Názorným příkladem je ohybová plocha (Obr. 11) a výlisek na (Obr. 12) [2].

V případě dřívku střížníku je rozsah zadírání lineárně závislý na hloubce jeho vniku do plechu. Míra zadírání funkčních ploch závisí na drsnosti povrchu nástroje, střížné nebo ohybové vůli, chemickém složení materiálu a na velikosti nástroje. Je vhodné volit drsnost povrchu nástroje spíše nižší, aby bylo zabráněno rýhování materiálu plechu [2], [19].

Mezi další faktory ovlivňující opotřebení patří:

➤ **Zatížení**

Měnné nebo konstantní zatížení působící v jednom nebo více směrech má vliv na proces tření a tím na rychlost opotřebení. Současně platí, že tvářený materiál o větší tloušťce a vyšší mezi pevnosti způsobuje větší zatížení než materiál s nižší mezi pevností a menší tloušťkou [19].

➤ **Kluzná rychlost**

Kluzná rychlost je úměrná počtu zdvihů lisu. Ovlivňuje množství tepelné energie vzniklé v místě kontaktu stykových míst. S vzrůstajícím počtem zdvihů se úměrně zvyšuje kluzná rychlost, což způsobuje růst intenzity plastické deformace a vznik mikrospojů. Tyto mikrospoje jsou porušovány, což má pozitivní vliv na růst teploty. K opotřebení dochází z tohoto důvodu rychleji [19].

➤ **Mazání**

Hlavní úlohou maziva je oddělení stykových povrchů a místních kontaktních maxim ve styku nerovností. Zároveň vytváří ochranu kovu před okolními vlivy a odvádí teplo z místa kontaktu částí nástroje a materiálu. Správnou volbou maziva dochází také ke snížení celkového otěru a přenosu materiálu mezi povrchy. V případě, že nedochází k dostatečnému mazání povrchů, roste riziko porušení mazací vrstvy, což dále způsobuje růst intenzity opotřebení [19].

Tab. 1 Přehled používaných maziv [21]

Mazivo	Viskozita	Použití
MULTIDRAW KLT N16LM	160 mm ² /s / 40°C	Ocel, hliník, nerezová ocel
MOBILFORM 404	3,7 cSt/40°C	Ocel, hliník, mosaz, měď

V plošném tváření ocelí jsou k mazání používány hlubokotažné samoodpařovací oleje na minerální bázi. Obsahují aditiva a tukové přísady s dobrou protikorozní ochranou i po odpaření oleje. Oleje jsou na plech aplikovány ručně pomocí rozprašovačů, nebo automaticky válcováním [21].

Příklady olejů, používaných ve společnosti ROSTRA s.r.o. jsou uvedeny v Tab. 1.

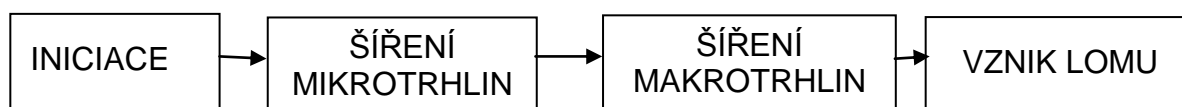
2.3 ÚNAVOVÉ OPOTŘEBENÍ

Případ únavového opotřebení je definován jako lokální strukturní poškození nástroje, nejčastěji v povrchové vrstvě. Příčinou je cyklické namáhání stykových vrstev [15].

Opakované cyklické zatěžování v kontaktních místech způsobí iniciaci a vznik trhliny. Trhlina se natáčí do kolmého směru v závislosti na působícím zatížení. Na jejím čele vzniká v důsledku velké koncentrace napětí plastická oblast. Iniciace vzniká v místech s vruby.[15]

Kontaktní únavu je možné vyjádřit vzájemným vztahem mezi stykovým napětím a počtem cyklů do doby vzniku prvních iniciátorů poškození. Z hlediska počtu cyklů je možné únavu rozlišit na nízkocyklovou (méně než 10⁴ cyklů do lomu) a vysokocyklovou (více než 10⁵ cyklů do lomu) [15].

Kompletní stádia opotřebení od iniciace až do vzniku lomu jsou popsána na modelu níže, viz Obr. 13.



Obr. 13 Stádia porušení součásti [15]

Poškození se projevuje zpočátku vznikem mikrotrhlin. Ty se však časem zvětšují a spojují se s ostatními až do stádia, ve kterém se povrchová část materiálu nástroje odlupuje (vznik lomu) a vytváří se jamky (viz Obr. 14). Lomová plocha je charakteristická postupovými zakřivenými čarami. Střed zakřivených čar tvoří ohnisko únavového lomu, kde vznikla trhlina [15], [20].



Obr. 14 Odlupování části nástroje [16]



Obr. 15 Pokročilé stádium vyštipování nástroje [16]

Únavová opotřebení se nevztahují pouze na povrchové vrstvy, ale mohou také iniciovat únavové trhliny pod povrchem nástroje. Jestliže tato skutečnost není zjištěna včas, pak s růstem počtu cyklů je třeba očekávat vyštipování po velkých částech a ztrátě úplné funkčnosti, Obr. 15 [15].

Poškození je výrazně ovlivňováno ostrohranným zaoblením v povrchové části kontaktních těles a nepříznivým účinkem oxidů. U materiálů s nízkou schopností plastické deformace dochází k porušení křehkým lomem, kdy lomová plocha je hladká [15].

Zvýšit odolnost oceli proti kontaktní únavě lze technologií chemicko-tepelného zpracování, například nitridací. Povrchová nitridovaná vrstva je zpevněná, díky čemuž můžeme získat užité vlastnosti vůči opotřebení i vůči únavě materiálu. Leštěné povrchy s nízkou drsností a materiály s minimálním podílem nečistot přispívají také k lepší odolnosti vůči únavovému opotřebení [15].

3. ZÁKLADNÍ MATERIÁL PRO EXPERIMENT

3.1 MATERIÁL NÁSTROJE

Nejvíce nástrojů vyřazených z výroby tvoří střížné a ohybové nástroje, jejichž funkční povrchy podléhají největšímu opotřebení. Nástrojová ocel X153CrMoV12, označena podle normy EN ISO 4957, je nepoužívanější 12%Cr ocelí pro tváření za studena. Tento druh oceli je ve výrobě zastoupen v poměrně velkém množství. Podle vysokého obsahu, především chromu, je nazývána také chrom-ledeburitickou ocelí [22]

Další označení oceli podle norem jsou uvedeny níže v Tab. 2.

Tab. 2 Označení základního materiálu podle norem [22]

EN ISO 4957	EN 10027-2	AISI	ČSN
X153CrMoV12	1.2379	D2	19 573

Nástrojové oceli X153CrMoV12 obsahují v porovnání s jinými nástrojovými ocelmi nižší obsah uhlíku, což vede k vyšší houževnatosti oceli. Přísadové karbidotvorné prvky, kterými jsou chrom, molybden, mangan a vanad zvyšují odolnost proti opotřebení. Množství obsahu legujících prvků, především chromu, řadí ocel také mezi korozivzdorné. Kladnou vlastností je také odolnost proti deformaci a rozměrová stabilita. V dalších kapitolách této práce bude uváděna ocel podle normy EN ISO 4957 jako X153CrMoV12 [1], [22].

Podrobné chemické složení oceli je uvedeno v Tab. 3.

Tab. 3 Chemické složení základního materiálu [20]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	P [%]	S [%]	Cr [%]	Mo [%]	V [%]
1,45-1,60	0,10-0,60	0,20-0,60	max. 0,030	max. 0,030	11,0-13,0	0,75	0,75

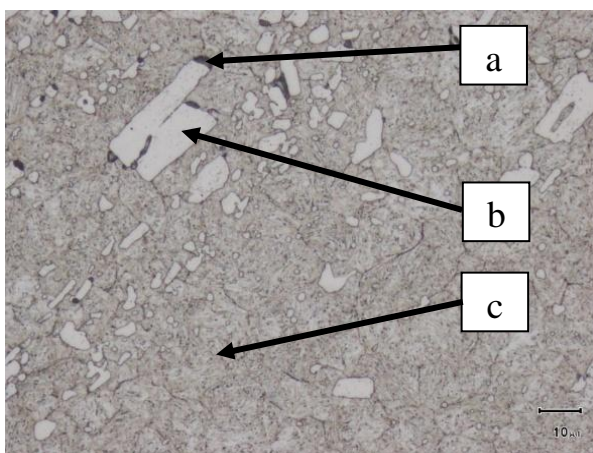
3.2 TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Pro tepelné zpracování jsou oceli dodávány v měkkém žíhaném stavu. Tepelné zpracování je rozděleno do těchto fází:

- Žíhání v oceli je prováděno z důvodu snížení teplotních a mechanických napětí vzniklých po hrubování (obrábění) nebo tváření za studena. Ocel je zahřívána rovnoměrně, a po dosažení teploty žíhání (650 – 700°C), setrvává při této teplotě po dobu asi dvou hodin. Po uplynutí doby na žíhací teplotě je ocel pomalu ochlazena, a to nejčastěji v peci. Důvodem pomalého ochlazení je eliminace vzniku dalších napětí [23], [24].
- Ve druhé fázi tepelného zpracování oceli přichází na řadu kalení. Struktura oceli před tepelným zpracováním je tvořena perlitem, jedná se o strukturu tzv. feriticko-karbidickou. Ohřev oceli na kalící teplotu probíhá stupňovitě, aby vyrovnání teploty na povrchu a v jádře proběhlo stupňovitě a aby nedošlo k velkým napětím. Při ohřevu dochází ke změně struktury z feritické na austenitickou a proto je někdy operace nazývána jako austenitizace. Teplota zahřáté oceli se pohybuje v rozmezí 1060 - 1080°C po dobu 30 minut. Při této teplotě je rozpuštěno dostatečné množství karbidů prvku (Tab. 4) v austenitu. Podstatný vliv výše teploty a délky výdrže způsobuje růst austenitického zrna [23], [24].

Ochlazení oceli z kalící teploty se provádí zmrazováním, z důvodu konce martenzitické přeměny pod bodem mrazu. Ocel je po uplynutí doby na austenitizační teplotě ochlazena větší než kritickou rychlostí ochlazování. Výsledkem je zakalení oceli dané vznikem martenzitu. Po ochlazení oceli v oleji následuje ochlazení v kapalném dusíku o teplotě mínus 80°C. Ochlazením oceli v dusíku se zmenší podíl zbytkového austenitu ve struktuře oceli a dojde k úplné martenzitické přeměně [1], [23], [24].

- Závěrečnou fází tepelného zpracování je popouštění, které po fázi kalení zavádíme vždy. Ocel totiž vykazuje velká napětí způsobující popraskání a obsahuje také množství zbytkového austenitu, které je potřeba popouštěním snížit [24]. Popouštění se provádí na tzv. sekundární tvrdost při teplotě v rozmezí 500 - 600°C. Důvodem tak vysoké teploty popouštění je stabilita zbytkového austenitu při teplotách pod 500°C. Při ohřevu v tomto rozmezí teplot dochází k precipitaci karbidů chrómu, molybdenu, vanadu v oceli. Při ochlazení z teploty popouštění dochází k přeměně zbytkového austenitu na martenzit. Vznik martenzitu a precipitace karbidů (Tab. 4) jsou příčinou vysoké tvrdosti oceli při vysokoteplotním popouštění. Vzniklý martenzit při ochlazení je nutné znovu popoustit, proto se popouštění provádí nejčastěji třikrát. [24] Struktura námi zkoumané oceli X153CrMoV12 po tepelném zpracování je tvořena martenzitem, karbidyckými fázemi a zbytkovým austenitem (Obr. 16) [23], [24]. Výsledná tvrdost po tepelném zpracování je 60±2 HRC.



a- zbytkový austenit; b - karbidy; c - martenzit

Obr. 16 Struktura oceli X153CrMoV12 po tepelném zpracování [1]

Tab. 4 Druhy karbidů ve struktuře [25]

Karbidy	Tvrdost [HV]	Prvky
M_3C	950	Mangan
$M_{23}C_6$	1000 – 1100	Chrómu
M_7C_3	1600 – 1800	Chrómu
M_2C	1700 - 1900	Molybden
M_4C_3	2200 – 3000	Vanad

3.3 TVÁŘENÝ MATERIÁL

Plechý jsou zpracovávány ve formě svitků, jak je zobrazeno na Obr. 18 nebo přístřihů (Obr. 17) z pásů nerezových, mosazných nebo hliníkových plechů.



Obr. 17 Přístřihy plechu[26]



Obr. 18 Svitky [26]

Svítek je zajištěn na odvíjecím zařízení. Pás plechu směřuje nejprve přes rovnačku, dále přes podavač až do nástroje umístěného v lisu. Druhým způsobem je ruční zakládání přístřihů plechu do nástroje. Tloušťka lisovaného plechu se pohybuje v rozmezí od 0,4 mm do 4 mm.

V Tab. 5 níže jsou uvedeny příklady ocelových materiálů zpracovávaných v operacích stříhání, ohýbání a tažení.

Tab. 5 Přehled lisovaných materiálů [26]

EN 10027-1 CR 10260	EN 10027-2	Mez pevnosti v tahu Rm[MPa]	Mez kluzu Re [MPa]	Tažnost A ₈₀ [%]	
				tl. < 3mm	tl. > 3mm
S420MC	1.0980	480 - 620	420	16	19
S550MC	1.0986	600 - 760	550	12	14
S355JR	1.0045	510 - 680	355	max. 18	min. 22
DC03	1.0347	270 - 370	240	min. 34	
HC420LA	1.0556	470 - 590	420	min. 18	

Vysvětlivky:

- Mikrolegované oceli válcované za tepla s vyšší pevností
- Nelegované konstrukční oceli válcované za studena
- Nízkouhlíkové oceli válcované za studena
- Mikrolegované oceli válcované za studena s vyšší pevností

Konstrukční oceli S420MC a S550MC mají jemnozrnnou strukturu, což představuje důvod, proč se vyznačují vyšší mezí kluzu. Díky velmi dobrým vlastnostem, především pevnosti, jsou výlisky používány pro konstrukční účely v energetice a automobilovém průmyslu. Označení MC charakterizuje lesklý, kovově čistý povrch plechu s mírnými škrábanci[24], [27].

Zástupcem nelegovaných konstrukčních ocelí je ocel S355JR. Tento typ materiálu je možné využít v místech, kde se předpokládá dynamické namáhání součástí. Ocel má zaručenou hodnotu nárazové práce KV=27 J při teplotě +20°C[24], [27].

Mikrolegované oceli válcované za studena s vyšší pevností jsou vytvrditelné, protože obsahují Niob, Titan i Vanad. Struktura oceli je jemnozrnná. Od oceli se díky jejímu chemickému složení očekává odolnost vůči dynamickému namáhání [24], [27].

4. SVAŘITELNOST NÁSTROJOVÝCH OCELÍ

Výraz svařitelnost obecně vyjadřuje vhodnost materiálu k vytvoření svaru pro funkčně vyhovující spoj při daných možnostech svařování [28].

Faktory, ovlivňující svařitelnost dělíme na:

- a) **Materiálové** (chemické složení, metalurgie výroby, tváření, tepelné zpracování),
- b) **technologické** (technologie svařování, podmínky svařování, přídavný materiál),
- c) **konstrukční** (tloušťka, tvar, velikost základního materiálu, rozložení svarů) [28].

Výše uvedené faktory mají vliv také na tzv. svařitelnost nejen konstrukčních ocelí, ale i zmiňovaných legovaných nástrojových ocelí [28], [29].

Svařování legovaných nástrojových ocelí se liší od svařování nízkouhlíkových, nelegovaných ocelí, a to z hlediska materiálových a technologických faktorů. Z pohledu chemického složení nástrojové oceli obsahují podstatně vyšší množství uhlíku a legujících prvků. Z toho důvodu je svařitelnost obtížnější než u nízkolegovaných nebo nelegovaných ocelí. U nástrojových ocelí není možné vyjádřit žádný adekvátní vztah, který by posuzoval vhodnost ocelí k svařování a tak je posuzován individuální vliv jednotlivých prvků [28] [29].

4.1 VLIV CHEMICKÉHO SLOŽENÍ

Uhlík (C) má vliv na vznik martenzitu ve struktuře po rychlém ochlazení. S rostoucím obsahem uhlíku se zvyšuje mez kluzu, mez pevnosti a tvrdost. Zvyšuje se tak odolnost proti opotřebení a odolnost proti tlakovému namáhání. Snižování obsahu uhlíku má kladný vliv na zvyšování plastických vlastností, především houževnatosti, tažnosti a kontrakce [11], [30]

Z uvedených vlastností vyplývá, že uhlík má negativní vliv na svařitelnost oceli. V důsledku vysokého obsahu uhlíku lze při svařování předpokládat vznik velkých napětí s tvorbou studených trhlin [28].

V nástrojových ocelích se jeho obsah pohybuje nad 0,3%. Jedná se o velmi důležitý prvek, který významně ovlivňuje žádoucí vlastnosti oceli [11] [28].

Mangan (Mn) patří mezi austenitotvorné prvky. To znamená, že se zvětšujícím se obsahem manganu se zvětšuje oblast austenitu, což má dále za následek zvýšení plasticity. Mangan posouvá eutektoidní koncentrace k nižšímu obsahu uhlíku, čímž dochází zjemnění lamel perlitu a tím ke zvýšení meze pevnosti a meze kluzu oceli. Příliš vysoký obsah manganu má na ocel negativní vliv, protože stabilizuje zbytkový austenit a snižuje tvrdost její tvrdost. Mangan velmi dobře odolává abrazi. Dokáže na sebe vázat síru a vytvářet tak MnS. Působí tak v oceli jako dezoxidační přísada. Spolu s uhlíkem zvyšuje kalitelnost a prokalitelnost oceli, čímž zvyšuje riziko vzniku studených trhlin. Z toho důvodu můžeme zkonstatovat, že vliv manganu na svařitelnost oceli je negativní [11], [28], [30].

Molybden (Mo) patří do skupiny feritotvorných prvků a má podobné vlastnosti jako wolfram. Tento prvek výrazně zvyšuje odolnost proti opotřebení, protože tvoří karbidy M_2C . Molybden se podílí na zvyšování prokalitelnosti a vyšší houževnatosti, zvyšuje korozní odolnost oceli a snižuje popouštěcí křehkost [28], [30].

Prvek má také zásluhu na vzniku velkých napětí při svařování, a to z důvodu vysokého modulu pružnosti (324GPa). Navíc je zapotřebí vlivem vysoké vrubové citlivosti spoje před svařením upravit do hladkého povrchu. Z důvodu poměrně vysoké ceny molybdenu se v některých případech nahrazuje část obsahu wolframem [11], [28], [30].

Wolfram (W) má velmi dobré otěruvzdorné vlastnosti, neboť tvoří karbidy WC a W_2C . Jak již bylo zmíněno výše, jeho vlastnosti jsou podobné molybdenu. Při svařování vyžaduje předehřev, protože při pokojové teplotě je křehký. Vlivem vrubové citlivosti je totiž zapotřebí, aby svarová plocha byla hladká s plynulými přechody. Wolfram je taktéž citlivý na obsah nečistot, především vodíku, které způsobují praskání [28] [30].

Vanad (V) tvoří jemné globulární karbidy typu MC vyznačující se tvrdostí až 2500 HV. Navazuje na sebe uhlík, což má za důsledek zhoršení obrobitelnosti, na druhou stranu ale i výrazné zlepšení otěruvzdornosti. Karbidy vanadu jsou při austenitizační teplotě rozpuštěny jen částečně a zabraňují růst austenitického zrna. Vanad v oceli zvyšuje mez pevnosti, mez kluzu a při svařování zmenšuje tepelně ovlivněnou oblast [11], [28], [30].

Chrom (Cr) patří mezi feritotvorné prvky zvyšující prokalitelnost oceli díky rozpuštění karbidů v austenitu a zvyšuje odolnost proti opotřebení. Chrom výrazně zvyšuje korozní odolnost. Společně s uhlíkem tvoří karbidy M_3C , M_7C_3 a $M_{23}C_6$ tvrdostí kolem 1700 HV. Z důvodu vysoké prokalitelnosti má špatný vliv také na svařitelnost [11], [24], [25], [30].

Křemík (Si) patří společně s manganem k desoxidačním činidlům, ale i přísadovým prvkům, protože zvyšuje tvrdost, mez pevnosti a mez kluzu. Zhoršuje tvárnost a nepříznivě působí na hrubnutí zrna. Obsah křemíku v nástrojových ocelích se pohybuje kolem 0,3 % a společně s uhlíkem zvyšuje pravděpodobnost vzniku trhlin při svařování [11], [28].

Nikl (Ni) je základním austenitotvorným prvkem. Do oceli je přidáván za účelem zvýšení její houževnatosti a prokalitelnosti. Pevnost niklu je větší než chromu, ale zároveň nižší než manganu a křemíku. Niklové oceli s obsahem 3 – 4% Ni tvoří samostatnou skupinu nástrojových ocelí, které dobře snášejí rázové namáhání. Oceli s tímto obsahem niklu odolávají vyštipování ostří střížných nástrojů [11], [28], [30], [24].

V legovaných nástrojových ocelích se moc nevyskytuje, protože při dlouhodobé výdrži na kalící teplotě se rozpouští v základní matici, což způsobuje snižování houževnatosti. Proto je součástí přídatných materiálů na tvorbu mezivrstev. Z důvodu zvyšující se prokalitelnosti hodnotíme jeho vliv na svařitelnost jako nepříznivý [28], [30]

Vodík (H) se dostává do svarového kovu rozkladem vzdušné vlhkosti při tavení během svařování. Při svařování způsobuje náchylnost oceli ke vzniku pórů, trhlin ve svarovém kovu a v tepelně ovlivněné oblasti. Jeho přítomnost v oceli je proto nežádoucí. Vodík je důsledkem vlhkosti na povrchu základního materiálu nebo přídatného materiálu či nedostatečné očištění nástrojového materiálu od zbytků maziv po předchozím lisování [11], [28], [30].

Síra (S) je přítomna v oceli od počátku výroby z používaných surovin a je nežádoucím prvkem. S železem tvoří sulfid FeS, který snižuje houževnatost oceli a za okolní teploty zvyšuje riziko k popouštěcí křehkosti. Jestliže ocel obsahuje vyšší množství uhlíku je zapotřebí snížit obsah síry na minimum, protože zvyšuje sklon k tvorbě horkých trhlin [28].

Fosfor (P) se dostává do oceli stejným způsobem jako síra a stejně tak má negativní vliv na svařitelnost proto musí být jeho hodnota limitována. Důvodů je několik. Zhoršuje vrubovou houževnatost ocelí, podporuje vznik popouštěcí křehkosti a s jeho vyšším obsahem roste také náchylnost oceli k lámavosti za studena [28].

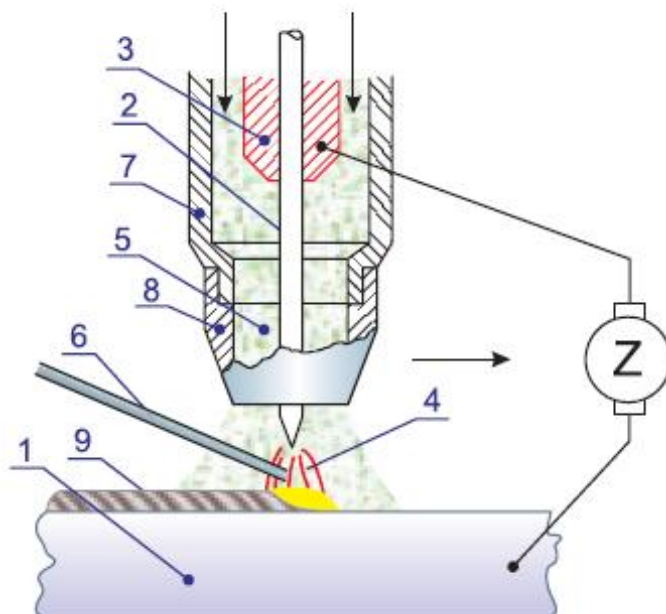
4.2 TECHNOLOGIE TIG/WIG

Pro navařování i pro svařování je tato technologie v ochranné atmosféře inertního plynu mezinárodně označována zkratkou TIG – WIG (**TungstenInertGas – Wolfram InertGas**). V literatuře také ji můžeme nalézt také pod pojmem GTAW (**GasTungstenArcWelding**) [31].

Jedná se o ruční, tavnou technologii, která se používá pro renovace malých i větších poškozených nástrojů. V následujících kapitolách jsou uvedeny jen odlišnosti pro navařování nástrojových ocelí od navařování jiného druhu oceli [31].

Legenda:

- 1 – Základní materiál,
- 2 – elektroda,
- 3 – kontaktní kleštiny,
- 4 – elektrický oblouk,
- 5 – ochranný plyn,
- 6 – přídavný materiál,
- 7 – hubice,
- 8 – tryska,
- 9 – návar.

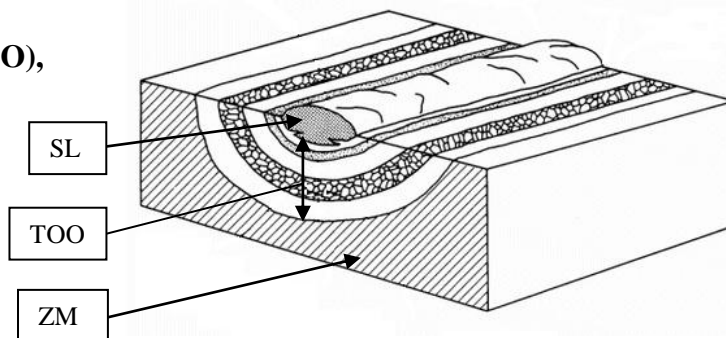


Obr. 19 Schéma navařování technologií TIG [8]

V důsledku průchodu napětí a proudu vzniká kontinuální oblouk v místě mezi netavící se wolframovou elektrodou a základním materiálem za současného proudění ochranného plynu. Teplota v oblouku dosahuje přibližně až 5000°C a lze redukovat vstupním napětím a proudem. Jak již název napovídá, nedochází k tavení elektrody, tudíž je zapotřebí současně při navařování přidávat přídavný materiál, který je veden v oblouku, jak je naznačeno na Obr. 19. Dochází tak k úplnému natavení přídavného materiálu na lokální místo základního materiálu. Základní materiál není nataven buďto vůbec, nebo jen částečně, a to v závislosti na podmínkách navařování [8], [31], [32].

Při navařování, stejně jako při svařování, tak vznikají tři návarové oblasti:

- a) Svarová lázeň (SL),
- b) tepelně ovlivněná oblast (TOO),
- c) základní materiál (ZM) [11].



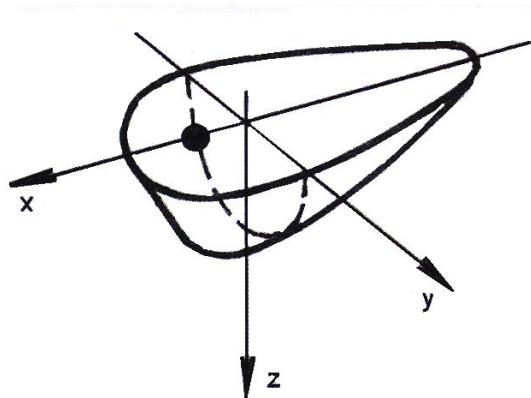
Obr 20. Návarové oblasti [33]

4.2.1 STANOVENÍ TECHNOLOGICKÉHO POSTUPU

Tvar a velikosti předešlých vyjmenovaných oblastí návaru jsou ovlivňovány nejen samotnými podmínkami navařování, ale také například použitým ochranným plynem nebo plynovou dýzou. Stanovený technologický postup (WPS) zahrnuje tyto parametry [7].

➤ Tepelný režim

Tvar návarové i svarové lázně lze přirovnat k části elipsoidu, jak je označeno na Obr. 21. Na čelní straně tohoto elipsoidu, ve směru navařování, je neintenzivnější přívod tepelné



energie vzniklé od zdroje tepla. V tomto místě dochází k úplnému natavení přídavného materiálu a v závislosti na výše tepelné energie může dojít k i částečnému natavení základního materiálu. Na opačné straně návarové lázně mezi tím probíhá její krystalizace [28], [34].

Tepelný režim lze označit za vnesené teplo do návarové lázně a ovlivňuje velikost a tvar lázně. Výše vneseného tepla se volí v závislosti na geometrii, fyzikálních vlastnostech, chemickém složení základního a přídavného materiálu [28].

X – směr svařování, Y – směr šířky svaru,

Z – směr hloubky závaru

Obr. 21 Svarová lázeň [28]

Z hlediska použité technologie navařování jsou rozhodujícími faktory, které ovlivňují velikost a tvar svarové lázně svařovací napětí, proud a rychlost svařování [11].

Množství tepla vneseného do návaru spotřebovaného elektrickým obloukem lze vyjádřit měrným příkonem dle vztahu 4.2.1 [11].

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{10^3 \cdot v} \quad [\text{kJ}/\text{mm}] \quad (4.2.1)$$

kde:

Q [kJ/mm] – množství spotřebovaného tepla na jednotku délky svaru,

η [-] – koeficient účinnosti navařování (0,6),

U [V] – svařovací napětí,

I [A] – svařovací proud,

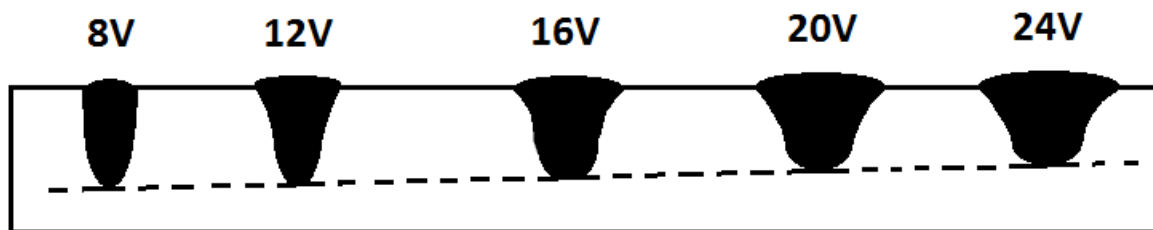
v [mm/s] – rychlost svařování.

➤ Svařovací napětí

Napětí na oblouku představuje rozdíl mezi elektrodou a povrchem svarové lázně. Se změnou napětí se úměrně mění tvar a velikost svarové lázně, přičemž hloubku závaru ovlivňuje velmi zřídka [36].

Jestliže napětí na oblouku vzrůstá, vyvíjí se více tepla. Toto teplo působí na větší plochu základního materiálu, housenka je širší a hloubka závaru malá [35], [36].

Naopak charakteristickými rysy nízkých napětí jsou úzké housenky s velkým převýšením. Nízká napětí mohou být dále příčinou nedokonalého natavení přídavného a v případě vícevrstvého navařování může dojít ke vzniku defektů [35], [36].



Obr. 22 Efekt napětí na vzhled svarové lázně [37]

Hodnoty napětí (Obr. 22) při navařování nástrojových ocelí se z praktických zkušeností pohybují do 20 V. Tyto hodnoty jsou z důvodu požadavku co nejméně tepelně ovlivnit okolí základního materiálu.

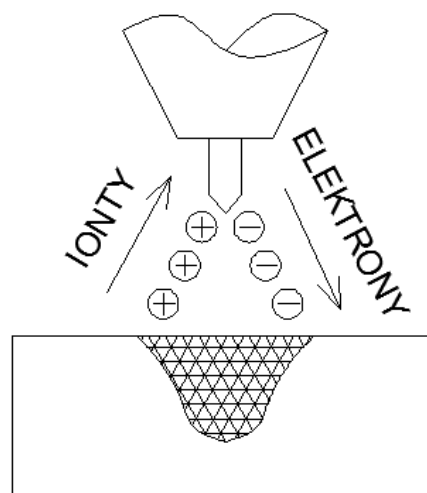
- **Svařovací proud**

Proud je parametrem, jehož vlastnosti určují způsob natavení přídavného a základního materiálu. Vlastnostmi proudu jsou myšleny zdroje proudu, způsob zapojení elektrody se základním materiálem [31].

Zapojení výše zmíněných součástí jsou vysvětleny na níže uvedených proudových zdrojích.

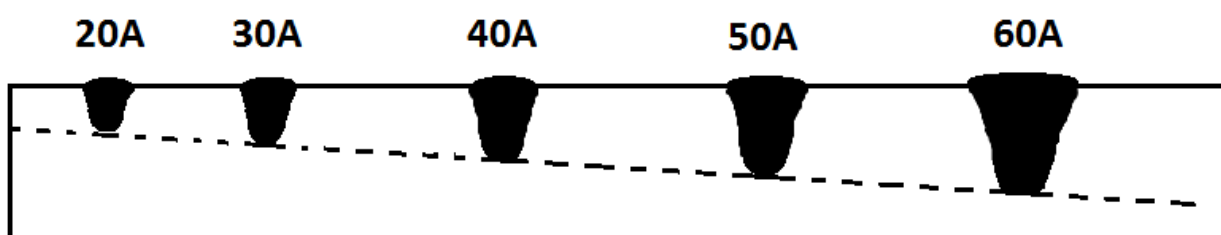
Stejnoseměrný – proud s přímou polaritou, kdy elektroda je katodou (záporný pól) a základní materiál anodou (kladný pól).

V případě zapojení a zapálení elektrického oblouku proud elektronů směřuje k základnímu materiálu. V důsledku proudících elektronů ve směru od elektrody k základnímu materiálu dochází k ohřevu přídavného i povrchu základního materiálu (Obr. 23). Tento ohřev je způsoben vysokou kinetickou energií (rychlostí) elektronů a tato energie se po interakci s povrchem materiálu mění na teplo. Vzniklý oblouk (oblouk), který je charakteristický pro technologii TIG/WIG je důsledkem procházejícího napětí. Vliv výše napětí a tím i velikost oblouku je popsáno v bodě výše [31], [35].



Obr. 23 Tok elektronů a iontů [30]

Při výše zmíněném polaritě vzniká nerovnoměrné rozložení tepla oblouku, kdy elektroda je tepelně zatížena z 1/3 a zbylé 2/3 celkového tepla je přeneseno do základního materiálu [31].

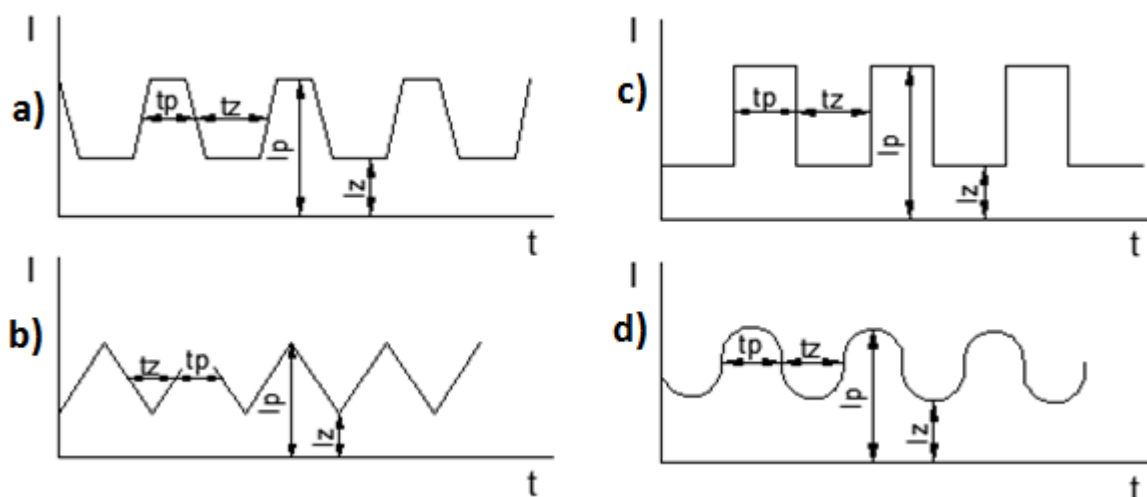


Obr. 24 Efekt proudu na vzhled svarové lázně [37]

Hloubka závaru závisí na výše proudu, jak je zřejmé z Obr. 24. Se zvyšující se hodnotou proudu úměrně stoupá proudová hustota a tím vyšší je i koncentrace tepla v elektrickém oblouku. V důsledku toho vzniká větší závar do základního materiálu. Šířka lázně se významně se změnou proudu nemění. Proud má velký podíl na velikost tepelně ovlivněné oblasti a z praxe je známo, že hodnota doporučené hodnoty proudu se pohybují kolem 30 až 40 A [35], [37].

Impulzní – proud, při kterém se jeho hustota mění pravidelně s časem mezi dvěma proudovými hladinami, jimiž jsou základní I_z a impulzní proud I_p . Polarita je stejná jako v předchozím stejnosměrném zapojení. Jednotlivé tvary impulzních proudů jsou znázorněny na Obr. 25 [36].

Jak je vidno z průběhů, obě zmíněné proudové hladiny se s časem střídají.



a) – lichoběžníkový, b) – trojúhelníkový, c) – pravouhlý, d) -sinusový
Obr. 25 Průběhy proudů při impulzním navařování [34]

Při impulzním proudu, který trvá po dobu t_p dosahuje proudová hustota v určitém bodě nejvyšší hodnoty [34].

Po uplynutí doby impulzního proudu přechází proud na základní. Úkolem základního proudu je zajištění nepřetržitého oblouku. Výše proudu se obvykle pohybuje od 1 do 15 A. Čas základního proudu t_z je důležitý z hlediska chladnutí svarové lázně. Jestliže doba základního proudu je delší než doba pulzu t_p , svarová lázeň má delší čas k tuhnutí. Naopak při menších časech základního proudu lázeň nemá dostatek času na tuhnutí a zvyšuje se hloubka závaru [34], [36].

U navařování legovaných ocelí je doporučen čas přestávky až dvojnásobek doby pulzu z důvodu co nejmenšího tepelného ovlivnění základního materiálu [34], [36].

U takto načasovaného impulzu lze dosáhnout hladkého návaru s plynulým přechodem do základního materiálu. Závary jsou podstatně menší než u stejnosměrného proudu. Návary připomínají body s penízkovým vzhledem [34], [36].

U lichoběžníkového zdroje proudů si lze nevšimnout strmosti křivek při střídání základního a impulzního proudu. Jedná se o tzv. přechodové stavy neboli **náběh a doběh**. V těchto pasážích dochází ke střídavému zapalování a zhasínání oblouku. Hodnoty náběhu (Slope up) i doběhu (Slope down) se pohybují v řádech od 0 až 10s a zajišťují plynulý přechod mezi základním a impulzním proudem [36].

Výhody impulzního proudu:

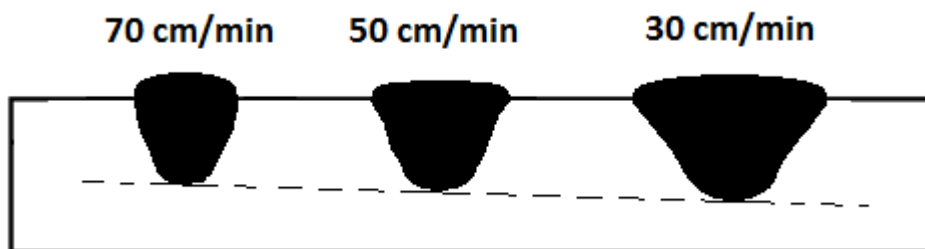
- Lepší mechanické a plastické vlastnosti návaru,
- menší tepelné ovlivnění základního materiálu a tím menší deformace,
- možnost regulace svařovacího proudu,
- dobrý vzhled a formování návarové housenky,
- minimální úroveň rozstříku [34].

Nevýhody impulzního proudu:

- Vysoká intenzita světelného záření oblouku [34].

➤ Rychlost svařování

Rychlostí svařování se rozumí rychlost postupného kladení svarových housenek. Jinak řečeno se jedná o změnu tepelné energie vzniklé od elektrického oblouku na jednotku délky návaru. Vše za podmínek konstantního proudu a napětí [35], [36].



Obr. 26 Efekt rychlosti svařování na vzhled svarové lázně [37]

Pro různé rychlosti svařování jsou jednotlivé tvary lázní schematicky znázorněny na Obr. 26. Tato schémata jsou pouze ilustrační a naznačují obecný vliv rychlosti svařování na tvar návarové lázně.

Z Obr. 26 je zřejmé, že příliš vysoká rychlost definuje svarovou lázeň jako protáhlou. V tomto případě nestačí vyvinuté teplo dostatečně natavovat přídavný materiál a taktéž se zmenšuje protavení základního materiálu [35], [36].

Naopak při nízké rychlosti je tvar lázně mírně oválný. Příliš nízká rychlost svařování způsobuje větší tepelné ovlivnění základního materiálu a dochází k větším závarům. Pokles rychlosti chladnutí svarové lázně [28].

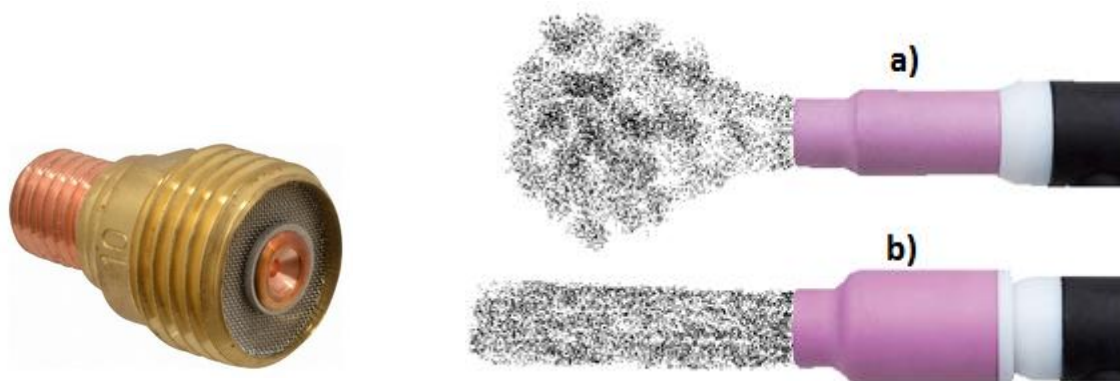
Rychlost svařování je volena vždy optimální, aby došlo k dokonalému natavení přídavného materiálu, zajištěno překrytí a protavení jednotlivých vrstev na povrchu i v kořeni lázně [28], [35].

➤ Ochranný plyn a plynová dýza

Pro jakékoliv úpravy nástrojových ocelí se používá jako ochranný plyn čistý argon 4.6 (99,996%) nebo argon 4.8 (99,998%). Argon je nano-atomický inertní plyn, vyznačující se malou tepelnou vodivostí. Získává se z okolní atmosféry frakční destilací zkapalnění vzduchu. Důvodem použití Argonu je nízká tepelná vodivost a atomová hmotnost. Atomová hmotnost Argonu je téměř stejná jakou má vzduch. Z toho vyplývá, že plyn Argon se nemá tendenci vznášet a poskytuje tak velmi dobrou ochranu svarové lázně před okolními nepříznivými vlivy [31], [34], [38].

V případě navařování nitridovaných ocelí se provádí nejprve odplynění, které spočívá v natavení místa svaru elektrickým obloukem s kombinací ochranných plynů argon W2 – W7 (Ar + 2 – 7 % H₂) [38].

Při navařování se průtok plynu pohybuje nízko tj. od 5 do 9 l/min. Velmi dobré reference z praktického využití získala plynová dýza GAS LENSE, jejíž geometrie je zřejmá z Obr. 27. Tento typ dýzy ve tvaru sprchové růžice zajišťuje rovnoměrné pokrytí návarové lázně i při takto nízkém průtoku plynu. Tento jev lze vidět na Obr. 28 ve srovnání bez použití dýzy GAS LENSE [38].



Obr. 27 Plynová dýza GAS LENSE [38]

a) – bez použití GAS LENSE,

b) – s použitím GAS LENSE

Obr. 28 Proudové pokrytí [39]

➤ Elektrody

Elektrody používané pro technologii TIG jsou tvořeny kombinací wolframu s legujícími prvky. Elektrody jsou charakterizovány nejen typem, ale také tvarem, průměrem a proudového zatížení. Důvodem použití wolframových elektrod jsou následující [38].

- Vysoká teplota tavení (3370°C),
- Dobrá emisivita elektronů,
- Dostatečná teplotní vodivost [11].

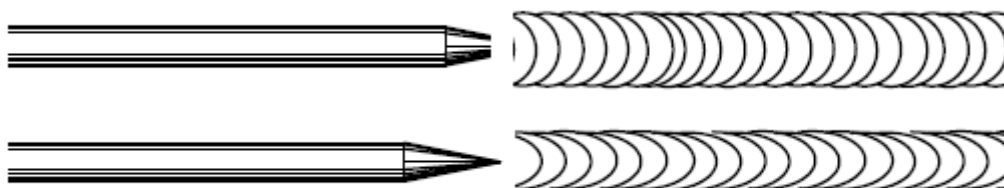
Tab. 6 Přehled používaných elektrod [30]

Označení	Složení	Barevné označení
WT 20	wolfram + 2,0% toria (ThO ₂)	Červená
WT 40	wolfram + 4,0% toria (ThO ₂)	Oranžová
WC 20	wolfram + 2,0% céru (CeO ₂)	Šedá
WL 20	wolfram + 2,0% lantanu (LaO ₂)	Tyrkysově modrá

Elektrody z čistého wolframu se používají velmi zřídka proto jim není věnována ani následující pozornost. Wolframové elektrody s obsahem přísad oxidu prvku se vyznačují lepší proudovou odolností. Taktéž zajišťují lepší stabilitu oblouku než čistě wolframové elektrody. Druh elektrody s příslušným oxidem a označením jsou uvedeny v Tab. 6 [30].

Elektrody s přísadou oxidu lantaničitého (LaO₂) nebo oxidu céričitého (CeO₂) ulehčují zapalování oblouku. Tento typ elektrody je možné použít i pro plazmové nebo mikroplazmové navařování [30], [31].

Elektrody s obsahem oxidu toričitého (ThO_2) vyzařují záření alfa, které je radioaktivní a škodí lidskému zdraví. Jakékoliv úpravy tvaru této elektrody vyžadují důkladné odsávání zplodin [30].



Obr. 28 Geometrie elektrody [40]

Tvar elektrod může být dvojího typu. Elektrody jsou broušeny do tvaru kužele, s vrcholovým úhlem 15 až 20° a o délce kužele 1 až 1,5 násobku průměru, jak znázorňuje Obr. 28. Broušení se provádí v axiálním směru elektrody a to z důvodu životnosti a kvality oblouku. Jestliže jsou rýhy vedeny v radiálním směru, elektroda neposkytuje kvalitní oblouk a není třeba opomnět nižší životnost. Elektroda mající tvar komolého kužele vytváří širší housenku, jak lze vidět z Obr. 28. Naopak elektroda se špičkou šířku návaru zužuje [30], [38].

S velikosti svarové lázně mimo tvar souvisí také průměr elektrody. Menší průměr je vhodnější spíše pro menší proudové zatížení a menší šířku svarové lázně. Naopak vysokými proudy jsou zatěžovány elektrody rozměrnější. Pro navařování nástrojových ocelí jsou z praktického hlediska používány elektrody o průměru 0,5 mm až 1,5 [38].

➤ Předehřev

Zařazení předehřevu je z důvodu značného zastoupení uhlíku a legujících prvků ve struktuře oceli. Předehřev je součástí ať už svařovacího nebo navařovacího procesu a provádí se z důvodu řízení rychlosti ochlazování. Při ohřátého základního materiálu nevznikají v návaru tak velká napětí, protože při tepelném zatěžování materiálu není v návaru tak velký tepelný rozdíl [12], [29].

Výše teploty, na níž je ocel předehřívána je stanovena tak, aby nebyla větší nebo stejná než teplota popouštění, protože by došlo k popouštění struktury a tím ke snížení tvrdosti. S přihlédnutím na podmínky navařování je z praxe je známo, že výše teploty předehřevu pro nástrojové legované oceli (v zušlechtném stavu) se pohybuje od 250 do 300°C. Pro oceli je to teplota mezi začátkem a koncem tvorby martenzitu (M_s a M_f). V tomto rozmezí teploty je nízká pravděpodobnost dosažení popouštěcí teploty vlivem navařovacího procesu. Při těchto teplotách předehřevu je další výhodou to, že ve struktuře se nachází ještě zbytkový austenit, který je plastický a částečně snižuje napětí [28], [41].

Teplota předehřevu se udržuje po celou dobu navařování, s případným dohříváním. U malých součástech lze předehřívát plamenem, větší pak v peci. Po ukončení navařování probíhá pomalu dohřev, nejčastěji opět v peci nebo zábalu [11].

4.2.2 TYPY VAD A PŘÍČINY VZNIKU

V důsledku nedodržení výše uvedených nebo nesprávně zvolených podmínek navařování, mohou v materiálu vzniknout následující defekty, jinak nazývány vady [28].

Za vadu lze považovat koncentrátory napětí, které mají nepříznivý dopad na mechanické vlastnosti návaru. Vzniklé vady je možné podle velikosti, tvaru a místa výskytu pozorovat pouhým okem, při prohlídce pomocí přístrojů nebo prostřednictvím laboratorních zkoušek [28], [42].



Obr. 29 Typy vad[42]

Za vady považujeme defekty jako trhliny, neprůvary a studené spoje. Tyto vady v podobě defektů řadíme mezi plošné poruchy (Obr. 29). Druhou skupinou jsou defekty vnitřní neboli objemové, které nazýváme jako póry [35].

➤ Neprůvary

Neprůvary vznikají v důsledku nedokonalého spojení přídavného materiálu se základním materiálem při navařování v místech kořene návaru. Důsledkem je zeslabení průřezu. Při únavovém namáhání se jeví jako nebezpečný vrub, čímž dochází k nižší životnosti součásti [42].

Příčinou neprůvarů je nízká tepelná energie vnesená do návaru nebo příčina příliš vysoké rychlosti svařování [35].

➤ Póry a bubliny

Příčinou vzniku bublin a pórů svarové lázni jsou plyny, které se do ní dostaly z okolní. Při rychlém chladnutí (ihned po navaření) nemají plyny prostor k úniku a zůstávají tak v návaru v podobě bublin a pórů [42].

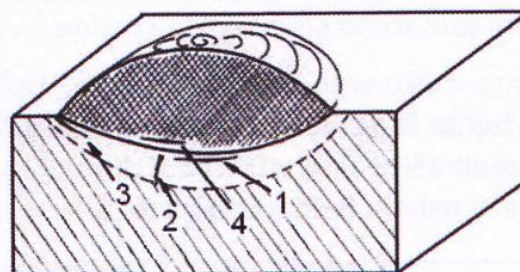
Prvky, které mají největší podíl na vznik bublin a pórů jsou vodík, dusík a kyslík. Pro omezení množství prvků pronikajících do svarové lázně, je důležitý dokonale čistý povrch základního materiálu a také použití ochranné atmosféry u navařovací technologie [35].

➤ Studené trhliny

Studené trhliny jsou dalšími z možných defektů, které vznikají při nízkých teplotách do 200°C v průběhu navařování a po něm. Mezi defekty jsou řazeny takové trhliny, které jsou indukované vodíkem nebo zbrzděné lomy mající transkrystalický charakter, kdy jejich povrch je lesklý a neoxidovaný [28].

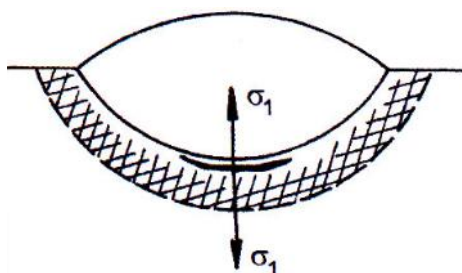
Mezi hlavní příčiny vzniku trhlín patří přítomnost vodíku a vznik velkých tahových zbytkových napětí během a po navaření. Trhliny se šíří v místech s vysokou tvrdostí, ale i v místech s vysokou plastickou deformací. Tyto defekty vedou ke vzniku křehkého nebo únavového lomu [28].

Charakteristickým místem vzniku studených trhlín jsou místa v tepelně ovlivněné oblasti, podhousenkové oblasti, koncových spojích nebo přímo ve svarovém kovu (Obr. 30) [28].

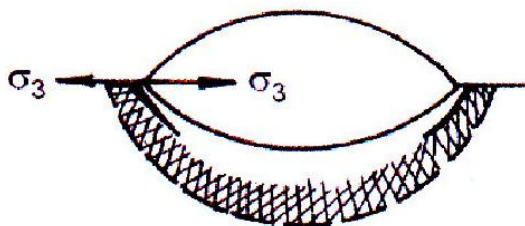


1 – podhousenková trhlina, 2 – příčná trhlina, 3 – vrubová trhlina, 4 – tavná trhlina

Obr. 30 Místa vzniku studených trhlín [28]



Obr. 31 Podhousenková trhlina [28]



Obr. 32 Vrubová trhlina [28]

V podhousenkové oblasti (Obr. 31) je během navařování dosaženo austenitizační teploty a vzniká tak hrubé zrno. Oblast po navaření rychle chladne, což má za následek vznik velkých tahových napětí a vznik trhlín. Tato vysoká napětí způsobující trhliny jsou důsledkem i toho, že dochází k nerovnoměrné transformaci oblastí na martenzit a to tak, že v podhousenkové oblasti ještě probíhá transformace na martenzit, kdežto v oblasti pod ní už transformace proběhla [11], [28], [30].

V tepelně ovlivněné oblasti vznikají účinkem smršťovacích napětí trhliny příčné, které jsou uvedeny na Obr. 30. Tyto příčné trhliny se mohou prodloužit až do návarového kovu a teplem neovlivněného základního materiálu [28].

Vrubové trhliny (Obr. 32) vznikají v důsledku přítomnosti vrubů na okraji svaru nebo v kořeni [28].

Náchylnost ocelí ke vzniku studených trhlín lze vyjádřit uhlíkovým ekvivalentem podle IIW-IIS [12]:

$$C_e(\text{IIW} - \text{IIS}) = C + \frac{\text{Mn}}{6} + \frac{C_r + \text{Mo} + \text{V}}{5} + \frac{\text{Ni} + C_u}{15} \quad [\text{hm. \%}] \quad (4.2.2)$$

Rovnice 4.2.2 vyjadřuje vliv chemického složení oceli, přičemž platí pouze pro obsah uhlíku do 0,2%, tloušťku do 25 mm a celkový C_e do 0,45. Pro takové chemické složení a hodnotu C_e není zapotřebí předehřev [12].

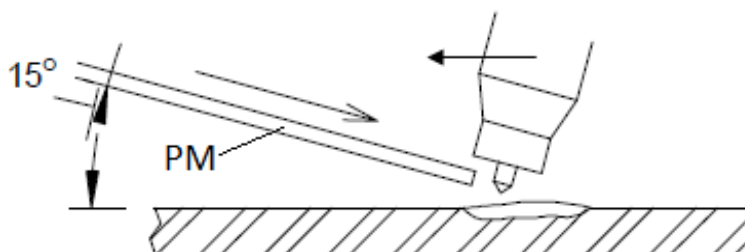
Ovšem obecně je známo, že legované oceli obsahují více než 0,3 % uhlíku a mají zároveň vysoký obsah chrómu. Proto můžeme i bez výpočtu usoudit, že je zapotřebí zařadit přehřev [35].

Faktory zamezující vzniku studených trhlin:

- Snížení obsahu vodíku,
- Zařazení přehřevu, dohřevu, zvýšení měrného příkonu při svařování,
- Používání vhodné techniky navařování – eliminace zbytkových napětí,
- Používání houževnaté mezivrstvy,
- Vhodná úprava návarové plochy bez ostrých hran (vrubů) [11]

4.2.3 ROZBOR PŘÍDAVNÝCH MATERIÁLŮ

Renovace nástrojů jsou prováděny vždy s přídatnými materiály (PM) a to ve formě plněných drátů. Jedná se o železné slitiny na bázi železa s náplní, která je tvořena legujícími prvky nebo karbidy. Největší zastoupení legujících prvků jsou chróm (až 30 %), molybden (až 16 %), mangan, nikl a v neposlední řadě uhlík (0,1 až 3,8 %). Dráty pro ruční podávání do svarové lázně jsou v délkách 300 až 500 mm a průměrech 0,3 až 2,5 mm. Směr podávání drátu do lázně je naznačen šipkou na Obr. 33 pod úhlem 15° [7].



Obr. 33 Směr ručního podávání drátu [40]

Při vytváření velkých vrstev při navařování s křehkými materiály, jimiž jsou materiály s vysokým obsahem uhlíku, chrómu a molybdenu může dojít k popraskání tvrdého kovu v návaru. Vzniklé trhlinky nejsou nebezpečné při abrazivním namáhání, ale při rázovém namáhání může dojít k šíření trhlin a jejich následnému spojování. Konečnou fází šíření trhlin je odloupení návaru. V takovém případě je vhodně větší návar vyplňovat pevnou a houževnatou mezivrstvou, jak je naznačeno na Obr. 34 Při rázovém namáhání působí mezivrstva jako polštář, přičemž horní vrstva tvořená vysokolegovaným kovem odolává abrazivnímu porušení [12].



Obr. 34 Struktura návarů s mezivrstvou [12]

Společnost Welco s.r.o. nabízí velký sortiment přídatných materiálů nejen pro renovace, ale také pro opravy nástrojů. V následujících bodech jsou popsány vlastnosti a vhodnosti přídatných materiálů pro jednotlivé aplikace [12].

➤ Croni-WIG RC 220

Feriticko – austenitická speciální slitina s velmi dobrou houževnatostí, která se používá na vyplňování mezivrstev. Návarový drát je legovaný prvky Cr – Mn – Mo – Ni - V, dobře obrobitelný a nevytváří trhliny při vytváření více vrstev. Vlivem vysoké houževnatosti odolává tlaku a rázům, které navíc zpevňují svar a zvyšují tvrdost. Používá se nejen u 12% chromových ocelí, ale také rychlořezných a feritických ocelí [3].

Při vytváření návaru dochází k minimálnímu zředění se základním kovem. Chemické složení drátu je uvedeno v Tab. 7, mechanické vlastnosti pak v Tab. 8 [3].

Tab. 7 Chemické složení RC 220 [3]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	W [%]	V [%]	Fe [%]
0,10	0,60	1,90	30,50	10,00	0,50	-	0,30	Zbytek

Tab. 8 Mechanické vlastnosti návaru RC 220 [3]

Mechanické vlastnosti svarového kovu	
Pevnost v tahu [N/mm ²]	840
Tažnost [%]	25 - 33
Tvrdost po navaření [HB/HV]	220 / 230
Tvrdost po zpevnění [HB/HV]	280 / 295

➤ Croni-WIG RC 62

Přídavný materiál RC 62 na bázi Cr - Mn - Si - V je svými vlastnostmi velmi podobný 12% chromovým ocelím určeným pro stříhání za studena a je stejně tepelně zpracován jako základní materiál. Tvrdost samotného návaru bezprostředně po navaření na základní materiál je 44 – 52 HRC, jak je uvedeno v Tab. 9 Přídavný materiál je možné použít i pro technologii MAG a pro technologii navařování obalovanou elektrodou. Mechanické vlastnosti po navaření a tepelném zpracování ilustruje Tab. 10 [3].

Tab. 9 Chemické složení drátu RC 62 [3]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	W [%]	V [%]	Fe [%]
0,40	1,70	0,80	7,50	-	0,40	-	0,30	Zbytek

Tab. 10 Mechanické vlastnosti návaru RC 62 [3]

Tvrdost po navaření [HRC/HV]	44 – 52 / 430 – 550
Kalení v oleji 1050°C [HRC/HV]	61 – 63 / 720 – 790
Žihání 850°C/ 4 hod. [HB/HV]	260 / 273

➤ Croni-WIG RC 63

CRONI-WIG RC 63 je vysoce legovaný přídavný materiál s prvky Cr - W - V. Svarový kov s nataveným drátem je v martenzitické oblasti houževnatý a drží střížnou hranu. Povrch svarového kovu je možné chemicko-tepelně zpracovat (nitridovat). Drát lze použít pro kombinaci technologie navařování TIG+MAG a vytvořit návar o tvrdosti až 62 HRC. Jak chemické složení, tak mechanické vlastnosti uvádí Tab. 11. a v Tab. 12 [3].

Tab. 11 Chemické složení RC 63 [3]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	W [%]	V [%]	Fe [%]
0,60	1,00	0,50	6,80	-	1,70	-	0,60	Zbytek

Tab. 12 Mechanické vlastnosti návaru RC 63 [3]

Tvrdość po navaření [HRC / HV]	57 – 61 / 680 - 780
Tvrdość po zakalení v peci 1070°C [HRC / HV]	60 – 63 / 800 - 870
Žihání 850°C / 2 hod. [HB / HV]	260 / 273

➤ Croni-WIG RC 64

Drát typu RC 64 obsahuje legované prvky Cr – Mo - W a je nejen vhodný k navařování metodou TIG/WIG, ale také je možné použít jej pro technologii navařování obalenou elektrodou. Vlastnosti této modifikované slitiny se dají srovnat s vysoce výkonnou rychlořeznou ocelí, kdy tvrdość je vyšší než u drátů RC 63 a 62. Chemické složení můžeme vidět v Tab. 13. Taktěž vynikající odolność proti rázu, tlaku a ořezu není vhodné opomenout. Při vytváření více housenek na sebe je odolný proti vzniku trhlin. Mechanické vlastnosti RC 64 lze vyčíst z Tab. 14 [3].

Tab. 13 Chemické složení RC 64 [3]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	Ni [%]	Mo [%]	W [%]	V [%]	Fe [%]
1,10	0,40	0,40	4,25	-	8,30	1,90	2,10	-

Tab. 14 Mechanické vlastnosti návaru RC 64 [3]

Tvrdość po navaření [HRC / HV]	59 – 63 / 680 – 780
Tvrdość po zakalení v peci 1230°C [HRC / HV]	64–66 / 800 – 860
Žihání 830°C / 2 hod. [HB / HV]	260 / 273

V tabulce udávající mechanické vlastnosti návaru jsou uvedeny tvrdości podle Rockwella a Vickerse. Jak je zřejmé z výše uvedených tabulek, každý drát vykazuje jiné hodnoty tvrdości v závislosti na chemickém složení drátu. Požadovaná tvrdość u některých výše uvedených drátů je zaručena až po tepelném zpracování.

Pro experimentální části jsou zvoleny všechny výše uvedené přídavné materiály.

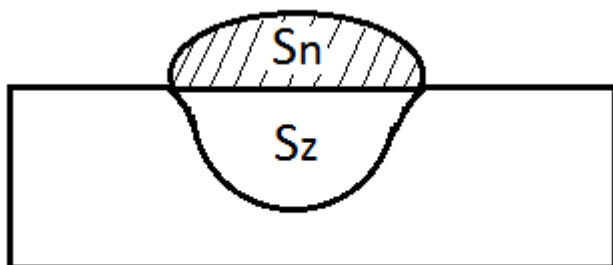
4.2.4 STANOVENÍ ZŘEDĚNÍ

Snaha vytvořit svarovou lázeň, v které bude pouze natavený přídavný materiál, je otázkou technologického postupu. Z parametrů navařování, které už byly zmíněny výše, lze usoudit, že za určitých podmínek může, ale i nemusí dojít k zředění (promísení) základního materiálu s přídavným materiálem. To však závisí především na velikosti proudu, rychlosti svařování a průměru drátu [12], [28].

U většiny materiálů je v našem zájmu dosáhnout co nejmenšího zředění. Ovšem v případech, kdy použijeme drát s horšími mechanickými vlastnosti než má základní materiál, zředění je vítáno. V tomto případě dochází ke zvýšení tvrdosti v důsledku zvýšení obsahu uhlíku a legujících prvků zředěním se základním materiálem [12].

Podíl základního (ZM) a přídavného materiálu (PM) v návaru se stanovuje procentuálně na základě obsahu ploch návaru a závaru z makrostrukturního snímku návaru. Schématicky jsou plochy návaru a závaru naznačeny na Obr. 35 [28].

U navařování TIG se hodnoty zředění se základním materiálem pohybují od 7 do 15 % [7].



S_z . plocha závaru, S_n – plocha návaru
Obr. 35 Plocha návaru a závaru [28]

$$P_{PM} = \frac{S_n}{S_z + S_n} \cdot 100 [\%] \quad (4.2.4)$$

$$P_{ZM} = \frac{S_z}{S_n + S_z} \cdot 100 [\%] \quad (4.2.5)$$

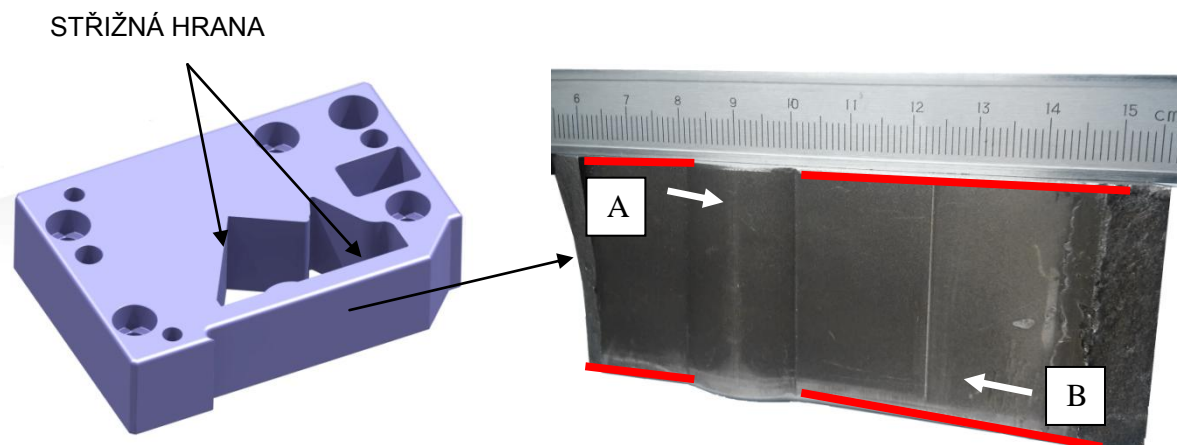
Vztah 4.2.4 stanovuje procentuálního zastoupení přídavného materiálu, vztah 4.2.5 pak procentuální zastoupení základního materiálu [28].

Faktory ovlivňující zředění

- **Navařovací rychlost:** Nízká – vysoké zředění,
Vysoká – nízké zředění,
- **Navařovací polarita:** DC (-) – nízké zředění,
- **Tepelný příkon:** Nízký – nízké zředění,
Vysoký – vysoké zředění,
- **Technika navařování:** Tahové housenky – nízké zředění,
Navařování s rozkyvem – vysoké zředění,
- **Poloha navařování:** Svislá nahoru – vysoké zředění,
Vodorovná shora, svislá dolů – nízké zředění,
- **Počet vrstev:** S růstem počtu vrstev zředění klesá a opačně,
- **Výlet drátu:** Dlouhý výlet – menší zředění [12].

➤ Volba vzorku pro návary TIG/WIG

Pro renovaci touto technologií jsou zvoleny vzorky z matic (Obr. 36), kde bude vytvořen návar na hranu A a B o celkové délce jedné hrany 80 mm, jak je označeno na Obr. 36. Každá housenka bude vytvořena jinými navařovacími podmínkami, aby bylo možné návary vyhodnotit. Hrany jsou označeny červeným pruhem a písmeny A a B, a to z důvodu snadné identifikace jednotlivých návarů (Obr. 36). Směr, kterým bude housenka kladena je naznačeno bílou šipkou taktéž na Obr. 36.

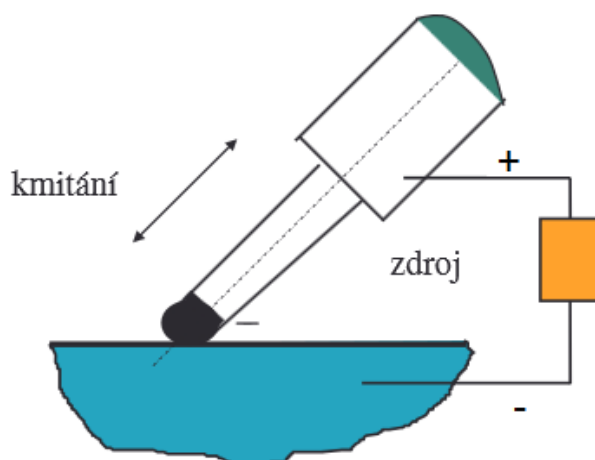


Obr. 36 Vzorek pro návar TIG/WIG

4.3 TECHNOLOGIE ELEKTROJISKROVÉHO NAVAŘOVÁNÍ

Renovační technologie mikronavařování, která se používá k nanášení velmi tenké kovové vrstvy v řádech mikrometrů na povrch materiálu. Tuto technologii navařování lze nalézt častěji pod pojmem povlakovací. Pro nanášení povlaku se používá wolfram-karbidová elektroda, která je zapojena na kladný pól a základní materiál na pól záporný (Obr. 37). V důsledku průchodu stejnosměrného proudu dochází k rozkmitání vibrátoru s frekvencí 100Hz a k přenosu vibrací na elektrodu. V případě dotyku elektrody s povrchem základního materiálu vzniká elektrický výboj způsobující lokální ohřev materiálu kolem 1000°C. Teplo je rychle odváděno, což způsobí zakalení v tloušťce několika mikrometrů. Současně je natavena i elektroda a částice WC a W₂C jsou přenášeny na povrch materiálu, kde rychle chladnou. Tloušťka navařené vrstvy touto technologií dosahuje v rozmezí 2 – 40 μm. Tvrdost povrchové vrstvy materiálu se přibližuje 75 HRC a v samotném návaru až 82 HRC [7], [43].

Takto nanášená vrstva má poměrně vysokou drsnost a povrch vyžaduje leštění diamantovou pastou se zrnitostí 9 až 20 μm [43].



Obr. 37 Schéma elektrojiskrového navařování [7]

➤ Elektroda

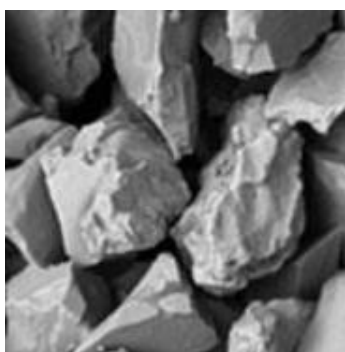
Wolfram-karbidové elektrody s obsahem WC a W_2C jsou používány v kruhovém nebo tříhranném, čtyřhranném provedení. Typ elektrody používáme v závislosti na tvaru a velikosti nanášené plochy. Pro tvarově jednoduché dílce jsou vhodnější čtyřhranné elektrody. Elektrody kruhové jsou naopak vhodné pro složitější vnitřní a kruhové plochy [43], [44].

Wolfram-karbidy jsou vyráběny tavením a jejich vazby mají rozdílné vlastnosti, které jsou uvedeny v Tab. 15 níže[45].

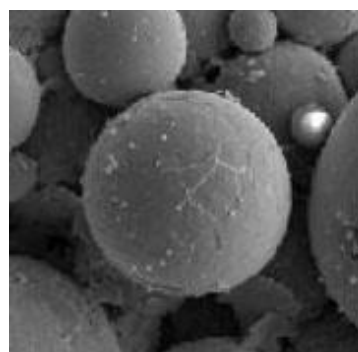
Tab. 15 Přehled tvrdostí karbidů [45]

Typ karbidu	Tvrđost [HV]	Teplota tání [°C]
WC	2400	2870
W_2C	3000	2730

Charakteristickým znakem je tvar zrna, který může být drcený nebo sférický, jak je znázorněno na Obr. 38 a Obr. 39 (200 násobné zvětšení) [45].



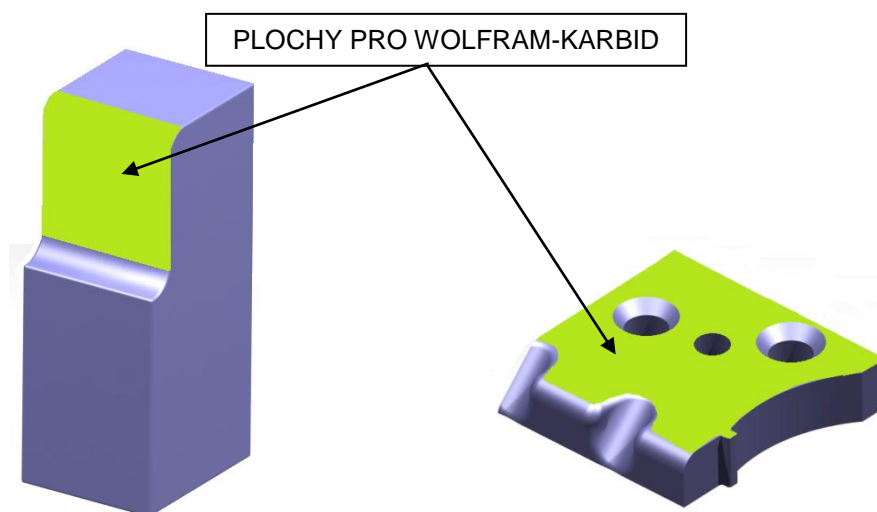
Obr. 38 Drcený tvar zrna [45]



Obr. 39 Sférický tvar zrna [45]

Volba vzorku pro elektrojiskrový návar

Pro technologii elektrojiskrového navařování jsou zvoleny dva vzorky. První vzorek je vložka matrice (Obr. 41) o rozměrech 40 x 40 x 10 mm. Druhým vzorkem je ohybník o rozměrech 50 x 60 x 133 mm (Obr. 40).



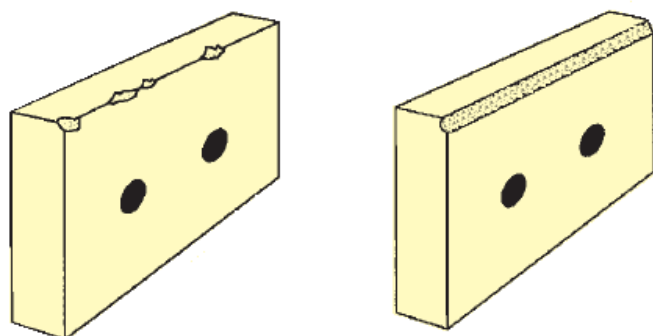
Obr. 40 Vzorek ohybníku

Obr. 41 Vzorek vložky matrice

Vzorek vložky matrice je poškozen kombinací únavového a abrazivního opotřebení. Poškození je tak rozsáhlé, že by případná renovace byla příliš nákladná. Plocha ohybníku je poškozena adhezivním opotřebením a pro renovaci je použit povlak s wolfram-karbidem.

4.4 PŘÍPRAVA NÁVAROVÉ PLOCHY

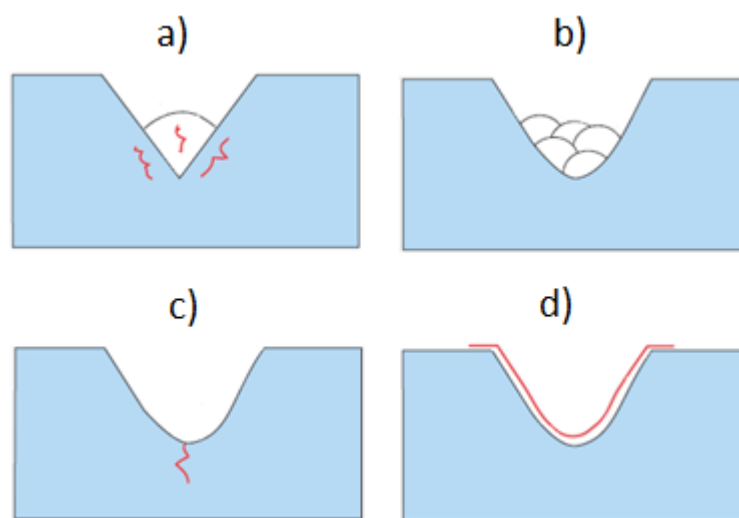
Před vytvořením návarových housenek musí být plochy řádně připraveny. Příprava spočívá v očištění nástroje před nečistotami, kterými mohou být zbytky maziva, prach a jiné nečistoty úpějí na nástroji. Z chemického složení základního a přídavného materiálu je známo, že některé prvky jsou citlivé na vruby. Z toho důvodu jsou všechny ostré hrany sraženy, nejčastěji broušením. Přítomné trhliny v oceli, musí být obroušeny do takové hloubky, kde iniciují a úplně odstraněny. Příklad je uveden na Obr., kde je viditelná odloupaná hrana. Vpravo je hrana obroušena do nejnižšího bodu poškození po celé délce hrany [12], [29].



Obr. 42 Úprava hran nástroje před (vlevo) a po broušení (vpravo) [12]

V případě, že by výše uvedené změny nebyly řádně provedeny, vznikly by defekty v podobě neprůvarů nebo trhliny, jak bude vysvětleno dále.

Na Obr. 43 jsou uvedeny příklady špatně připraveného povrchu. Povrch a) je sražen do pravého úhlu a vytvořený návar je příliš veliký. Vzniklé trhliny v návare i v tepelně ovlivněné oblasti jsou zřejmé ze schématu a). Schéma b) znázorňuje kladení housenek přes sebe v menších vrstvách na plochu bez ostrých rohů [29], [41]. Schémata c) a d) ilustrují opracování místa s trhlinou do hloubky, kde je tato trhlina již není přítomna [29], [41].



a) ostrý roh, b) zaoblený povrch, c) trhlina, d) odbroušení trhliny

Obr. 43 Řešení špatně připravených povrchu pro návar [29]

5. METODY ZKOUŠENÍ NÁVARŮ

5.1 METALOGRAFICKÁ ANALÝZA

Metalografická zkouška je nejpoužívanějším testem ke zjištění stavu struktury materiálu a svarových spojů. Zkouška se provádí za účelem zjištění podílu strukturních fází v materiálu, jejich množství, rozložení a tvar. Pomocí metalografického rozboru jsou rozpoznávány také vady materiálu. K pozorování jsou používány optické nebo elektronové mikroskopy a podle použitého pozorovaného zvětšení jsou zkoušky dále rozděleny na mikroskopickou a makroskopickou [11],[46].

Pozorování struktur se provádí na zkušebním vzorku (výbrusu), který je odebrán ze součásti dělením (řezáním) v příčném řezu vedeného k návaru. Pro to, aby nedošlo k tepelnému ovlivnění [46] materiálu při řezání, je zapotřebí vydatného chlazení. Vzorek musí svým charakterem a strukturou reprezentovat strukturu zkoušeného nástroje. K tomu, aby byl vzorek pozorovatelný, je zapotřebí jej následně opracovat [11],[46].

Po provedení výbrusu následuje druhá operace – broušení, a to za účelem snížení drsnosti. Broušení se provádí buďto ručně na stále jemnějších brusných papírech nebo na automaticky se otáčejícím kotouči [46].

Pro zviditelnění mikrostruktury jsou používána leptadla, která se aplikují na leštěný povrch. Osvědčenými leptadly jsou:

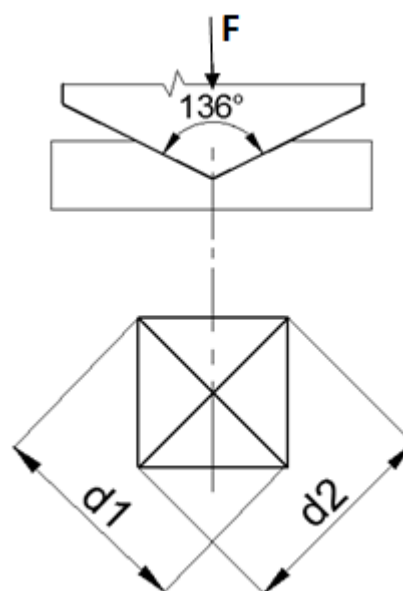
- 1 - 4% roztok kyseliny dusičné s alkoholem (Nital),
- Marble (4g CuSO_4 +20ml HCl +20ml destil. H_2O),
- čistá kyselina dusičná (HNO_3) [46].

Makrostrukturu lze pozorovat v naleptaném nebo nenaleptaném stavu po vyleštění a s 30x nastaveným zvětšením. Na povrchu vzorku jsou viditelné makroskopické vady [46].

5.2 ZKOUŠKA TVRDOSTI PODLE VICKERSE

Metoda, která je používána na měření tvrdosti povrchových vrstev. Princip zkoušky spočívá ve vlačování diamantového tělesa ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu s čtvercovou základnou a vrcholovým úhlem 136° do povrchu zkoušeného tělesa (Obr. 44). Těleso nebo také indentor vniká do povrchu zkoušeného tělesa přesně stanovenou silou, přičemž tloušťka tělesa je nejméně 1,5 násobek průměrné délky úhlopříček vtisku. Po vtisku vznikne čtyřúhelník podobný tvaru čtverce uvedeného na Obr. 44 [46].

Podmínky, při kterých se zkouška provádí, definují teplotu 10 až 35°C a působící sílu po dobu 10 až 15 sekund. Povrch zkoušeného tělesa pro měření tvrdosti musí být hladký, rovný, zbavený maziv a jiných nečistot, které ovlivňují měření [46].



Obr. 44 Zkouška tvrdosti podle Vickerse [46]

Tab. 16 Rozsahy zkušebních zatížení [46]

Značka tvrdosti	Zkušební zatížení F [kp]	Zkušební zatížení F [N]	Název rozsahu
HV 5, HV 10, HV 20, HV 30, HV 50, HV 100	5, 10, 20, 30, 50, 100	49,03; 98,06; 196,1; 294,2; 490,3; 980,6	Zkouška tvrdosti podle Vickerse

Hodnota tvrdosti dle Vickerse je označována písmeny HV a je vypočtena podle zkušebního zatížení. Podle zatížení lze rozlišovat zkoušku tvrdosti při nízkém zatížení, mikrotvrdosti nebo zkoušku dle Vickerse při vyšším zatížení, jak je uvedeno v Tab. 16. Pro měření tvrdosti návarů slouží stupnice tvrdosti podle Vickerse při vyšším zatížení [46]

Plocha vtisku je vypočtena z délek úhlopříček vtisku. Jestliže známe velikost zkušebního zatížení a střední délku úhlopříček, pak pro určení tvrdosti lze použít vzorce 5.2.1 nebo 5.2.2 [46].

$$HV = 1,8544 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (5.2.1)$$

kde

F – zatěžující síla [kp]

d – průměr délek obou úhlopříček [mm]

$$HV = 0,1891 \cdot \frac{F}{d^2} \quad (5.2.2)$$

kde

F – zatěžující síla [N]

6. PROVEDENÍ EXPERIMENTŮ

6.1 NÁVARY TIG/WIG

Zkoušky navařování TIG/WIG byly provedeny na svařovacím zařízení TTP 220 AC/DC (Obr. 45) od společnosti Cronitex. Jedná se o výkonné svařovací zařízení dovolující vytvářet návary a mikronávary stejnosměrným nebo impulzním proudem a vhodně tak regulovat vnesené teplo do návaru. Technické parametry svařovacího zařízení jsou uvedeny v Tab. 17 [47].

Tab. 17 Technické údaje [47]



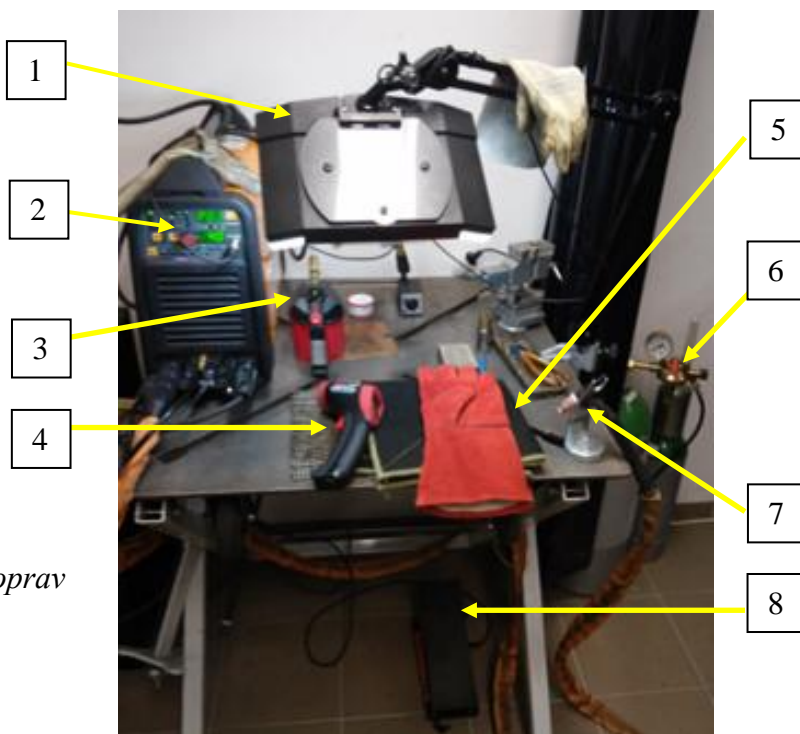
Připojení	Jenofázové 230 V 50/60 Hz
Příkon	5,6kVA
Svařovací proud	3 – 220A
Zatěžovatel	220A – 40% 160 A – 100%
Výstup	AC/DC, jednotlivý pulz-TTP
Krytí	IP 23 C
Rozměry (VxŠxH)	411x207x545 mm
Hmotnost	21,5 kg

Obr. 45 Navařovací stroj [47]

Pracoviště pro navařování je vybaveno i příslušenstvím nezbytným pro navařování uvedeným na Obr. 46 (mimo zařízení TTP 220).

Legenda:

- 1 – Lupa se stmívací kazetou,
- 2 – svařovací zařízení,
- 3 – kyslíko-acetylenový plamen,
- 4 – infračervený bezdotykový teploměr,
- 5 – zábal,
- 6 – tlaková láhev s Argonem,
- 7 – svařovací hubice,
- 8 – regulační pedál.



Obr. 46 Pracoviště renovací a oprav nástrojů

Všechny vzorky byly navařeny elektrodou WL 20 o průměru 1,6 mm s ostrou kuželovou špičkou a průtoku ochranného plynu Q_P 7,5 l/min.

➤ Vzorek č. 1

Tab. 18 Podmínky navařování pro vzorek č. 1

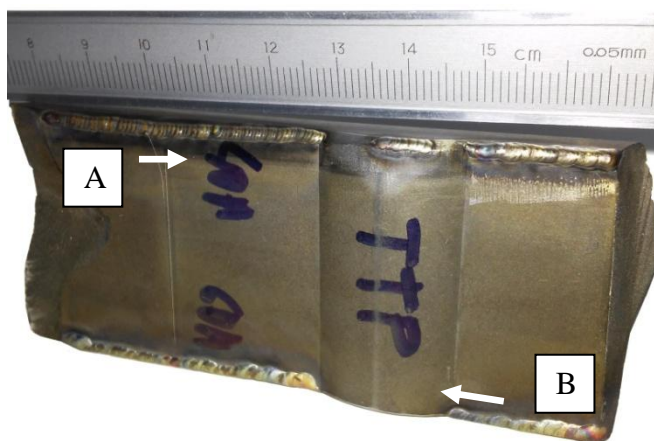
Hrana	A	B
Režim proudu	Impulzní	
Pulzní proud I_P [A]	40	60
Základní proud I_Z [A]	1,2	1,8
Napětí U [V]	9,0-10,5	
Náběh t [s]	0,1	
Doběh t [s]	0,2	
t_p [s]	0,5·t	
t_z [s]	0,5·t	
Přehřev T [°C]	-	
Celková doba navařování t_n [s]	240	140
Průměrná rychlost svařování [mm/s]	0,67	0,57

Na základě zvolených podmínek navařování (viz Tab. 18.), především doby trvání pulzu a výše proudu, nebyl pro návary Vzorku č. 1 zařazen přehřev.

Pro vytvoření původního tvaru hrany A i B, jak je označeno na Obr. 47, byla zvolena mezivrstva RC 220 a přídatný materiál RC 62. Průměr obou drátů činil 0,5mm.

Nejprve byla vytvořena mezivrstva na hraně A ve směru šipky, jak je znázorněno na Obr. 47. Během vytváření housenky byla průběžně kontrolována teplota vzorku pomocí infračerveného bezdotykového teploměru (Obr. 46) z toho důvodu, aby nedošlo k překročení popouštěcí teploty.

Po vytvoření housenky mezivrstvy na hraně A byla poté navařována hrana B v opačném směru, kde byla zvolena vyšší proudová zatížení. Nakonec byla navařena horní vrstva na straně A. Kontrola teploty probíhá stejným způsobem jako při navařování mezivrstvy na hraně A. Při průběžných kontrolách teploty během vytváření housenky nepřevyšuje teplota hodnotu 180°C, což můžeme považovat za uspokojivé. Průběžné hodnoty teplot se pohybují kolem 70°C.



Obr. 47 Návary na vzorku č. 1

Výpočet vneseného tepla do návaru

Za lichoběžníkového impulzního režimu dochází ke střídání základního a impulzního proudu v časovém intervalu. Pro I_P (impulzní proud) 40 a 60 A je čas základního proudu t_z 0,5·t a čas impulzního také 0,5·t. Označení t je čas celkové doby navařování, proto jsou pro výpočet uvedeny hodnoty vneseného tepla při impulzním proudu a základním proudu. Při výpočtu jsou zanedbány časové doby náběhu a doběhu.

Vnesené teplo impulzním proudem do návaru A:

$$Q_1 = \frac{\eta \cdot U \cdot I_P}{10^3 \cdot v} = \frac{0,6 \cdot 10,5 \cdot 40}{10^3 \cdot 0,67} = 0,38 \text{ kJ/mm}$$

Vnesené teplo základním proudem do návaru A:

$$Q_2 = \frac{\eta \cdot U \cdot I_z}{10^3 \cdot v} = \frac{0,6 \cdot 10,5 \cdot 1,2}{10^3 \cdot 0,67} = 0,01 \text{ kJ/mm}$$

Celkové vnesené teplo do návaru A:

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{0,38 + 0,01}{2} = 0,20 \text{ kJ/mm}$$

Vnesené teplo impulzním proudem do návaru B:

$$Q_1 = \frac{\eta \cdot U \cdot I_p}{10^3 \cdot v} = \frac{0,6 \cdot 10,5 \cdot 60}{10^3 \cdot 0,57} = 0,66 \text{ kJ/mm}$$

Vnesené teplo základním proudem do návaru B:

$$Q_2 = \frac{\eta \cdot U \cdot I_z}{10^3 \cdot v} = \frac{0,6 \cdot 10,5 \cdot 1,8}{10^3 \cdot 0,57} = 0,02 \text{ kJ/mm}$$

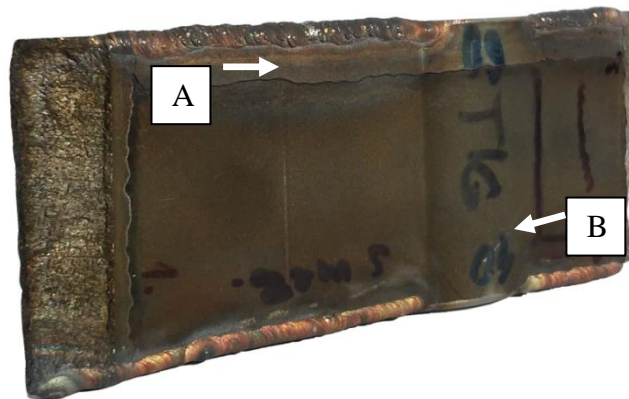
Celkové vnesené teplo do návaru B:

$$Q = \frac{Q_1 + Q_2}{2} = \frac{0,66 + 0,02}{2} = 0,34 \text{ kJ/mm}$$

➤ **Vzorek č. 2**

Tab. 19 Podmínky navařování pro vzorek č. 2

Hrana	A	B
Režim proudu	Stejnoseměrný	
Svařovací proud I [A]	60	40
Napětí U [V]	9,0-10,5	
Náběh t [s]	0,1	
Doběh t [s]	0,2	
Elektroda	WL 20 Ø1,6mm	
Přídavný materiál (mezivrstva)	-	RC 62 Ø0,8mm
Přídavný materiál (horní vrstva)	RC 62 Ø0,8mm	
Předehřev T [°C]	-	
Celková doba navařování t _n [s]	115	215
Průměrná rychlost navařování t [s]	0,70	0,74



Obr. 48 Návary na vzorku č. 2

Hrana A je specifická tím, že v minulosti byla jednou navařována, ale není známo jakým přídavným materiálem a nejsou známy ani podmínky navařování. Současné zvolené podmínky navařování uvedené v Tab. 19 jsou téměř totožné jako podmínky u Vzorku č. 1, lišící se pouze proudovým režimem.

Výpočet vneseného tepla do návarů A i B

Výpočet vneseného tepla do návarů A:

$$Q_A = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{10^3 \cdot v} = \frac{0,6 \cdot 10,5 \cdot 60}{10^3 \cdot 0,7} = 0,54 \text{ kJ/mm}$$

Výpočet vneseného tepla do návarů B:

$$Q_B = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{10^3 \cdot v} = \frac{0,6 \cdot 10,5 \cdot 40}{10^3 \cdot 0,74} = 0,34 \text{ kJ/mm}$$

➤ Vzorek č. 3

Pro třetí vzorek (Obr. 49) byl zvolen přídavný materiál RC 63 a RC 64 a podmínky navařování uvedené v Tab. 20. Před navařením byl vzorek předeheřán pomocí kyslíko-acetylenového plamene na teplotu 250°C.

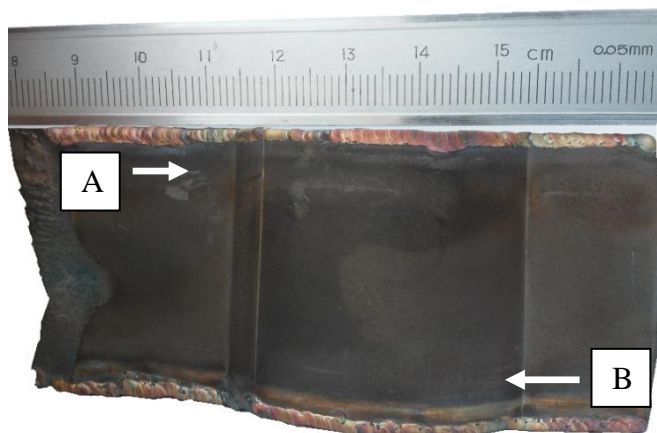
Pro navařování hrany A byl zvolen drát RC 63 o průměru 0,8 mm. Na střížnou hranu B jsme využili drát RC 64 s průměrem 1,0mm. Po navaření obou hran byla z důvodu překrytí hran doplněna další vrstva na obě dvě strany. Hrana A byla navařena opět drátem RC 63 o průměru 0,8mm a hrana B drátem RC 64 o stejném průměru.

Během navařování byl proud měněn v závislosti na sešlápnutí nožního regulačního pedálu. Při navařování hrany A je průměrná hodnota proudu 40 A. Pro navaření drátu RC 64 je stanovena výše proudu na 50A a to z důvodu většího průměru drátu.

Při navařování probíhalo po každých 15 mm návaru bezkontaktní měření teploty a to z důvodu zařazeného předeheřevu a vnášené tepelné energie materiálu. Při měření teplot se hodnoty pohybovaly v intervalu 255 až 300°C. Při naměření teploty 300°C probíhala časová prodleva pro snížení teploty vzorku alespoň na 260°C před další navařenou housenkou.

Tab. 20 Podmínky navařování pro vzorek č. 3

Hrana	A	B
Režim proudu	Stejnoseměrný	
Svařovací proud I [A]	40	50
Napětí U [V]	8,5-10,5	
Náběh t [s]	0,1	
Doběh t [s]	0,2	
Elektroda	WL 20 ϕ 1,6mm	
Přídavný materiál (mezivrstva)	RC 63 ϕ 0,8mm	RC 64 ϕ 1,0mm
Přídavný materiál (horní vrstva)	RC 63 ϕ 0,8mm	RC 64 ϕ 1,0mm
Předeheřev T [°C]	250	
Doba navařování obou vrstev t [s]	197	210
Průměrná rychlost navařování v [mm/s]	0,81	0,76



Obr. 49 Návary na vzorku č. 3

Výpočet vneseného tepla do návarů A i B

$$Q_A = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{10^3 \cdot v} = \frac{0,6 \cdot 10,5 \cdot 35}{10^3 \cdot 0,81} = 0,27 \text{ kJ/mm}$$

$$Q_B = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{10^3 \cdot v} = \frac{0,6 \cdot 10,5 \cdot 50}{10^3 \cdot 0,76} = 0,41 \text{ kJ/mm}$$

6.2 ELEKTROJISKROVÝ NÁVAR

Pro elektrojiskrový návar byl zvolen tvrdokovový navařovací přístroj Tucadur 2020, uvedený na Obr 50. Technické údaje přístroje můžeme vidět v Tab. 21. Toto zařízení je používáno pro nanášení vrstev v řádech mikrometrů, proto je někdy uváděn pojem povlakovací zařízení.



Obr. 50 Pvlakovací zařízení Tucadur [44]

Tab. 21 Technické údaje o přístroji [44]

Elektroinstalace	
Vstupní napájecí napětí	230 V/50 Hz
Výstupní hodnota	220 VA
Pojistka	16 A
Druh pojistky	IP 20
Výkonové hodnoty	
Dosáhnutá tloušťka povlakované vrstvy	2 - 40 μm
Maximální tvrdost	80 HR 30 N
Vibrace	100 Hz
Rozměry a hmotnost	
Rozměry (Š x H x V)	220 x 225 x 335 mm
Hmotnost	11,7 kg
Hlučnost	< 70 dB

K provedení návaru na označené plochy vzorků bylo nutné nejprve k svlakovacímu zařízení připojit příslušenství. Postup zapojení byl následující:

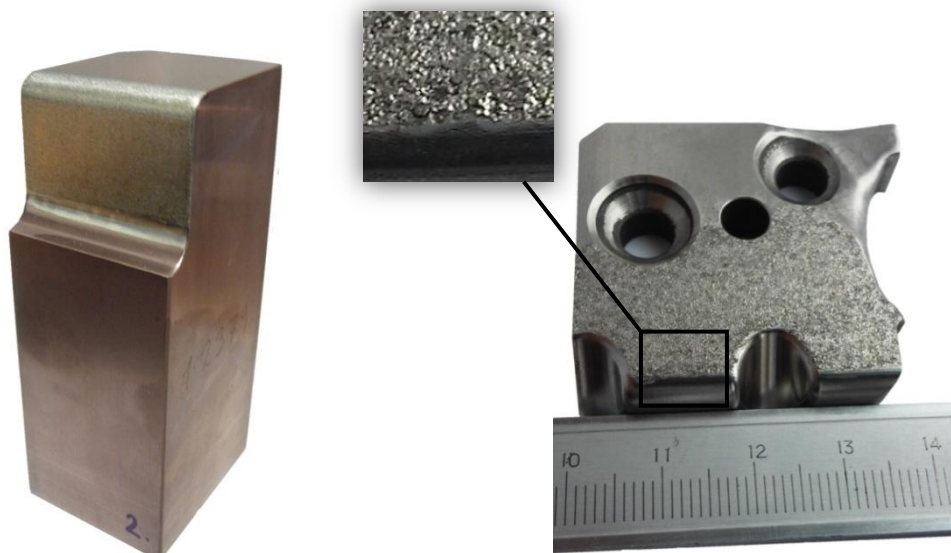
- 1) Zapojení přístroje do sítě,
- 2) spojení nanášecí pistole s přístrojem,
- 3) spojení kontaktního magnetu s přístrojem,
- 4) spojení nožního spínače s přístrojem,
- 5) připevnění elektrody do nanášecí pistole s délkou vysunutí 15mm,
- 6) připevnit kontaktní magnet na součást,
- 7) zapnutí přístroje spínačem,
- 8) nastavení vibrací a frekvence [45].



Obr. 51 Regulátor tloušťky nanesené vrstvy (vlevo) a regulátor kmitů (vpravo) [45]

Po vykonání všech nezbytných úkonů bylo zařízení připraveno k použití. Oba nástroje byly upnuty v dílenském svěráku pro bezpečné nanesení vrstvy. Na regulátoru frekvence (Obr. 51) byla nastavena hodnota 10 Hz a na regulátoru činila hodnota pro tloušťku nanášené vrstvy cca 8 μm . Při sešlápnutí nožního spínače došlo k rozkmitání elektrody a k následnému kontaktu elektrody s povrchem vložky matrice. Tento kontakt se projevoval jiskřením, při němž docházelo k nanášení wolfram-karbidu na povrch. Pohybem ruky byl wolfram-karbid postupně nanesen na celou plochu obou nástrojů, jak můžeme vidět na Obr. 52 a Obr. 53 [45].

Povrch s wolfram-karbidem je hrubý, s matně šedým odstínem. Vyžaduje leštění, případně broušení ještě před leštěním. Povlak vytvořený na ploše ohybníku je lehce vybroušen a vyleštěn brusnou pastou.



Obr. 52 Povlak na ohybové ploše ohybníku

Obr. 53 Vložka matrice s návarem wolfram-karbidu

7. VYHODNOCENÍ EXPERIMENTŮ

Výše provedené návary na ocel byly podrobeny zkouškám ke zjištění vlastností nejen samotných návarů, ale také k ovlivnění základního materiálu. Pro technologii elektrojiskrového navařování a navařování TIG/WIG byly vytvořeny rozdílné velikosti návarů a při měření, zkoušení byl na ně brán zřetel.

7.1 PŘÍPRAVA VZORKŮ PRO VYHODNOCENÍ

K tomu, aby bylo možné jednotlivé vzorky podrobit zkouškám vyhodnocující vlastnosti návarů, přechodových oblastí a základního materiálu, bylo zapotřebí vzorky vhodným způsobem připravit.

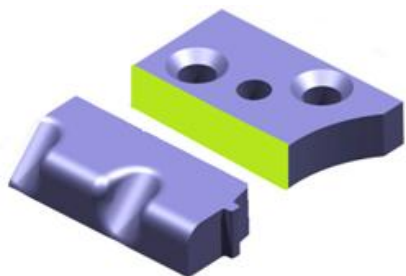
- **Odběr vzorků**

Prvním krokem byl odběr neboli výbrus části vzorku. Odběry ze vzorků byly provedeny na stolní metalografické rozbrušovací pile Struers labotom 5 (Obr. 54), která je umístěna na Ústavu strojírenské technologie na FSI VUT v Brně. Pro nařezání vzorků byl zvolen dělicí kotouč 54A25 o rozměrech $\varnothing 250 \times 1,5 \times \varnothing 32$ mm.

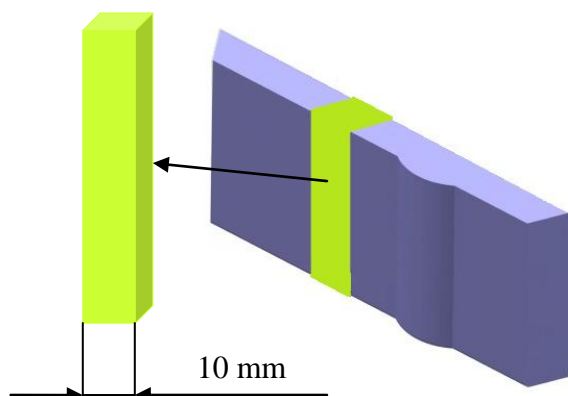
U vzorků, na nichž byly návary vytvořené technologií TIG, byl zvolen příčný řez k návarům tak, aby bylo možné pozorovat jednotlivé oblasti návaru (Obr. 56). Řez vzorku s navařeným wolfram-karbidem byl proveden na vzorku vložky matrice, jak je ukázáno na Obr. 55. Dále pak na Obr. 56. Odběr vzorků bylo zapotřebí situovat z míst, která nejlépe charakterizují celou součást. Řezání bylo uskutečněno za současného přívodu vody, aby nedošlo vlivem tepla k degradaci oceli.



Obr. 54 Rozbrušovací pila Struers labotom 5



Obr. 55 Řez vložkou matrice



Obr. 56 Odběr vzorku pro zkoušky

- **Broušení**

Po nařezání vzorku se působením kotouče vytvořily plochy s rýhami. K jejich odstranění a ke snížení drsnosti sloužilo broušení. Broušení se uskutečnilo taktéž na Ústavu strojírenské technologie, konkrétně na úseku povrchových úprav materiálů.

K broušení byla využita dvoukotoučová bruska Saphir 330 (Obr. 57), přičemž byly použity dva brusné disky. Nejprve brusný disk o zrnitosti 80, poté byla plocha dobroušena na brusném disku o zrnitosti 400. Broušení probíhalo za současného přívodu vody na povrch brusného disku.

Po obroušení byly vzorky opláchnuty v lihu a vysušeny vysoušečem, aby nedošlo ke korozi.



1 – přívod vody, 2 – brusný disk,
3 – regulátor otáček
Obr. 57 Dvoukotoučová bruska
Saphir 330

- **Leptání**

K naleptání bylo použito leptadlo Marbel. Doba leptání byla stanovena na 5 – 10 sekund. Ihned po naleptání byl vzorek opláchnut pod teplou vodou a následně na povrch vzorku aplikován čistý líh. Poté byl vzorek vysušen horkovzdušným vysoušečem. Stav vzorků po naleptání můžeme vidět níže na Obr. 58.



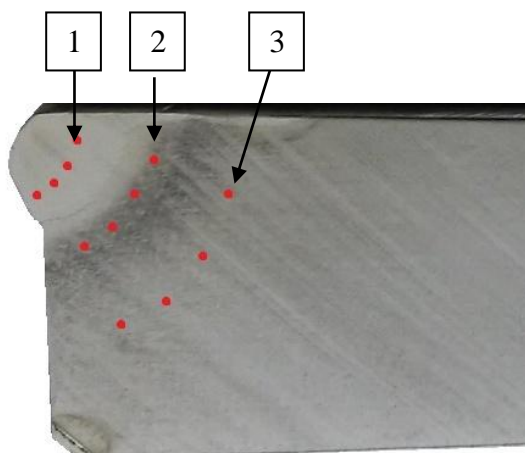
Obr. 58 Pohled na naleptané vzorky

7.2 ZKOUŠKA TVRDOSTI

Zkouška tvrdosti byla měřena Vickersovou metodou na tvrdoměru německé značky Zwick Roell 3212, umístěného na Ústavu strojírenské technologie FSI VUT v Brně.

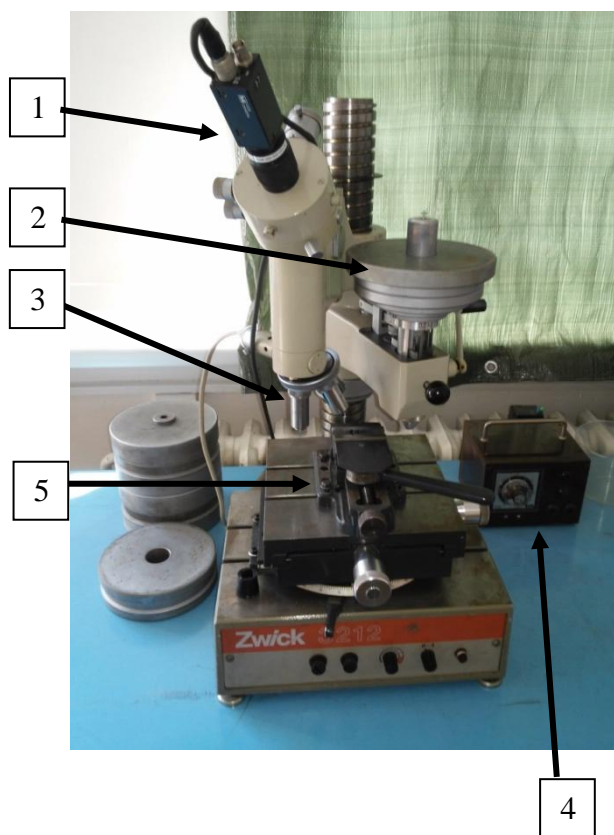
Vickersův tvrdoměr (Obr. 60) byl propojen přímo s počítačem tak, že v optické části byla zabudována CCD kamera, která přenášela obraz snímaného povrchu vzorku na monitor počítače. Zvolené zatížení pro měření tvrdosti bylo 5 kg, označeno HV5 a vtisk byl pozorován při zvětšení 20:1. Při pozorování vzorku a měření jeho tvrdosti byl současně použit program TestXpert V9.0, ve kterém byly manuálně změřeny délky úhlopříček vtisků a programem automaticky vypočtena tvrdost.

Tvrdost byla měřena pro každý vzorek zvlášť, a to v oblasti samotného návaru, v tepelně ovlivněné oblasti (TOO) a v základním materiálu (ZM). Metodika vtisku, kterou zkouška probíhala je příkladně zobrazena na vzorku po obroušení, jež je uveden na Obr. 59. V každé z těchto oblastí byly vytvořeny 4 vtisky. Doba zatížení pro každý vtisk byl 12 sekund.



1 – vtisky v návaru, 2 – vtisky v TOO,
3 – vtisky v ZM

Obr. 59 Metodika vtisků



1 – CCD kamera, 2 – zatížení,
3 – objektiv, 4 – časovač, 5 – umístění
vzorku

Obr. 60 Tvrdoměr ZwickRoell 3212

➤ Výsledky naměřených tvrdostí

Naměřené tvrdosti byly zaznamenávány do tabulky. Tvrdosti v jednotlivých oblastech u vzorků 1 až 3 pro každé A a B jsou uvedeny níže v Tab. 22 až Tab. 24.

- **Vzorek č. 1**

Tab. 22 Výsledky naměřených tvrdostí pro Vzorek č. 1

A	Návar				TOO				ZM			
	243	266	275	270	373	377	380	384	575	559	595	597
B	Návar				TOO				ZM			
	294	285	300	297	440	458	495	488	556	598	587	590

- **Vzorek č. 2**

Tab. 23 Výsledky naměřených tvrdostí pro Vzorek č. 2

A	Návar				TOO				ZM			
	262	282	276	277	332	363	402	449	559	541	574	588
B	Návar				TOO				ZM			
	267	286	275	272	368	417	470	526	575	553	578	594

- **Vzorek č. 3**

Tab. 24 Výsledky naměřených tvrdostí pro Vzorek č. 3

A	Návar				TOO				ZM			
	277	272	287	292	334	311	382	351	577	598	581	576
B	Návar				TOO				ZM			
	308	309	317	304	623	601	613	608	594	588	597	583

Vyhodnocení tvrdosti

Vickersovou metodou zjištěná **tvrdost nebyla** vzhledem ke zvoleným podmínkám navařování a výběru přídavných materiálů pro návary **dostačující**. Na základě zjištění nízkých tvrdostí bylo provedeno tepelné zpracování (TZ) vzorků 1, 2, 3. Pro přídavné materiály jsou uvedeny v materiálových listech jiné teploty pro tepelné zpracování.

Vzhledem k finančním prostředkům a rozměrům vzorků byl zvolen průběh tepelného zpracování jiný, než který měl následovat. Místo žihání po dobu 4 hodin na teplotě 830°C a dosažení měkké struktury byla ocel žihána pouze půl hodiny při teplotě 650°C a to ke snížení napětí. Předtím než bylo provedeno tepelné zpracování, byla provedena zkouška na zjištění makrostruktury, aby bylo možné výsledky nejen tvrdostí, ale i makrostruktury porovnat.

Navržený postupu tepelného zpracování:

- Žihání na snížení napětí 650°C / 0,5 hodiny,**
- Austenitizace 1070°C / kaleno do oleje,**
- Popouštění 3 x 510°C.**

Povrchy vzorků po tepelném byly velmi matné a nebylo možné po něm provádět zkoušku tvrdosti a makrostruktury proto bylo zapotřebí opakovat postup přípravy vzorku (kromě odběru vzorku), jako před tepelným zpracováním.

➤ **Výsledky naměřených tvrdostí po tepelném zpracování**

• **Vzorek č. 1**

Tab. 25 Výsledky naměřených tvrdostí Vzorku č. 1 po TZ

A	Návar					ZM		
	525	538	530	533	541	623	633	632
B	Návar					ZM		
	583	580	595	593	593	644	649	649

• **Vzorek č. 2**

Tab. 26 Výsledky naměřených tvrdostí Vzorku č. 2 po TZ

A	Návar				TOO			ZM		
	633	633	668	643	697	687	680	633	633	631
B	Návar				TOO			ZM		
	477	494	480	508	568	543	540	666	666	661

• **Vzorek č. 3**

Tab. 27 Výsledky naměřených tvrdostí Vzorku č. 3 po TZ

A	Návar				TOO			ZM		
	663	662	658	658	652	678	673	622	620	631
B	Návar				TOO			ZM		
	688	685	683	688	697	664	692	622	641	622

Vyhodnocení tvrdosti po tepelném zpracování

Tvrdość po tepelném zpracování dosahovala různých hodnot, což bylo způsobeno předchozím navařováním. U vzorku č. 1 byla naměřena nejvyšší tvrdost v návaru 595 HV5. Průměrná tvrdost v návaru přibližně odpovídá materiálovému listu drátu RC 62 a mezivrstvě RC 220.

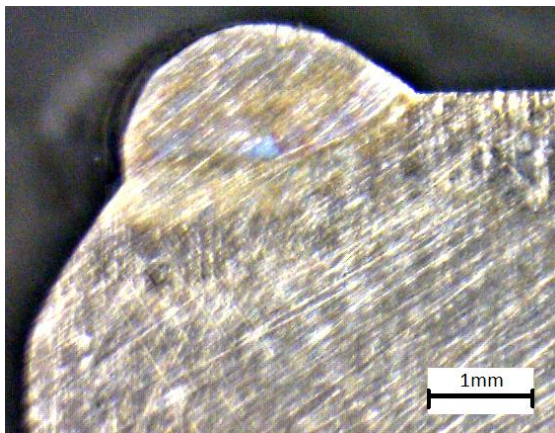
Vzorek č. 2 navařován stejnosměrným proudem vykazoval vyšší tvrdosti a to především v tepelně ovlivněné oblasti. Nejvyšší tvrdost byla dosažena na hraně A (697 HV5).

U vzorku č. 3 byl předpoklad nejvyšší tvrdosti jak před, tak po tepelném zpracování, přičemž tento předpoklad byl potvrzen. Při měření tvrdosti bylo zjištěno, že nejvyšší tvrdosti dosahuje návar RC 64, který je navařen na hraně B.

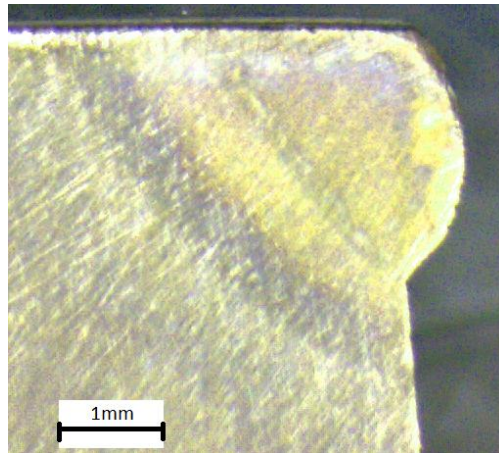
Průběžné výsledky byly zaznamenány do Tab. 25 až Tab. 27.

7.3 VYHODNOCENÍ MAKROSTRUKTURY

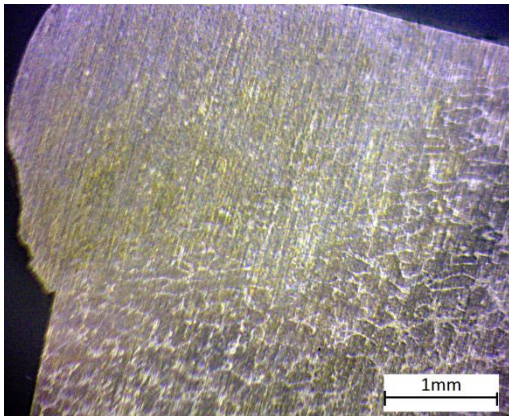
- Vyhodnocení makrostruktury před tepelným zpracováním



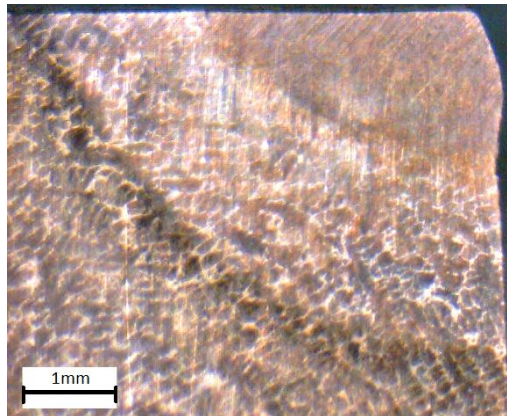
Obr. 61 Makrostruktura vzorku č. 1 A



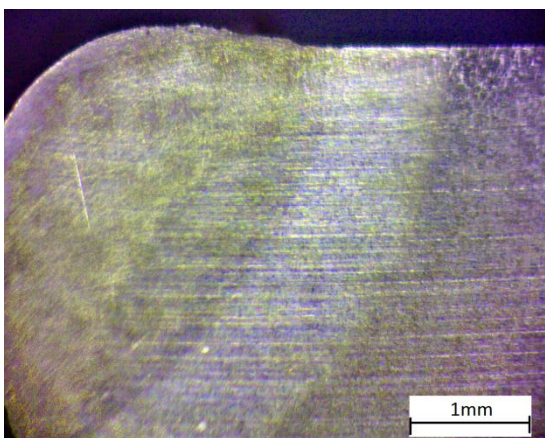
Obr. 62 Makrostruktura vzorku č. 1 B



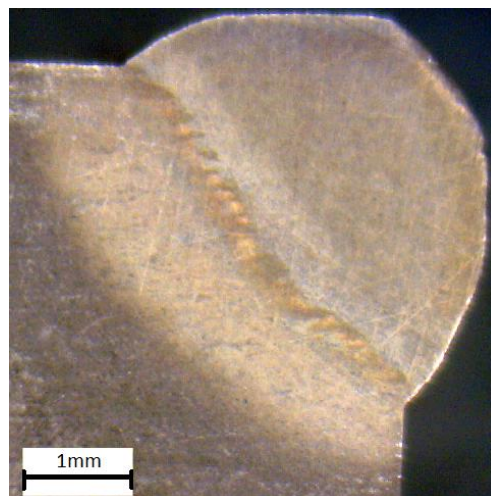
Obr. 63 Makrostruktura vzorku č. 2 A



Obr. 64 Makrostruktura vzorku č. 2 B

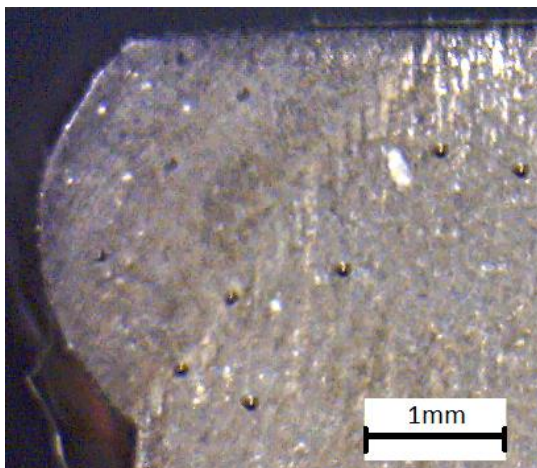


Obr. 65 Makrostruktura vzorku č. 3 A

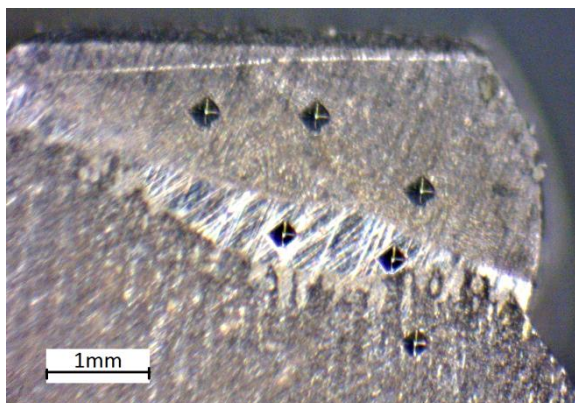


Obr. 66 Makrostruktura vzorku č. 3 B

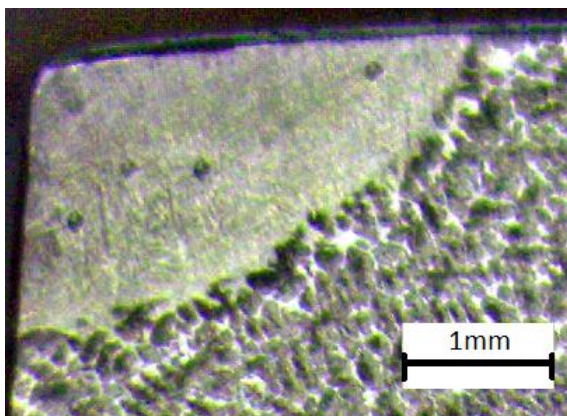
- Vyhodnocení makrostruktury po tepelném zpracování



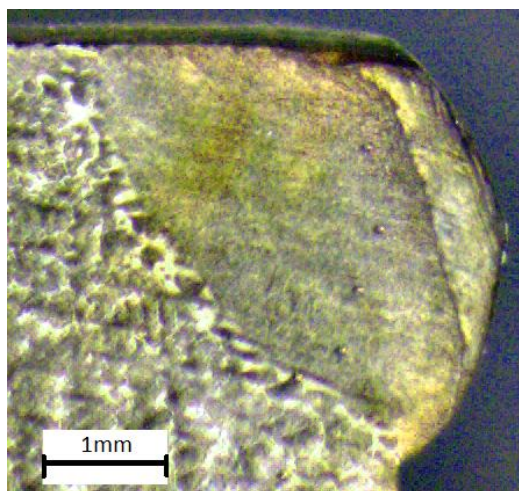
Obr. 67 Makrostruktura vzorku č. 1 B (TZ)



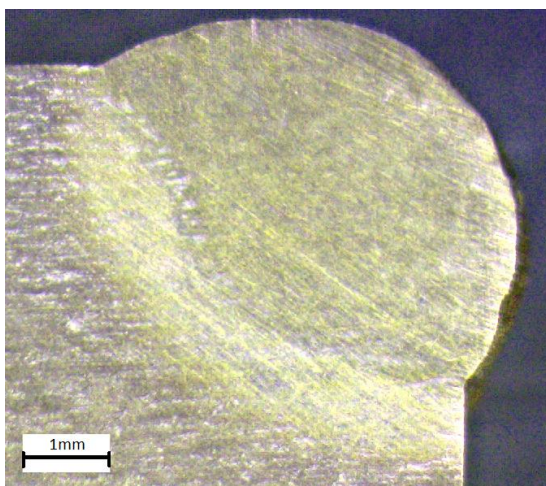
Obr. 68 Makrostruktura vzorku č. 1 A (TZ)



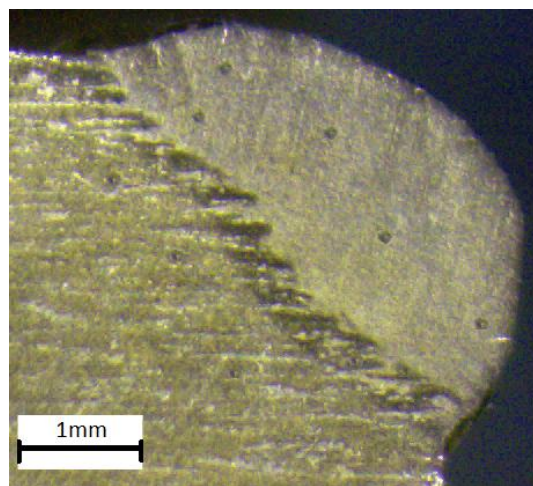
Obr. 69 Makrostruktura vzorku č. 2 B (TZ)



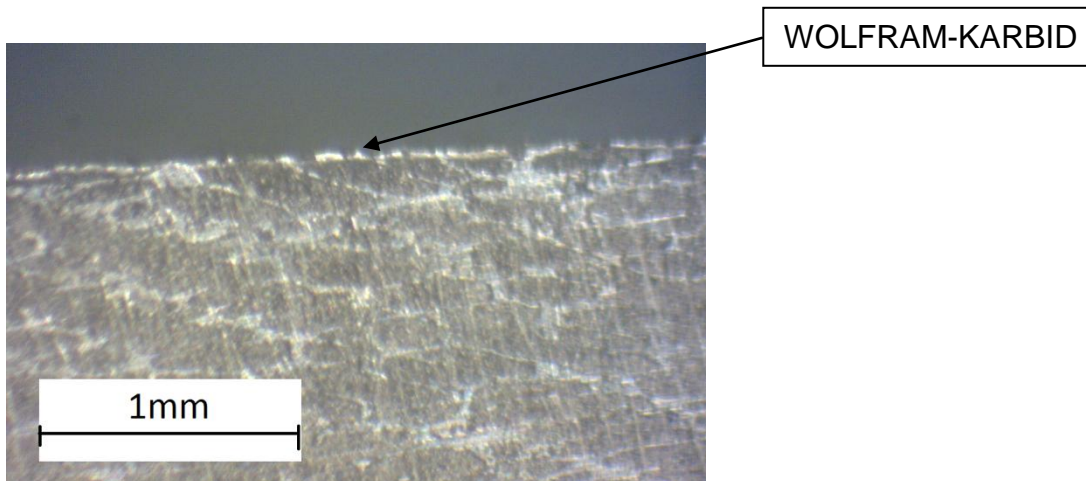
Obr. 70 Makrostruktura vzorku č. 2 A (TZ)



Obr. 71 Makrostruktura vzorku č. 3 B (TZ)



Obr. 72 Makrostruktura vzorku č. 3 A (TZ)



Obr. 73 Makrostruktura s wolfram-karbidovým povlakem

Z jednotlivých makrostrukturních snímků bez tepelného zpracování (Obr. 61 až Obr. 66) a s po tepelném zpracování (Obr. 67. Až Obr. 72) lze usoudit, že návary vytvořených impulzním a stejnosměrným proudem jsou rozdílné šířkou tepelně ovlivněné oblasti. Vzorek č. 1 a 2 má po tepelném zpracování menší šířku tepelně ovlivněné oblasti. Na některých snímcích jsou vidět tmavé body, které jsou způsobeny zkouškou tvrdosti.

Na makrostrukturu vzorku č. 1 A lze pozorovat dva druhy přídavných materiálů. Mezivrstva RC 220 tvořená z 30 % obsahem chrómu a 10 % niklu, má typicky lesklý odstín. Také v přechodové oblasti vzorku č. 2 A si můžeme všimnout zvýšeného množství karbidických fází, což je příčina vysoké tvrdosti.

Obr. 73 zachycuje detail naleptaného povrchu s navařeným wolfram-karbidem. Při použitém zvětšení lze pozorovat taktéž strukturu základního materiálu tvořený martenzitem a karbidy. Tloušťka wolfram-karbidového návaru je velmi malá a při broušení je zapotřebí dát pozor, aby nedošlo k odstranění vrstvy.

Při dané úpravě povrchu nejsou odhaleny při pozorování na žádném snímku makrostrukturní vady.

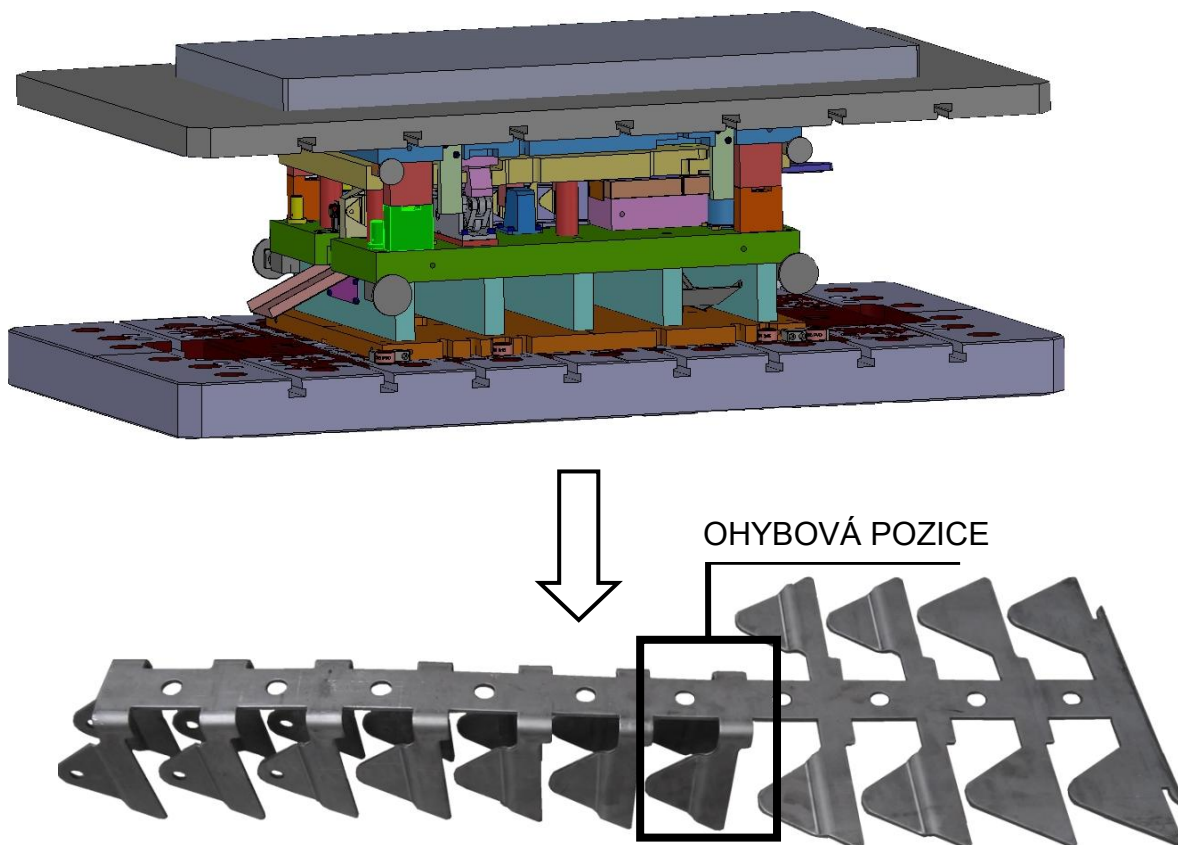
7.4 VYHODNOCENÍ WOLFRAM-KARBIDOVÉHO POVLAKU

Povlak wolfram-karbidu vytvořený na ploše vložky matrice byl použit pouze pro metalografickou analýzu.

Pro posouzení životnosti, kvality a zároveň makrostruktury wolfram-karbidového povlaku při plošném tváření byla provedena zkouška přímo v praxi na ohybníku (Obr. 52). Tato zkouška slouží k posouzení opotřebení nejen ohybové plochy, ale také k posouzení kvality plochy výlisku v místě ohybu.

Ohybník byl umístěn na příslušnou pozici v postupovém tvářecím nástroji a zajištěn šrouby. Tento tvářecí nástroj společně s vyznačenou pozicí na nástřihovém pásu plechu jsou uvedeny na Obr. 74. Parametry tvářecího nástroje ilustruje Tab. 25. Lisovací síla byla stanovena ve vztahu k tloušťce plechu, mezi pevností v tahu plechu a střížnému obvodu výlisku. V našem případě se jedná o plech jakosti S420MC a o rozměrech svitku 4 mm x 296 mm. Mechanické vlastnosti plechu jsou uvedeny v Tab. 5 v kapitole 3.3 na straně 21.

K lisování byl použit klikový výstředníkový lis o jmenovité lisovací síle 315 t. Všechny uvedené nastavovací parametry v Tab. 26 jsou použity z průběžných záznamů lisování.



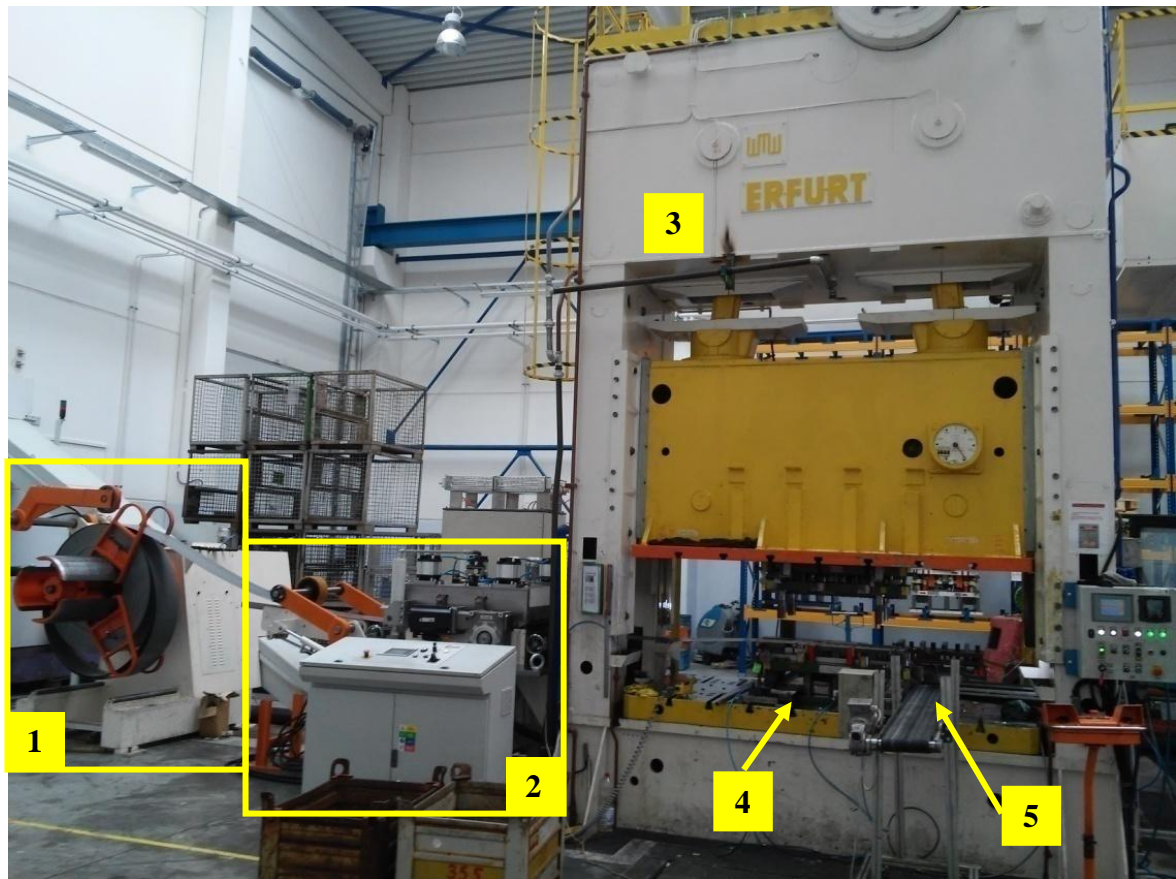
Obr. 74 Tvářecí nástroj s nástřihovým pásem a označenou ohybovou pozicí [48]

Tab. 25 Tvářecí nástroj [49]

Kategorie	Postupový	
Hmotnost [kg]	Horní polovina	1120
	Celková	2750
Rozměry d x š [mm]	1385x970	
Sevřená výška [mm]	642	
Lisovací síla [t]	310	
Provozní cyklus	automatický	

Tab. 26 Klikový výstředníkový lis [49]

Označení lisu	Erfurt 315	
Lisovací síla lisu [t]	315	
Počet zdvihů [1/min] / frekvence [Hz]	18 / 45	
Výška beranu dle KP [mm]	0639	
Lisovací tlak P+L klika [t]	140	
Vyvažovací tlak P+L [t]	4,3	



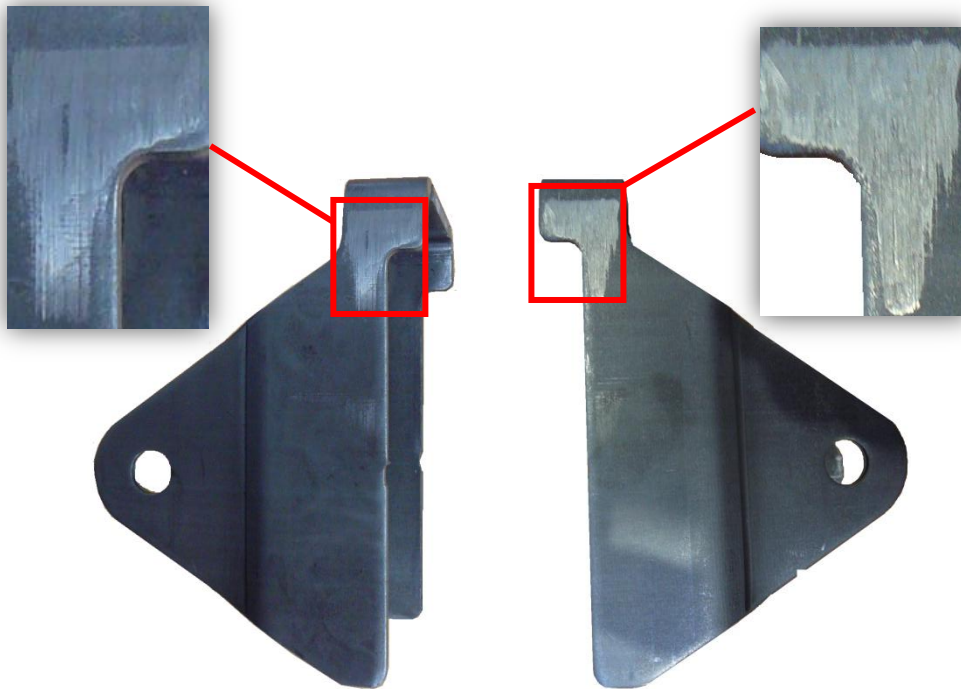
1 – odvíják, 2 – podavač, 3 – lis, 4 – tvářecí nástroj, 5 – dopravník pro odvod výlisků
 Obr. 75 Prostor lisovny

Postup při ustavení nástroje do lisu a plechu na odvíjecí zařízení byl následující. Postupový tvářecí nástroj byl pomocí vysokozdvížného vozíku ustaven v klikovém výstředníkovém lisu Erfurt 315 a následně zajištěn pomocí upínek a šroubů proti posuvu. Na odvíjecí zařízení byl vložen svitek plechu pomocí portálového jeřábu. Pás plechu byl naveden manuálním režimem přes, rovnačku, současně podavač, až do postupového nástroje. K postupovému nástroji byly na přesně určená místa umístěny tzv. šuplíky pro odvod odpadu a pásový dopravník pro odvod výlisků. Prostor lisovny je možné vidět na Obr. 75.

Po seřízení lisu a nástroje dle kontrolního přípravku probíhalo lisování automatickým režimem s 18 zdvihy za minutu. Pás plechu byl současně při lisování automaticky mazán přes procházející válce na konci podavače samoodpařovacím olejem MULTIDRAW KLT N16LM.

➤ **Vyhodnocení wolfram-karbidové vrstvy po odlisování**

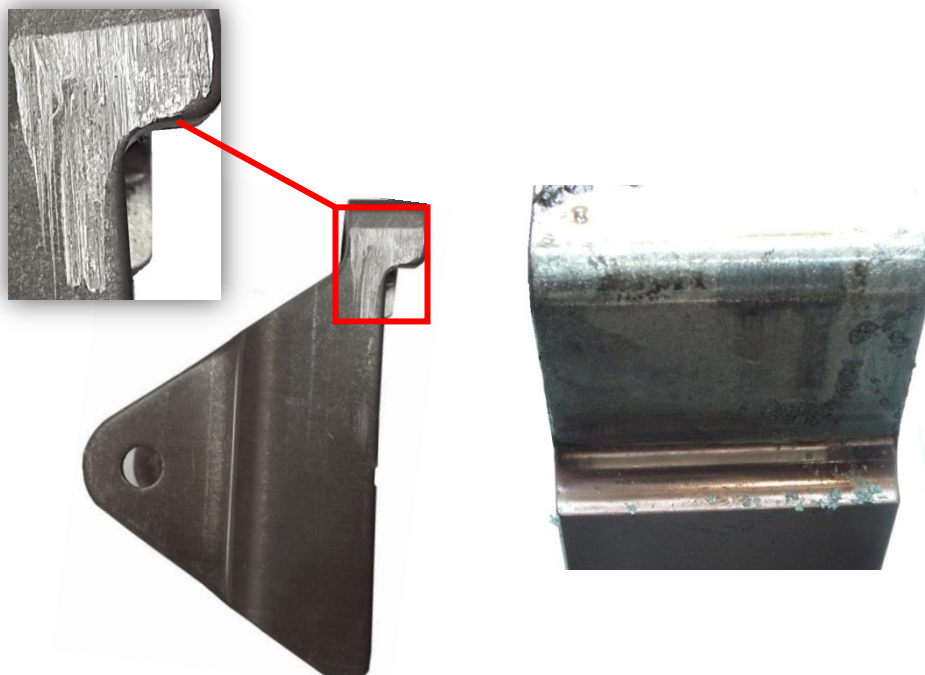
- **Stav výliseků po odlisování prvních 50 a 2000 ks**



Obr. 76 Výlisek po 50 ks

Obr. 77 Výlisek po 2000 ks

- **Stav výliseků a nástroje po odlisování 6000ks**



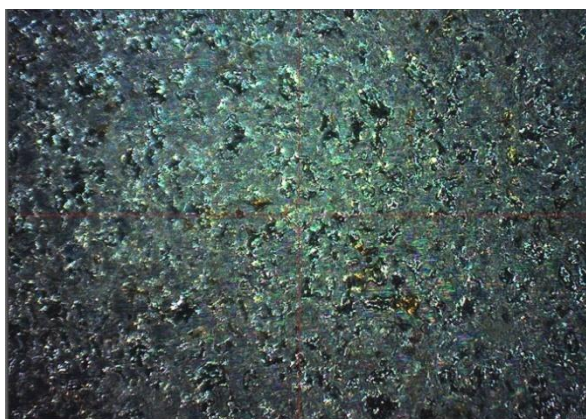
Obr. 78 Výlisek po 6000 ks

Obr. 79 Povrch nástroje po 6000 ks

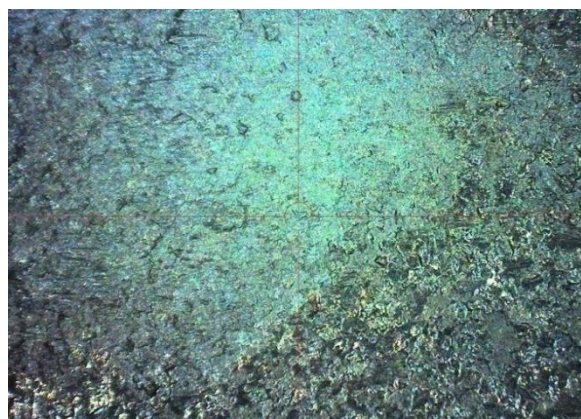
Už při odlisování 50 ks (Obr. 76), bylo na povrchu výlisku vidět otěr. Tento otěr se lineárně s počtem kusů zvětšoval, jak bylo možné pozorovat na dalších kusech (Obr. 77, Obr. 78). Taktéž hloubka rýh na výlisku se zvyšovala s větším počtem odlisovaných dílů.

Po odlisování 6000 ks bylo lisování ukončeno. Tvářecí nástroj vyjmut z lisu a ohybový nástroj demontován z tohoto tvářecího nástroje. Ohybová plocha byla znečištěna od maziva a od kovových šupin (Obr. 79). Tyto zbytky nečistot byly mechanicky odstraněny.

K pozorování stavu povrchu wolfram-karbidu byl použit mikroskop MVD 1978 umístěný ve společnosti Rostra. s.r.o., konkrétně na úseku kontroly kvality a jakosti.



Obr. 80 Povrch nástroje před lisováním při 20x zvětšení



Obr. 81 Povrch nástroje po 6000 ks při 20x zvětšení

Aby bylo možné povrchy wolfram-karbidového porovnat, byl nejprve nafocen povrch před samotným lisováním. Snímaný povrch nástroje při 20x zvětšení byl charakteristický wolfram-karbidovými zrny (Obr 80.). Po odlisování 6000 kusů výlisků byl povrch znatelně opotřebený. Z Obr. 81 lze usoudit, že karbidy jsou na povrchu adhezně opotřebený. Z důvodu vysoké tvrdosti a dokonalé nerovnosti povrchu s wolfram-karbidem došlo k zadírání do povrchu výlisku. Materiál výlisku byl přenášen mezi oběma povrchy a postupně s větším množstvím odlisovaných kusů zpevnován. Stával se abrazivní pro oba dva povrchy. Tento jev vysvětlují kovové šupiny nalezené na povrchu nástroje po ukončení lisování.

Z hlediska viditelných zrn karbidů na Obr. 80 a nerovnoměrnosti velikosti zrn lze stanovit, že opotřebení vzniklo nedostatečnou přípravou povrchu.

TECHNICKÉ HODNOCENÍ

Navarování metodou TIG/WIG probíhalo dle stanoveného technologického postupu, tj. uvedených podmínek navařování. Pro každý vzorek byly zvoleny jiné podmínky navařování, nicméně bylo využito především proudové zatížení, abychom měli k dispozici dostatečný počet výsledků pro srovnání.

Pro návary touto technologií byly použity čtyři typy vysokolegovaných drátů, z jejichž chemického složení bylo možné předpokládat tvrdost po navaření. Návary byly vytvořeny na legované ocel 1.2379 při podmínkách stejnosměrného a impulzního proudového režimu. Pro podmínky navařování s pulzním režimem, u vzorku č. 1 nebyl zařazen předehřev. Výsledné tvrdosti odpovídaly současnému chemickému složení a vlivu výše proudu na šířku tepelně ovlivněné oblasti. Současně na makrostrukturních snímcích nebyly zjištěny viditelné vady. Vzorky č. 2 a 3 byly navařovány stejnosměrným proudem se zařazeným předehřevem oceli na 250°C. Výše předehřevu byla stanovena z ARA diagramu, kdy teplota 250°C pro ocel 1.2379 leží mezi teplotou začátkem rozpadu austenitu na martenzit a koncem této přeměny. Na hranu A byl použit drát RC 63 a hrana B byla navařena drátem RC 64. Při navařování byla průběžně kontrolována teplota, aby nedošlo k dosažení poslední teploty popouštění. V případě jejího překročení by totiž došlo ke snížení tvrdosti v důsledku rozpadu martenzitu a snižování množství karbidů. Po navařování byl nástroj ponechán na vzduchu a po chvíli vložen do skelného zábalu, kde probíhal dohřev.

Při provádění zkoušek tvrdosti návarů na vzorku 2 a 3 bylo z naměřených hodnot zjištěno, že neodpovídají očekávané tvrdosti. Přičemž z praxe je obecně známo, že tvrdost struktury oceli při 1,1 % uhlíku je daleko vyšší. V našem případě byla naměřena tvrdost návaru přídatných materiálů RC 62 a RC 63 téměř shodná, přičemž chemické složení je značně odlišné. Z hlediska zkoumání jednotlivých příčin nízké tvrdosti bylo zjištěno, že návar nebyl dostatečně rychle ochlazen. V průběhu ochlazování, aniž by proběhla martenzitická transformace, byl nástroj vložen do skelného zábalu, kde probíhal dohřev.

I přes možné riziko rozměrových změn nástroje bylo zařazeno tepelné zpracování a to s ohledem na chemické složení přídatných materiálů. Vzhledem k rozměrům vzorků byl zvolen pro všechny vzorky jednotný postup tepelného zpracování. Z finančních důvodů nebylo provedeno žihání na měkko. To se provádí za účelem zvětšení zrn, čímž dochází k dobré obrobitelnosti oceli a obnovení výchozí struktury oceli. Místo žihání na měkko bylo zařazeno žihání na snížení napětí (popouštění) po dobu půl hodiny. Následně bylo provedeno kalení a popouštění dle standardního postupu tepelného zpracování.

Každý návar po tepelném zpracování vykazoval jiné hodnoty tvrdosti v závislosti na použitých podmínkách navařování a zvoleném přídatném materiálu. U výše proudů 60 A byly naměřeny vyšší tvrdosti než při navařování proudem 40 A. Z hlediska spolehlivosti je vysoká tvrdost přechodové oblasti návaru nežádoucí. Za těchto okolností může dojít při rázovém namáhání k vytvoření trhliny a následně vzniku lomu. Tuto nežádoucí výši tvrdosti v tepelně ovlivněné oblasti splňuje většina návarů na vzorku vytvořených stejnosměrným proudem. Nejvyšší hodnoty tvrdosti byly naměřeny v návaru vzorku č. 3 při použití drátu RC 64, jež maximální hodnota činí v tepelně ovlivněné oblasti až 697 HV5.

Při pozorování makrostruktury povrchu před a po tepelném zpracování nebyly odhaleny žádné vady v podobě trhlín. U vzorku č. 1 byla po tepelném zpracování zjištěna téměř žádná šířka tepelně ovlivněné oblasti.

Při zkoumání povrchu základního materiálu vzorku č. 2 bylo zjištěno, že v důsledku tepelného zpracování došlo k přesunu karbidických fází na hranici původních austenitických zrn, což vysvětluje vyšší tvrdost v tepelně ovlivněné oblasti, kde je podíl karbidů vyšší. Tato struktura základního materiálu je svými vlastnostmi nežádoucí pro rázové namáhání, což se ve výsledku projevuje křehkým lomem.

Na tomto vzorku, konkrétně hraně B, byl proveden výpočet podílu základního materiálu v návaru. Při odečtu z makrostrukturního snímku byla stanovena hodnota na 10 %. U většiny návarů nebylo možné zředití určit, z důvodu obrobení části návarů.

Z výše uvedených zjištění je **doporučeno** před kalením nejprve svarek vyžítat ke snížení tvrdosti a obnovy výchozí struktury. Žihání na měkko je často používanou operací, po níž se provádí změna rozměru nástroje obráběním. Poté lze aplikovat proces kalení a popouštění. Jestliže jsou provedeny rozsáhlé změny tvaru, je doporučeno materiál vyžítat ke snížení napětí.

V prvním případě je třeba si uvědomit, že návary musí být ochlazeny dostatečnou rychlostí, aby došlo k martenzitické přeměně. Při navařování jsou používány ARA diagramy, z kterých lze odhadnout jednotlivé strukturní složky při dané rychlosti ochlazování. Je však nezbytné ohlídat, aby teplota základního materiálu a teplota v návaru nebyly rozdílné. V takovém případě by tepelný rozdíl v jednotlivých oblastech návaru způsoboval nadměrná napětí. Doporučení patří určitě také části přípravy povrchu pro metalografii. Především provádět broušení na brusném kotouči o vyšší zrnitosti, případně dolešťovat povrch tak, aby byl jasně viditelný snímaný povrch.

V druhé části práce byla zjišťována kvalita wolfram-karbidového povlaku vytvořeného elektrojiskrovou technologií. Tato technologie vyžaduje důkladnější přípravu povrchu návaru, než technologie TIG, protože se jedná o navařování wolfram-karbidu v řádech mikrometrů. Wolfram-karbid byl navařen na reálný nástroj, který byl použit pro lisování. Podmínky pro jeho zkoušení byly dostupné přímo v lisovně. Z hlediska odlisovaného množství výrobků je opotřebení viditelné na všech výliscích, přičemž opotřebení na výlisku se zvyšuje s množstvím odlisovaných dílů. Odíraný materiál je přenášen z povrchu nástroje na povrch výlisku a plasticky deformován. Třísky jsou vlivem působících sil zpevňovány a stávají se abrazivními i pro samotný wolfram-karbid.

Za současného stavu není známo, jakým způsobem je výlisek namáhán a jakou plní funkci v praxi. Avšak rýhy vytvořené na výlisku snižují jednak vzhled a kvalitu povrchu. Důležitým faktorem je oblast použití výlisku. V případě zatěžování součásti jakýkoliv způsobem mohou být vzniklé rýhy na povrchu výlisku hlavními iniciátory trhlin, což ve výsledku může mít fatální následky, např. v automobilovém průmyslu.

ZÁVĚRY

Hlavním úkolem této diplomové práce bylo uvést problematiku, zabývající se renovací nástrojových ocelí. Nedílnou součástí všech tvářecí operací se běžně setkáváme s opotřebením nástrojů, které je zákonité. V práci jsou uvedeny nejen konkrétní případy opotřebení uváděné literaturou, ale také opotřebení zjištěné přímo z praxe. Hlavním významem renovace je v praxi ekonomický faktor, rozhodující buď o provedení renovace, nebo o zakoupení zcela nového dílu. V dnešní době existuje spousta firem dodávající nástroje v různých cenových hladinách. Otázkou, zda zakoupený levnější nástroj je schopen plnit funkci po stejně dlouhou dobu, jako nástroj dražší je třeba odzkoušet ať už v praxi nebo pomocí zkoušek tvrdosti, případně metalografie. Stejně tak to funguje v případě zkoumání kvality vytvořených návarů na opotřebená místa na nástrojích.

V praktické části práce je kvalita provedených návarů zjišťována při různých podmínkách navařování a jiném použitém přídavném materiálu. Tyto návary byly podrobeny zkouškami tvrdosti a metalografické analýze, konkrétně makrostrukturní zkouškou. Při makrostrukturních zkouškách nebyly v návarech zjištěny žádné trhliny, což je velmi kladným výsledkem z hlediska použití rázového zatěžování. Z pohledu tvrdosti nebylo dosaženo její požadované výše, při zvolených navařovacích podmínkách. Při tomto zjištění lze zcela jasně usoudit, že nástroj by v provozu neposkytoval dostatečně otěruvzdorné vlastnosti. Ke zvýšení tvrdosti návarů bylo provedeno námi zvolené tepelné zpracování, po kterém nevznikly žádné viditelné vady a bylo dosaženo požadované tvrdosti návaru.

Tato práce poskytuje informace o provádění renovací nástrojů a rizika vznikající při nesprávně posouzených podmínkách navařování, čímž dochází ke snížení životnosti nástroje použitého v provozu. V závěru tento chybný postup může představovat i značné více náklady na nápravu.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

1. TOBOLÍK, Stanislav. *Vliv tepelného zpracování na strukturu a mechanické vlastnosti nástrojových ocelí*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 53s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Eva Novotná, Ph.D., Paed IGIP.
2. SUCHÁNEK, Jan. *Možnosti zvýšení životnosti nástrojů pro plošné tváření* [online]. 2012/3 [cit. 2015-02-07]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-32012/moznosti-zvyseni-zivotnosti-nastroju-pro-plosne-tvareni.html>
3. WELCO spol. s.r.o.[online].[cit. 2015-02-12]. *Opravy nástrojů a forem*. Dostupné z: http://www.welco.sk/cz/library/files/cronitex/OPRAVY_NASTROJU_A_FOREM.pdf
4. Technologie tváření kovů: Rozdělení tvářecích procesů podle teploty. *Katedra tváření kovů a plastů - Skripta* [online]. [cit. 2015-02-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
5. RC 63. *WELCO - přídavné svařovací materiály a příslušenství pro údržbu, opravy a renovace* [online]. 2011 [cit. 2015-02-19]. Dostupné z: <http://www.welco.cz/katalog/rc-63>
6. CU TEC. *WELCO - přídavné svařovací materiály a příslušenství pro údržbu, opravy a renovace* [online]. 2011 [cit. 2015-02-19]. Dostupné z: <http://www.welco.cz/katalog/cu-tec>
7. KUBÍČEK, Jaroslav. *Renovace a povrchové úpravy* [online]. Brno, 2006 [cit. 2015-02-19]. 89 s. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory_soubory/renovace_a_povrchove_upravy_kubicek.pdf>
8. BAJGA, Miroslav. *Navarování kovů: Svět svaru*. [online]. 2005, roč. 9, č. 2, s. 1-12 [cit. 2015-02-19]. Dostupné z: www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/Nava%C5%99ov%C3%A1n%C3%AD_complete.pdf
9. Profil společnosti. *Rostra s.r.o. - O nás - Profil společnosti* [online]. 2011 [cit. 2015-02-21]. Dostupné z: <http://www.rostra.cz/?page=o-nas/profil-spolecnosti>
10. SUCHÁNEK, Jan. *Opotřebení materiálů* [online]. 2009/4 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-42009/opotrebeni-materialu.html>
11. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001, 292 s. ISBN 80-857-7185-3.
12. *Příručka svařování: Opravy a údržba*. 6. aktualizované. Vamberk: ESAB VAMBERK s.r.o., 2011
13. ZDRAVECKÁ, Eva. *Možnosti riešenia abrazívneho opotrebenia v technickej praxi* [online]. 2011/1 [cit. 2015-03-07]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12011/moznosti-riesenia-abrazivneho-opotrebenia-v-technickej-praxi-.html>

14. SUCHÁNEK, Jan. *Odolnost proti abrazivnímu opotřebení slitin neželezných kovů* [online]. 2012/1 [cit. 2015-03-07].
Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12012/odolnost-proti-abrazivnimu-opotrebeni-slitin-nezelezných-kovu.html>
15. HAZLINGER, Marián, Roman MORAVČÍK, Lubomír ČAPLOVIČ. *Degradačné procesy a predikcia životnosti materiálov*. 1. vyd. Bratislava: STU v Bratislave, 2010. 5498. ISBN 80-227-3334-2.
16. UDDEHOLM. *Steel for cold work tooling* [online]. Vid. 11. 2015 [cit. 2015-03-9].
Dostupné z: http://www.uddeholm.com/files/AB_cold_work_eng.pdf
17. SUCHÁNEK, Jan. *Abrazivní opotřebení kovových materiálů* [online]. 2010/1 [cit. 2015-03-11]. Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-12010/abrazivni-opotrebeni-kovovych-materialu.html>
18. SUCHÁNEK, Jan, Vladimír KUKLÍK a Eva ZDRAVECKÁ. *Abrazivní opotřebení materiálů*. Praha: [České vysoké učení technické], 2007, 162 s. ISBN 978-80-01-03659-4.
19. SUCHÁNEK, Jan. *Adhezivní opotřebení* [online]. 2009/4 [cit. 2015-03-11].
Dostupné z: <http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22010/adhezivni-opotrebeni.html>
20. LUCEFIN GROUP. *Technical card: X153CrMoV12* [online]. 1 s. [cit. 2015-03-11].
Dostupné z: http://www.lucefin.com/wp-content/files_mf/1.2379x153crmov1294.pdf
21. CS LINE. *Průmyslová maziva: Katalog produktů* [online]. [cit. 2015-03-11].
Dostupné z: http://www.hazmioil.cz/CS_line_oil/CS_LINE_prumyslova_maziva.pdf
22. BOHDAN BOLZANO s.r.o. *Legované nástrojové oceli pro práci za studena* [online]. [cit. 2015-03-01]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojove-oceli/nastrojove-oceli-pro-praci-za-studena/legovane-nastrojove-oceli-pro-praci-za-studena>
23. BOHDAN BOLZANO s.r.o. *Zpracování nástrojových ocelí* [online]. [cit. 2015-03-01].
Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojove-oceli/zpracovani-nastrojovych-oceli>
24. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
25. JULIŠ, Martin. *Nástrojové oceli*. [cvičení]. Brno: VUT, 2014
26. STAHL. *Processing steel straight from the line: Range of product* [online]. 2014 [cit. 2015-04-03]. Dostupné z: http://www.stahlo.de/downloads/Stahlo_Leistung_2014_EN_72dpi_Ansicht.pdf
27. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-32.
28. NEUMANN, Heinz. *Teorie svařování a pájení*. Vyd. 1. Liberec: Technická univerzita v Liberci, 2014, 167 s. ISBN 978-80-7494-171-9.
29. UDDEHOLM. *Welding of tool steel* [online]. Vid. 6. 2014 [cit. 2015-04-07]. Dostupné z: http://www.uddeholm.com/files/AB_cold_work_eng.pdf
30. HRIVŇÁK, Ivan. *Zváranie a zvariteľnosť materiálov*. 1. vyd. Bratislava: Slovenská technická univerzita, 2009. ISBN 978-80-227-3167-6.

31. GALVERY, William L a Ryan FRIEDLINGHAUS. *The art of welding*. South Norwalk: Industria Press, c2014, xiii, 256 s. ISBN 9780831134754
32. WEMAN, Klas. *Welding processes handbook*. 2nd ed. Philadelphia: Woodhead Pub., 2012, viii, 270 p. ISBN 978-085-7095-107.
33. Different Types of Corrosion: Recognition. *Different Types of Corrosion: Weld Decay - Causes and Prevention*. WebCorr Corrosion Consulting Services, Corrosion Short Courses and Corrosion Expert Witness [online]. [cit. 2015-04-10]. Dostupné z: http://www.corrosionclinic.com/types_of_corrosion/weld_decay_weldment_corrosion.htm
34. ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov*. 1. vyd. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998, 300 s. ISBN 80-88780-21-7.
35. BARTÁK, Jiří. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2002, 418 s. ISBN 80-857-7197-7.
36. KANDUS, Bohumil a Jaroslav KUBÍČEK. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0.
37. WEMAN, Klas. *Welding processes handbook*. 2nd ed. Cambridge, UK: Woodhead Pub, 2012. ISBN 978-085-7095-183
38. WELCO spol. s.r.o. *Postup při svařování nástrojových ocelí metodou WIG* [firemní dokument]. 4 s.
39. The Black Art of TIG Welding Aluminum- Crash Course Edition. *Eastwood - Auto Body Repair Tools | MIG Welder | TIG Welder | Plasma Cutter | Auto Body Supplies & Accessories* [online]. [cit. 2015-04-26]. Dostupné z: <http://www.eastwood.com/blog/eastwood-chatter/aluminum-tig-tips/>
40. MILLER. *Guidelines For Gas Tungsten Arc Welding (GTAW)* [online]. 2013 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: <http://www.millerwelds.com/pdf/gtawbook.pdf>
41. BÖHLER. *Welding in tool making* [online]. 2008 [cit. 2015-04-27]. Dostupné z: http://www.acerosbohler.com/spanish/files/BW140E_Welding_in_tool_making.pdf
42. BARTÁK, Jiří. Typy vad, příčiny jejich vzniku a hodnocení. *CWS ANB - česká svářečská společnost* [online]. [cit. 2015-04-29]. Dostupné z: <http://www.cws-anb.cz/t.py?t=2>
43. Tvrdokovový povlakovací přístroj Tucadur 2020. *Prestige technology s.r.o* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.prestige-technology.cz/product.php?id_product=13233
44. PRESTIGE TECHNOLOGY. *Tucadur 2020: Návod k použití* [firemní dokument]. 23 s.
45. HERMAN, Petr. *Materiály pro navařování a žárové nástřiky s wolframkarbidy* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://svarak.cz/images/Problematika_cihle_vapenek_cementaren_navary.pdf
46. MACHEK, Václav. *Kovové materiály 2: vlastnosti a zkoušení kovových materiálů*. 1. vyd. V Praze: České vysoké učení technické, 2014, 139 s. ISBN 978-80-01-05527-4
47. TTP 220 AC/DC. *WELCO - přídavné svařovací materiály a příslušenství pro údržbu, opravy a renovace* [online]. 2011 [cit. 2015-05-16]. Dostupné z: <http://www.welco.cz/katalog/ttp-220-ac-dc>

48. ROSTRA S.R.O. 255140054: *Postupový tvářecí nástroj*.
49. ROSTRA S.R.O. 255140054: *Kniha nástroje*. 2015, 8 s.
50. CRONITEX. *Metalurgisch technisches Datenblatt: Cronitex Katalog*. 2003.
51. BUDERUS EDELSTAHL. *Buderus Cold Work Tool Steel 2379 ISO-B* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://de.buderus-steel.com/budsteel95/export/shared/DownloadGalleries/Downloads_Company_DE/Datenblaetter/en/2379_ISO-B.pdf
52. KALÍRNA FRYDRICH. *Kontrolní lístek dávky tepelného zpracování: Vložka matrice*. 2014.
53. KALÍRNA FRYDRICH. *Kontrolní lístek dávky tepelného zpracování: Matriční kostka*. 2014.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Značka	Jednotka	Vysvětlivky
d	[mm]	Délka
F	[N]	Zatěžující síla
H	[Kg]	Hmotnost
I	[A]	Svařovací proud
I _p	[A]	Impulzní proud
I _z	[A]	Základní proud
KV	[J]	Nárazová práce
U	[V]	Svařovací napětí
T	[°C]	Teplota přehřevu
t	[s]	Čas
t _p	[s]	Čas impulzního proudu
t _z	[s]	Čas základního proudu
Re	[MPa]	Mez kluzu
Rm	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
Q	[kJ/mm]	Specificky vnesené teplo
Q _p	[l/min]	Průtok plynu
š	mm	Šířka
η	[-]	Účinnost
v	[mm/s]	Svařovací rychlost
	[mm]	Sevřená výška
	[t]	Lisovací síla
	[mm]	Výška beranu

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Materiálový list RC 220
- Příloha 2 Materiálový list RC 62
- Příloha 3 Materiálový list RC 63
- Příloha 4 Materiálový list RC 64
- Příloha 5 ARA diagram oceli X153CrMoV12
- Příloha 6 Tepelné zpracování vložky matrice
- Příloha 7 Tepelné zpracování matrice

PŘÍLOHA 1

MATERIÁLOVÝ LIST RC 220 [50]

Metallurgisch-technisches Datenblatt für CRONITEX - Schweißzusätze

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:

WIG-Stab

MIG-MAG-Draht

Laser-Draht

Stabelektrode

Füllstab/Fülldraht

CRONITEX Bezeichnung: **220**

Anwendung - Eigenschaften:

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

Richtanalyse % - Stähle

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

Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle

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

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

Datum 06/1997

Qualitätswesen

CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH

PŘÍLOHA 2

MATERIÁLOVÝ LIST RC 62 [50]

Metallurgisch-technisches Datenblatt für CRONITEX - Schweißzusätze

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:

WIG-Stab

MIG-MAG-Draht

Laser-Draht

Stabelektrode

Füllstab/Fülldraht

CRONITEX Bezeichnung: **Rc 62**

Anwendung - Eigenschaften:

Siehe CRONITEX Katalog "Produktgruppe 7", Seite 22

Richtanalyse % - Stähle

C	Al	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Si	V	W	Stabilisierzusätze (Ce-Nb/Cb-B-Ti)	Su%
0,4			7,50		Rest	0,80	0,40		1,70	0,30			

Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle

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

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

Datum 03/1996

Qualitätswesen

CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH

PŘÍLOHA 3

MATERIÁLOVÝ LIST RC 63 [50]

Metallurgisch-technisches Datenblatt für CRONITEX - Schweißzusätze

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:

WIG-Stab

MIG-MAG-Draht

Laser-Draht

Stabelektrode

Füllstab/Fülldraht

CRONITEX Bezeichnung: **Rc 63**

Anwendung - Eigenschaften:

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

Richtanalyse % - Stähle

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

Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle

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

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

Datum 12/2003

Qualitätswesen

CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH

PŘÍLOHA 4

MATERIÁLOVÝ LIST RC 64 [50]

Metallurgisch-technisches Datenblatt für CRONITEX - Schweißzusätze

Die Grunddaten bestimmen auch die Vorgabe zur Qualitätssicherung.

Form:



WIG-Stab



TTP-Stab



MIG-MAG-Draht



Laser-Draht



Stabelektrode



Füllstab/Fülldraht

CRONITEX Bezeichnung: **Rc 64**

Anwendung - Eigenschaften:

Modifizierter Schweißzusatz, angepasst zu den Hochleistungs-Schnellarbeitsstählen sowie pulvermetallurgischen Stählen mit den Elementen bis zu C-Gehalten von 1,8% und Cr-Gehalten von 13%. Der Vanadiumgehalt der ledeburitischen Gußstähle und PM-Stähle ist im hochwarmen Schweißbereich aufgrund von harter Feinkornbildung standzeitlich vorteilhaft. Damit sind auch höhere Standzeiten auf Kaltarbeitsstähle an exponierten Stellen gegeben.

Richtanalyse % - Stähle

C	Al	Co	Cr	Cu	Fe	Mn	Mo	Ni	Si	V	W	Stabilisierzusätze (Ce-Nb/Cb-B-Ti)		Su%
1,10			4,25			0,40	8,30		0,40	2,10	1,90	x	x	0,30

Richtanalyse % - Ne + Weich-Metalle

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

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

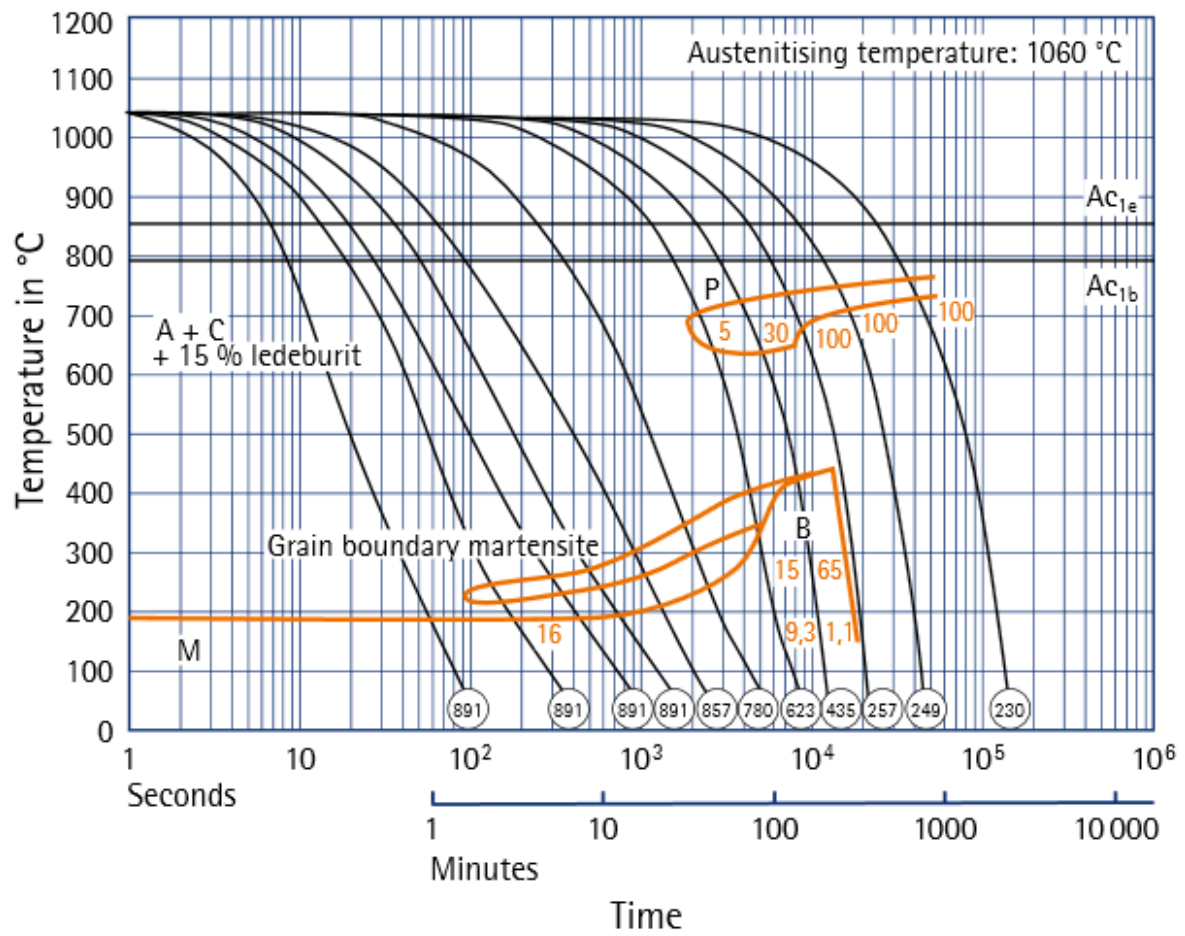
Datum 06/1994

Qualitätswesen

CRONITEX Metallurgie und Schweißtechnik GmbH

PŘÍLOHA 5

ARA DIAGRAM OCELI X153CRMOV12 [51]



PŘÍLOHA 6

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ VLOŽKY MATRICE [52]

KONTROLNÍ LÍSTEK DÁVKY tepel. zprac.						* 000191					
Firma	[REDACTED]					Další požadavky					
Vstupní kontrola	Datum					Obr. 25.9.11					
Termín dodání	Datum					č.v. 500-PO 197					
Zakázka	272 000007					31					
Objednávka						41					
Počet kusů	1					39					
Materiál	1,2379					9					
Cem. vrstva	schodaine mm					41					
Pož. tvrdost	60-2 HRc					22					
Operace	Teplota	HRC	M/Cp	Datum	Založ.	Vytaž.	Čas	č.p.	Jméno	Váha	
KAL	760			25.9.11	20	20	25	22			
KRSZ	-50			11			24	22			
PO	500			12			140	14		910	
POP	490			11.9			140	14			
POD	485						140	14			
PISK											
Výstupní kontrola	Součásti			Počet			Tvrdost				
	shodné			1			ks				
	neshodné			[REDACTED]			ks				
Datum	07.10.2011			Raz			Podpis				

PŘÍLOHA 7

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ MATRICE [53]

KONTROLNÍ LÍSTEK DÁVKY tepel. zprac.						* 000531					
Firma	[REDACTED]					Další požadavky 2.10.11					
Vstupní kontrola	Datum					Obr. 500-PO 197/207					
Termín dodání	Datum					2.10.11					
Zakázka	272 000007					500					
Objednávka						110					
Počet kusů	1					40					
Materiál	1,2379					100					
Cem. vrstva	schodaine mm					100					
Pož. tvrdost	60-2 HRc					100					
Operace	Teplota	HRC	M/Cp	Datum	Založ.	Vytaž.	Čas	č.p.	Jméno	Váha	
KAL	760			3.10.11	2		100	14			
KRSZ	-50			11			100	14			
PO	500			12			100	14		460	
POP	490			11.10			100	14			
POD	485			10.10			100	14			
PISK											
Výstupní kontrola	Součásti			Počet			Tvrdost				
	shodné			1			ks				
	neshodné			[REDACTED]			ks				
Datum	07.10.2011			Raz			Podpis				