



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ORBITÁLNÍ SVAŘOVÁNÍ MONTÁŽNÍCH SVARŮ NA JE METODOU TIG

ORBITAL WELDING ASSEMBLY WELDS IN THE NUCLEAR POWER BY THE TIG METHOD

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Zdeněk Lukášek

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	Zdeněk Lukášek
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Jaroslav Kubíček
Akademický rok:	2019/20

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

Orbitální svařování montážních svarů na JE metodou TIG

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Potrubní systémy jaderné elektrárny jsou nezbytnou součástí propojení všech klíčových center. Práce řeší problematiku orbitálního svařování montážních svarů při opravách, ale i u nových potrubních tras na JE.

Popisuje faktory, které je důležité dodržet, aby výsledné svary vyhověly předepsaným požadavkům. Pomocí experimentu porovnává svary připravované montážně a dílensky a zjišťuje vliv chemického složení materiálu i tvaru svarové plochy vůči zvolenému programu svařování.

Cíle bakalářské práce:

1. Literární studie problematiky svařitelnosti oceli a technologie svařování TIG.
2. Návrh experimentální práce.
3. Provedení experimentu a požadovaných zkoušek.
4. Vyhodnocení výsledků.

Seznam doporučené literatury:

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

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

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

HRIVŇÁK,Ivan. Zváranie a zvariteľnosť materiálov, 2vyd.Bratislava: Citadella, 2013,ISBN 978-8-89628-18-6.

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

KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. Technologie svařování: Svařování v ochranných atmosférách. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, ISBN 80-708-2697-5.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

LUKÁŠEK Zdeněk: Orbitální svařování montážních svarů na JE metodou TIG

Bakalářská práce se zabývá možností využití orbitálního svařování metodou TIG na montážní svary v JE Dukovany. V úvodní části se věnuje problematice svařitelnosti, především uhlíkových ocelí. Dále se práce zaměřuje na technologii svařování metodou TIG, jak u ručního, tak i mechanizovaného způsobu, kterou podrobně popisuje, včetně výhod a nevýhod obou variant. V části experimentální bylo svařeno pět zkušebních vzorků potrubí z feriticko-perlitického materiálu. Vzorky byly sestaveny tak, aby simulovaly možné kombinace, které se při montáži potrubí vyskytují. Následovaly nedestructivní a destructivní kontroly, které ověřily kvalitu a mechanické vlastnosti výsledných svarových spojů. V závěru byly výsledky zkoušek posouzeny a vyhodnoceny.

Klíčová slova: Svařování, orbitální svařování, TIG, svarový spoj, nedestructivní a destructivní zkoušení

ABSTRACT

LUKÁŠEK Zdeněk: Orbital welding assembly welds the nuclear power by the TIG method

The Bachelor's thesis looks at the possibility of using orbital welding by the TIG method on mounting welds in JE Dukovany. In the opening section, we deal with the issue of weldability, primarily carbon steels. Furthermore, the work focuses on TIG welding technology, both in the manual and mechanised way it details, including the advantages and disadvantages of both variants. In the experimental section, five test samples of ferritic-perlitic material pipes were welded. The samples were assembled to simulate possible combinations that occur during pipeline assembly. Non-destructive and destructive controls followed, verifying the quality and mechanical properties of the resulting weld joints. In conclusion, the results of the trials were assessed and evaluated.

Keywords: Welding, orbital welding, TIG, weld joint, non-destructive and destructive of testing

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

LUKÁŠEK, Zdeněk. *Orbitální svařování montážních svarů na JE metodou TIG* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-26]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/125049>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

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

V Ivančicích dne 26.6.2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat panu Ing. Jaroslavovi Kubíčkoví za odborné vedení, cenné rady a věcné připomínky týkající se zpracování bakalářské práce. Dále patří poděkování společnosti ČEZ Energoservis za podporu a poskytnuté zázemí, mým přátelům a kolegům za ochotu, vstřícnost a trpělivost a velký dík i Davidovi Sobotkovi za pomoc při realizaci experimentu.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR ZADÁNÍ A SVAŘITELNOST	10
1.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí	12
2 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ METODOU TIG	17
2.1 Svařovací proudy	17
2.2 Wolframové elektrody	20
2.3 Svařovací hořáky	23
2.4 Ochranné plyny	25
2.5 Přídavné materiály	26
2.6 Ruční svařování	27
2.7 Mechanizované, strojní svařování	27
3 EXPERIMENT	31
3.1 Volba materiálů	32
3.2 Příprava a tvar svarových ploch	34
3.3 Sestavení a svaření vzorků experimentu	35
3.4 Nedestruktivní kontroly	39
3.4.1 Vizuální kontrola – VT	39
3.4.2 Kapilární zkouška – PT	39
3.4.3 Zkouška prozářením – RT	40
3.5 Destruktivní kontroly	42
3.5.1 Zkouška tahem	43
3.5.2 Makroskopická a mikroskopická kontrola	44
4 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU	46
5 ZÁVĚRY	47

Seznam použitých zdrojů
Seznam použitých symbolů a zkratk
Seznam obrázků
Seznam tabulek
Seznam příloh

ÚVOD [1], [2], [3]

Vyrobít vlastními zdroji dostatečné množství elektrické energie je cílem téměř každého státu. Ze zvyšujícími se požadavky na ochranu životního prostředí, je snaha směřovat výrobu k využití obnovitelných zdrojů a pokud možno bezemisně. Jedna z možností, jak toho efektivně dosáhnout, je vyrábět energii v jaderné elektrárně. V České republice se momentálně nachází dvě, v lokalitách Dukovany a Temelín a disponují společným výkonem přes 4000 MW.

Provoz je podmíněn celou řadou opatření. Ty nejdůležitější se týkají zajištění bezpečného a spolehlivého chodu elektrárny tak, aby nebyla ohrožena jaderná bezpečnost. Při vyhodnocování rizik se soustředí pozornost i na svarové spoje, kterých je na zařízení i potrubních trasách nespočet. Na jejich kvalitu je kladen velký důraz, a to především podle důležitosti zařízení, na kterých jsou prováděny. Od toho se mimo jiné i odvíjí, jaké metody nedestruktivních kontrol budou použity a jaká procentuální četnost se předepíše v pracovním postupu.

Svařování v JE s sebou přináší i nemalé požadavky na svářečský personál. Aby svářeč mohl pracovat na vybraném zařízení, musí mít platné psychologické vyšetření, vstupní školení, bezpečnostní prověrku, zkoušku dle ČSN EN ISO 9606-1, zkoušku pro svařování v jaderné energetice a v některých případech je požadován i kontrolní svarový spoj. Ani to však není zárukou toho, že svar je vždy vyhovující na první pokus. Se zvyšujícími se nároky na kvalitu je i zde snaha svařování mechanizovat a automatizovat. Nejenom lepší kvalita, ale i možná ochrana pracovníku před ionizujícím zářením, bývá důvodem pro zavádění a používání tohoto způsobu svařování v JE.



Obr. 1: Jaderná elektrárna a svařování [2], [3]

1 ROZBOR ZADÁNÍ A SVAŘITELNOST [4], [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11]

Proces svařování (spadající do zvláštních procesů) je v jaderné elektrárně nezastupitelný, jak při výstavbě, tak i při opravách a údržbě jednotlivých komponent. Důležitá zařízení, jak primárního, tak i sekundárního okruhu spadají do bezpečnostních tříd, které mimo jiné určují i jakým způsobem, se bude postupovat při jejich opravě. Navrhovaný postup musí být v souladu s NTD A.S.I., plnit příslušné vyhlášky, metodiky, normy, zákony a na to vše dohlíží státní úřad pro jadernou bezpečnost.

Vlastní technologie svařování jsou navrhovány na základě příslušného materiálu, na tepelném a tlakovém namáhání svařovaných dílů a na možnostech provedení svarového spoje. Základní materiály používané na JE lze rozdělit do dvou hlavních oblastí. V primární části to jsou austenitické a žáropevné materiály a v sekundární části žáropevné materiály a konstrukční oceli. Kvalita svarů je velmi sledovaná a dodržování postupů svařování je prioritou číslo jedna při kontrolách výrobního procesu. Nejvíce sledované jsou heterogenní spoje, které se převážně, pokud je to možné, svařují v dílenských podmínkách jako mezikusy. Po montáži se následně v pravidelných intervalech kontrolují nedestruktivními metodami (RT a UT), kde se sleduje jejich celistvost za čas, kdy jsou vystaveny provozním podmínkám. V důsledku odhalených prasklin na těchto spojích, a zjištěné vyšší tvrdosti svaru a TOO, vyvstala otázka, jak materiál svařováním co nejméně ovlivnit a jakým způsobem předcházet tomuto praskání. Hlavně z důvodu vnesení co nejmenšího tepla do materiálu, kvůli snížení tvrdosti, padla volba na použití orbitálního svařování metodou TIG impulzním proudem. K ověření byl zvolen heterogenní spoj na přívodu superhavarijního napájení do parogenerátoru. Po svaření několika desítek vzorků, které byly podrobeny nedestruktivnímu i destruktivnímu zkoušení, se tato metoda jeví, jako velice efektivní. Čas ukáže, jak se budou svary chovat z dlouhodobějšího hlediska. Je tedy snahou více zapojit orbitální svařování i na homogenní svary, ale zavádění nových metod v JE, s sebou nese složité procesy schvalování. Je potřeba mít vše důkladně otestované a prověřené, protože počáteční investice bývá vysoká. Některé specifika, které mohou vyvstat při mechanizovaném svařování potrubních tras v montážních podmínkách, budou nasimulovány a ověřeny v této práci.

U orbitálního svařování se musí vždy upravovat svařovací program a parametry svařování dle konkrétního materiálu a tvaru svarové plochy. Většinou si to žádá velké množství zkušebních vzorků, na kterých se tyto parametry nastavují. V montážních podmínkách není vždy zaručeno, že bude možné připravit svarové plochy strojním mechanizovaným způsobem tak, aby byla zajištěna jejich dokonalá přesnost. Rovněž při napojování se do stávajících tras, nemusí být základní materiál vždy zcela shodný s původním. Tzn., že materiály nemusí mít stejné chemické složení. Tyto odlišnosti by mohly mít vliv na kvalitu výsledného svaru, protože u mechanizované svařování vše probíhá dle navoleného programu, který se během svařování nedokáže přizpůsobit novým podmínkám, tak jako to dokáže zkušený svářeč, nebo pouze částečně. Kvalita svarů je v JE na prvním místě, ale i doba opravy, může být na některých systémech velmi důležitá. Vytvořit vyhovující svar na první pokus, tak nemusí být prioritou jen z ekonomického hlediska.

Vzorky experimentu budou z potrubí $\varnothing 89 \times 6,3$ z materiálu L290NB (ČSN EN 10208-2), dříve označovaného jako 12022.1, který je běžně používaným uhlíkovým materiálem na JE. Tyto materiály budou blíže specifikovány v experimentální části dle konkrétních taveb, na základě inspekčních certifikátů, které budou uloženy jako příloha č. 1 a 2. Bude svařeno celkem pět vzorků, které budou navrženy tak, aby simulovaly kombinaci možných typů spojů,

charakteristických pro svařování v montážním prostředí, u kterých není možné si ověřit parametry svařování na zkušebních kusech. Na prvních dvou vzorcích bude použit program, který byl vytvořen a odladěn na zkušebních kusech ze stejného materiálu, a se shodným svarovým úkosem obroběným mechanicky na soustruhu. Následně bude ten samý program použit na zbylé vzorky, u kterých se změní některé vstupní parametry. U třetího vzorku to bude kombinace svarového spoje, kde u jedné trubky bude úkos připraven mechanicky a u druhé ručním způsobem bruskou. Jelikož se bude jednat o „U“ svar tzv. „tulipán“ bez mezery v kořenové oblasti (bude blíže popsáno v experimentální části, včetně svařovacího zdroje a parametrů svařování), u kterého je důležité, aby dosedací plochy byly stejné tloušťky s kontaktem po celém obvodu. Bude tedy rozhodující, jak se podaří spoj připravit. Čtvrtý vzorek se bude skládat z potrubí dvou různých taveb, takže chemické složení nebude úplně shodné, ale svarové plochy budou připraveny stejným způsobem, jako u prvních dvou vzorků. U pátého vzorku budou obě poloviny spoje z potrubí jedné tavby, ale z jiné, než v případě referenčních vzorků jedna a dva. Svarový úkos bude identický, jako u vzorků, na kterých se program tvořil, ale lišit se bude chemické složení.

Následně budou všechny vzorky podrobeny nedestruktivním kontrolám, které se běžně v JE požadují (vizuální, kapilární a radiografická zkouška). U některých vzorků se provedou i kontroly destruktivní, pro posouzení změn ve struktuře materiálu, či pevnosti vyhotovených svarů.

Jedním z nejdůležitějších faktorů při výběru materiálu ke svařování je jeho svařitelnost. Jedná se o technologickou vlastnost, kterou se rozumí komplexní charakteristika materiálu vyjadřující vhodnost kovu pro požadované svařované spoje, při určitých technologických možnostech svařování, tak aby splnily předepsanou jakost a konstrukční spolehlivost.

Vhodnost kovu ke svařování je charakterizována změnou vlastností kovu důsledkem svařování. Je to reakce materiálu na tepelně deformační proces svařování, jehož výsledkem jsou změny struktury, deformace a zbytkové napětí. Na svařitelnost mají zásadní podíl tyto aspekty:

- Chemické složení (základního i přídavného materiálu)
- Metalurgický způsob výroby (volba metody svařování)
- Způsob lití a tavení (hutní polotovary ke tváření)
- Tepelné zpracování (základních materiálů i svarů)

Další faktory ovlivňující svařitelnost:

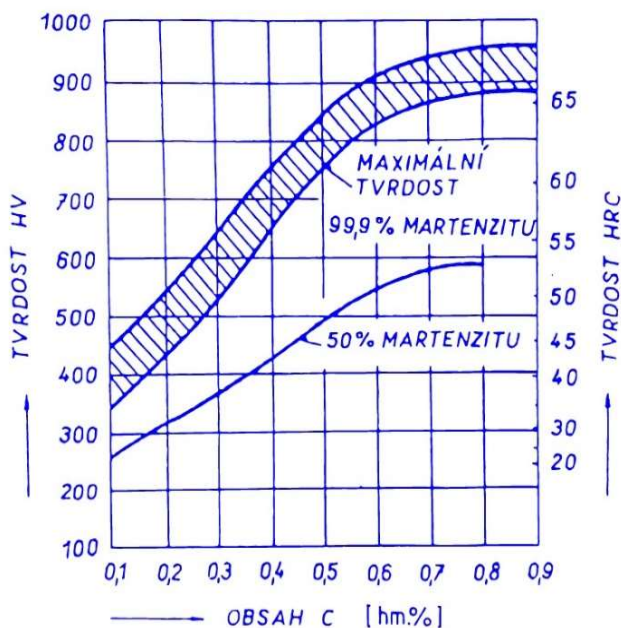
- Svařitelnost materiálová – vyjadřuje vhodnost daného materiálu ke svařování vůči změnám vlastností v tepelně ovlivněné oblasti (TOO), které jsou způsobeny vneseným teplem při svařování.
- Svařitelnost technologická – vyjadřuje jakým způsobem zvolená technologie svařování a použitá metoda, ovlivňuje vlastnosti svarového spoje. Důležitá je i volba přídavného materiálu a stanovení parametrů svařování.
- Svařitelnost konstrukční – vyjadřuje vliv na svarový spoj z hlediska konstrukční připravenosti. Zejména se jedná o volbu vhodné tloušťky materiálu a určení správné geometrie a tvaru svarových ploch.
- Některé druhy ocelí lze svařovat téměř bez jakéhokoliv omezení, v jiných případech je nutné použít třeba předehřev a dohřev, či omezit parametry tepelného příkonu, nebo zhotovené svary dále tepelně zpracovávat.

1.1 Svařitelnost uhlíkových ocelí [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13], [14], [15], [16], [17], [18], [19], [20], [21]

Podle ČSN lze uhlíkové oceli zařadit do tříd 10, 11, 12 a oceli na odlitky řady 42 26... Jejich vlastnosti jsou definovány obsahem uhlíku. Uhlík u těchto ocelí může být v rozmezí od velmi nízkého obsahu až do obsahu 1,7 hm. %, ale obsah nad 1,3 hm. % se u technických uhlíkových ocelí téměř nevyskytuje.

Tyto oceli mají nízkou odolnost v korozním i oxidačním prostředí, nízkou prokalitelnost, významný pokles tvrdosti při žhání a výrazné snížení pevnosti za vyšších teplot. Tyto problémy lze řešit použitím legovaných ocelí, kde legující prvky dokáží tyto nežádoucí vlastnosti eliminovat.

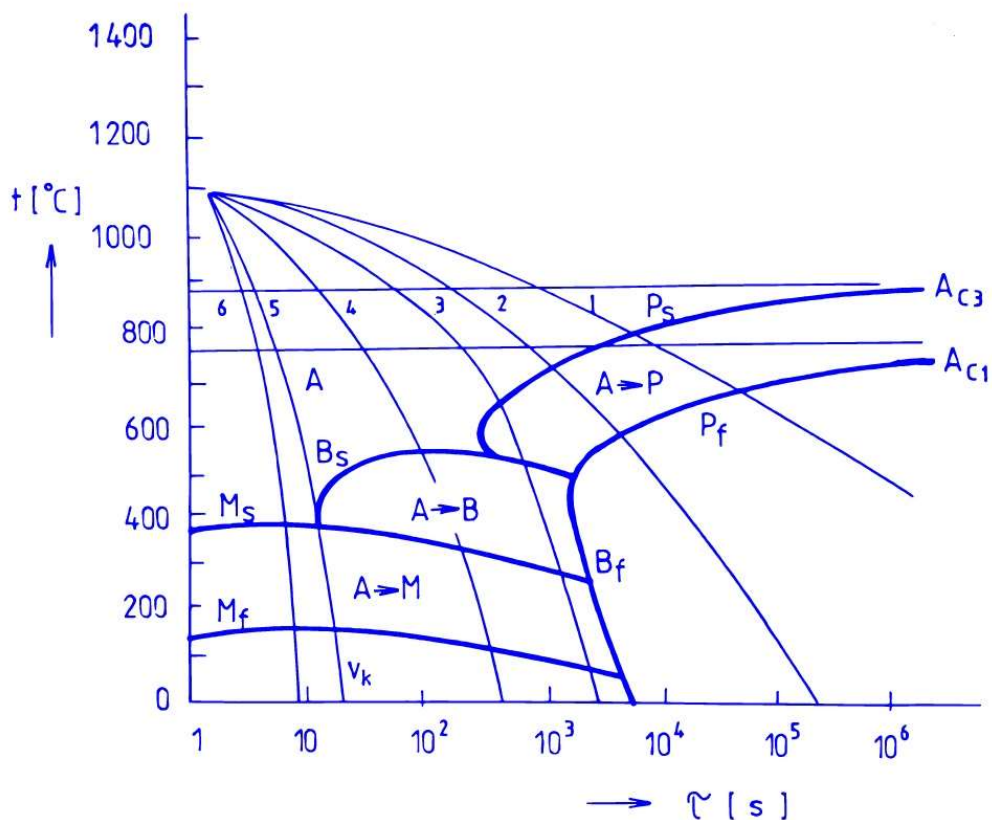
Přítomnost uhlíku při svařování nelegovaných ocelí způsobuje, že v TOO dochází ke zvýšení tvrdosti, ale zároveň i ke snižování plasticity, což má za následek vznik vnitřního napětí, které může iniciovat tvorbu prasklin. S rostoucím obsahem uhlíku se také zvyšuje náchylnost k zakalení při svařování. Tvrdost vznikajícího martenzitu se s rostoucím obsahem uhlíku zvyšuje. Současně se i zvyšuje náchylnost na vznik studených trhlin, převážně v TOO. Jako maximální tvrdost TOO se připouští 350 HV (ČSN EN ISO 15614-1 udává 380 HV). Této hodnoty tvrdosti se dosáhne při obsahu uhlíku 0,25 hm. % a 50 % obsahu martenzitu ve struktuře, jak je patrné z obr. 2.



Obr. 2: Závislost obsahu uhlíku na tvrdosti oceli způsobené martenzitem [15]

Z uvedených důvodů je proto obsah uhlíku ve svařitelných ocelích omezován hodnotou $C \leq 0,25$ hm. % při které není nutno zajišťovat zvláštní podmínky při svařování. Oceli s obsahem uhlíku vyšším než 0,25 hm. % již patří mezi podmíněně svařitelné. Jednou z podmínek pro zamezení trhlin po svařování je aplikování předehřevu.

Účelem předehřevu je zpomalení rychlosti ochlazování a tím snížení nebezpečí zakalení viz obr. 3.



Obr. 3: Diagram anizotermického rozpadu austenitu (ARA) [15]

Teplotu předehřevu lze stanovit výpočtem dle normy ČSN EN 1011-2, nebo dle metody Ita a Bessya, či Séferiána, V literatuře lze najít těchto metod výpočtů několik a liší se dle skupin materiálu, resp. jejich chemického složení. Obecně lze vycházet s následující tabulky 1.

Tab. 1: Teplota předehřevu v závislosti na obsahu uhlíku [10]

Obsah uhlíku v hm. %	Teplota předehřevu ve °C
0,20 až 0,30	100 až 150
0,30 až 0,45	150 až 275
0,45 až 0,80	275 až 425

Svařování s vysokým tepelným příkonem má účinek podobný jako předehřev, protože je více ohříváno okolí svaru, což zapříčiní jeho pomalejší ochlazování. K tomuto účelu se používají větší průměry přídavného materiálu, nebo se volí technologie, která větší tepelný příkon umožňuje.

Použití předehřevu není podmíněno pouze obsahem uhlíku, ale i tloušťkou materiálu a poměrem ostatních legujících prvků. Jedním z aspektů posouzení komplexní charakteristiky oceli pro svařování je určení tzv. ekvivalentního obsahu uhlíku C_e . U ocelí s obsahem $C < 0,2$ hm. % a $C_e \leq 50$ % s tloušťkou pod 25 mm se předehřev nevyžaduje, ale se vzrůstající hodnotou uhlíkového ekvivalentu se svařitelnost ocelí zhoršuje.

Výpočet C_e se provádí podle následující rovnice:

$$C_e = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr}{5} + \frac{Ni}{15} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cu}{13} + \frac{P}{2} + 0,0024s \quad [\text{hm. \%}] \quad (1)$$

s....tloušťka plechu (mm)

Tato rovnice je platná pro materiály do obsahu prvků: $C = 0,22$ hm. %, $Mn = 1,6$ hm. %, $Cr = 1$ hm. %, $Ni = 3,0$ hm. %, $V = 0,14$ hm. %, $Cu = 0,3$ hm. %.

V současné době doporučuje norma ČSN EN 1011-2 pro výpočet uhlíkového ekvivalentu dva vzorce navržené mezinárodním svářečským institutem IIW/IIS.

Metoda A

$$CEV = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad [\text{hm. \%}] \quad (2)$$

Metoda B

$$CET = C + \frac{Mn+Mo}{10} + \frac{Cr+C}{20} + \frac{Ni}{40} \quad [\text{hm. \%}] \quad (3)$$

Důležitý je rozsah obsahu prvků, pro který výpočet platí viz tab. 2.

Tab. 2: Obsah prvků v hm. % [19]

Prvky	Metoda A (hm. %)	Metoda B (hm. %)
C	0,05 až 0,25	0,05 až 0,25
Si	max. 0,80	max. 0,80
Mn	max. 1,70	0,50 až 1,90
Cr	max. 0,90	max. 0,70
Mo	max. 0,75	max. 0,75
Nb		max. 0,06
Ni	max. 2,50	max. 2,50
Ti		max. 0,12
V	max. 0,20	max. 0,18
B		max. 0,005
Cu	max. 1,00	

U metody A se při výpočtu CEV zohledňuje především množství slitinových prvků, kdežto u metody B u výpočtu CET je zohledněn především obsah uhlíku. Výsledky výpočtu uhlíkového ekvivalentu se u jednotlivých metod liší, proto se musí při porovnání hodnot různých materiálů, vždy použít shodná metoda.

Vliv jednotlivých prvků na mechanické vlastnosti a svařitelnost uhlíkových ocelí:

- Křemík – V nelegovaných uhlíkových ocelí zvyšuje pevnost a tvrdost. Je to desoxidační prvek. Při nedostatku křemíku (pod 0,1 hm. %) je ocel neuklidněná, horní hranice je omezena na 0,45 hm. %.
- Mangan – Zvyšuje pevnost a tvrdost při malém snížení tažnosti. Má vynikající desoxidační účinek a spolu s křemíkem je využíván k výrobě uklidněných ocelí. Má dobrou afinitu k síře (tvorí se sulfid manganatý). Nelegované uhlíkové oceli obvykle obsahují 0,3 až 0,9 hm. % manganu.
- Fosfor – Zvyšuje mez pevnosti, mez kluzu a odolnost proti atmosférické korozi. Snižuje plasticitu ocelí, zhoršuje tvářitelnost a vrubovou houževnatost a způsobuje zkřehnutí za studena, proto je jeho obsah omezen na max. 0,03 hm. %.
Škodlivé účinky fosforu:
 - a) Způsobuje zkřehnutí tuhého roztoku α .
 - b) Zvyšuje sklon k segregaci tím, že prodlužuje dvoufázovou oblast mezi teplotami 1534 až 1050 °C.
 - c) Vyrovnání koncentrace fosforu brání malá difuzní rychlost v α a γ tuhém roztoku (ferit, austenit)
- Dusík – Maximální rozpustnost dusíku je při teplotě 1600 °C a obsahu 0,04 až 0,05 hm. %. Jeho snížení lze provést přidáním legujících prvků s velkou afinitou vůči němu (např. hliník, titan) Stejně jako uhlík je austenitotvorný a jeho přítomnost rozšiřuje pole γ . Vzniklé nitridy zvyšují tvrdost, pevnost a mez kluzu, ale současně snižují plastické vlastnosti, především tažnost, vrubovou houževnatost a mez únavy. Vylučování nitridů má za následek stárnutí uhlíkových ocelí při běžných teplotách, ale i křehkost v oblasti 100 až 350 °C. Zvláště nebezpečné je vylučování nitridů v úzkém pásmu kolem svaru, které může za nižších teplot vést k úplnému narušení konstrukce.
- Síra – Dostává se do oceli z rud a z paliva. Někdy se přidává do ocelí úmyslně, kvůli zlepšení obrobitelnosti. Železo a sulfid železitý tvoří nízkotavitelné eutektikum, u kterého se bod tavení posouvá k nižším teplotám. Proto při svařování, či tváření za tepla, dochází k natavení eutektika na hranicích zrn a tím dochází k porušení materiálu. (tzv. mezikrystalické trhliny) Tento proces je nazýván jako náchylnost na vznik teplých trhlín. Při vysokém obsahu síry je žádoucí přítomnost manganu, s kterým tvoří sulfidy. Tyto se již nenachází na hranicích zrn, ale jsou rozděleny v zrnech oceli. Maximální obsah síry má být do 0,03 hm. %.

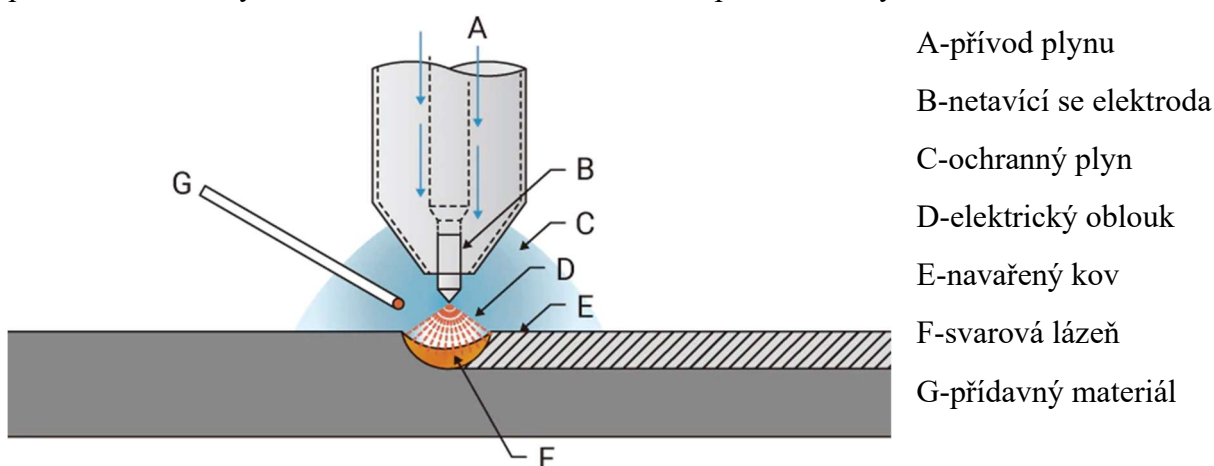
- Vodík – Ve slitinách železa je to nežádoucí příměs, která se do nich dostává rozkladem vzdušné vlhkosti při tavení. Jak při samotné výrobě, tak i při svařování. Vodík je v kovu buď rozpuštěn, nebo tvoří s kovy hydridy. Má podíl na vzniku pórů ve svarovém kovu, na oduhlíčení a vzniku „rybích ok“ ve svarovém kovu, na tvorbu prasklin a celkového zkřehnutí svarového kovu a TOO. Možné zdroje vodíku, při tavném svařování:
 - a) Vlhkost na povrchu základního a přídavného materiálu
 - b) Vlhkost v obalu elektrod a v tavidlech
 - c) Zbytky maziv po tažení na povrchu přídavných materiálů (dráty i jádra elektrod)
 - d) Vodík absorbovaný při poměďování povrchu drátů
 - e) Vlhkost a vodík v ochranných plynech
 - f) Vodík již obsažený v základním materiálu

- Hliník – Působí silně denitridačně a desoxidačně. Nitridy a oxidy hliníku působí při tuhnutí oceli jako krystalizační zárodky. Silně uklidněné oceli by měli obsahovat minimálně 0,02 hm. % hliníku.

- Měď – Do nelegovaných ocelí se dostává použitím šrotu s určitým obsahem mědi. Do 0,26 hm. % se považuje za neškodný. Do 0,5 hm. % zvyšuje odolnost proti atmosférické korozi. Do 0,6 hm. % zhoršuje svařitelnost a houževnatost. U svarových spojů může způsobovat stárnutí, vlivem precipitace nitridů. Dalším problémem je hrubnutí zrna v oblasti svarového spoje v důsledku rekrystalizace, které je následkem předchozího tváření za studena.

2 TECHNOLOGIE SVAŘOVÁNÍ METODOU TIG [8], [16], [17], [22], [23], [24]

Dle objemu svařovaných konstrukcí je technologie obloukové svařování nejpoužívanější. Růst podílu svařovaných ocelových konstrukcí vykazuje především metoda MAG, která už téměř nahradila ruční svařování obalenou elektrodou. Metoda TIG je nejpoužívanější metodou v oblasti svařování trubkových systémů v chemickém, potravinářském a energetickém průmyslu, a to jak ručně, tak i automatickou verzí orbitálního svařování. Principem je, že hoří oblouk mezi netavící se elektrodou a základním materiálem, obklopen atmosférou inertního plynu vysoké čistoty, který chrání elektrodu, odtavující se kapky přídavného materiálu i tavnou lázeň, proti účinkům vzdušného kyslíku a dusíku, viz obr. 4. Přídavný materiál je u ručního způsobu dodáván ve formě jednotlivých kusů drátu a u automatizovaného je přiváděn podavačem z cívky navinutého drátu, konstantní, nebo proměnnou rychlostí.



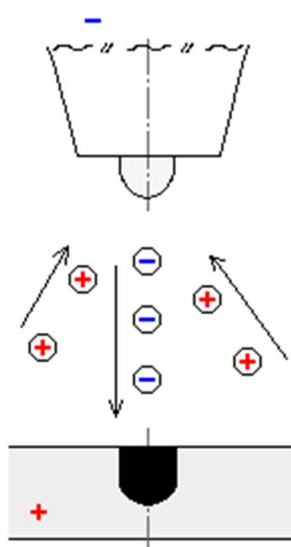
Obr. 4: Schéma TIG svařování [24]

2.1 Svařovací proudy [8], [16], [17], [22], [23], [25]

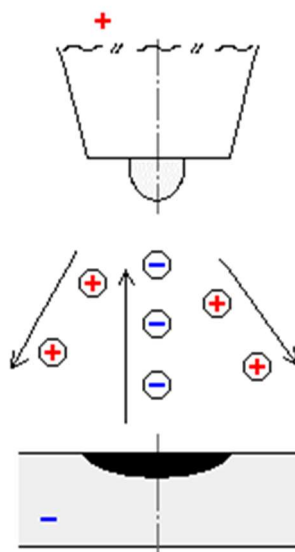
Dle proudu rozlišujeme svařování:

- Stejnoseměrným proudem – téměř výhradně se používá tzv. přímá polarita, kdy je elektroda připojena k zápornému pólu zdroje proudu a svařovaný materiál k pólu kladnému. Teplu oblouku není rozdělené rovnoměrně, ale v takovém poměru, že 1/3 připadá na elektrodu a zbylé 2/3 jsou přenášeny do základního materiálu. Je tedy k dispozici více tepla pro snadnější tavení a zároveň není elektroda tolik tepelně namáhána. Svary jsou úzké a vyznačují se velkou hloubkou závaru. Na hloubku závaru má vliv i dopad elektronů, které svou kinetickou energii mění na tepelnou. Používá se na spojování všech typů ocelí, niklu, mědi, titanu a jeho slitin. Při použití směsi argonu a nejméně 75 % helia, lze svařovat i hliník, kde díky vysoké vodivosti helia je předáváno do svarové lázně velké množství tepla, které umožňuje i roztavení povrchových oxidů. Při opačném zapojení, tedy s tzv. nepřímou polaritou, je elektroda vystavena velkému tepelnému namáhání a hrozí její odtavení. I přesto lze toto zapojení použít, ale musí se zajistit intenzivní chlazení elektrody. Výhodou je totiž tzv. čistící efekt, který odstraňuje povrchové oxidy. V omezené míře se tedy používá na spojování hliníku a hořčíku, ale pouze u tenkostěnných svařenců, kde lze svařovat malými proudy. Svary jsou široké, s malou hloubkou závaru.

Ukázka přímé (obr. 5) a nepřímé (obr. 6) polarity

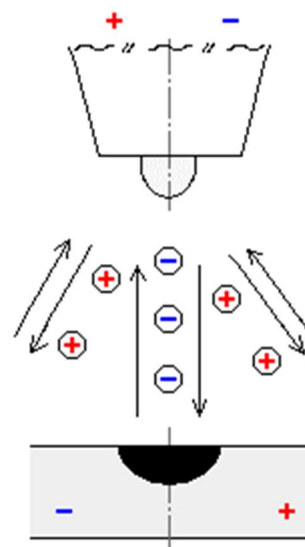


Obr. 5: Přímá polarita [25]



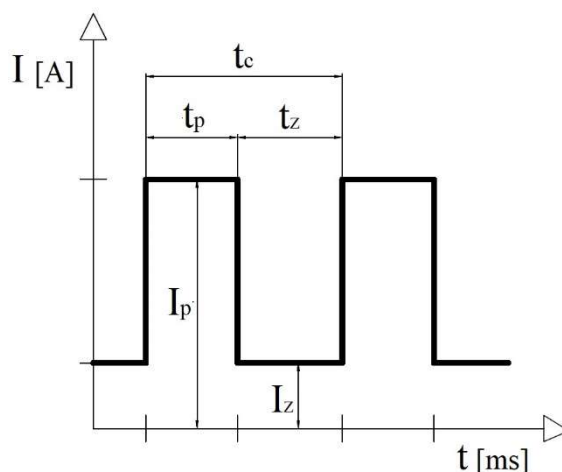
Obr. 6: Nepřímá polarita [25]

- Střídavým proudem – kdy dochází k periodickému střídání polarity, viz obr. 7. Lze tedy využít výhod jak přímé, tak nepřímé polarity zároveň. V první fázi, kdy je elektroda na kladném pólu, dochází k čištění základního materiálu od oxidů, ale je více tepelně namáhána. V druhé fázi je polarita obrácená, u elektrody dojde k částečnému ochlazení, ale zároveň k většímu natavení základního materiálu. Zjednodušeně by se dalo říci, že dochází periodicky ke střídání fáze čištění a fáze svařování. Střídavý proud se používá výhradně na svařování hliníku, hořčíku a jeho slitin. Vrstva oxidu hlinitého, která chrání povrch hliníku proti další oxidaci, je pro svařování výrazným problémem. Jeho teplota tavení je 2050 °C a při použití stejnosměrného proudu a argonu, brání metalurgickému spojení, protože pokrývá povrch roztaveného hliníku, jehož teplota tavení je cca 658 °C. Moderní svařovací zařízení mají obdélníkový průběh střídavého proudu, který umožňuje rozšířit, nebo zúžit kladné, případně záporné periody proudu. Touto funkcí (tzv. balance), můžeme při silně zoxidovaném povrchu zlepšit čistící efekt posílením kladné periody, nebo naopak, zvýraznit hloubku závaru při záporné periodě.



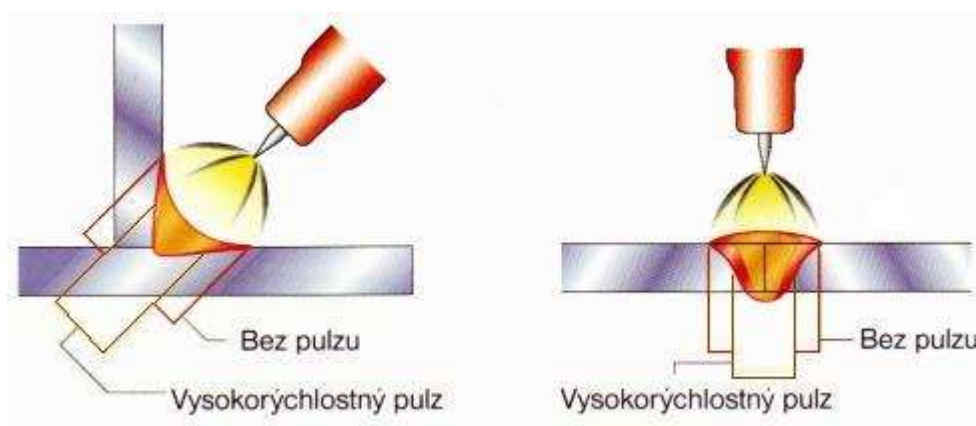
Obr. 7: Periodické střídání polarity [25]

- Impulsním proudem – je moderní technika svařování, která umožňuje snižovat objem vneseného tepla do svaru a ovládat plynulé přechody ze svarového kovu do základního materiálu. Intenzita proudu se mění v čase, pravidelně mezi dvěma proudovými hladinami, a to mezi proudem základním I_z a impulsním I_p . Hodnota základního proudu bývá nízká (cca 10 – 15 A), protože pouze zajišťuje ionizaci oblouku v čase t_z . Pro svařování vysokolegovaných ocelí je výhodné, pokud je doba základního proudu delší než dvojnásobek doby pulsu, jelikož dochází k úplnému ztuhnutí svarové lázně. Naopak, pokud je kratší, tak lázeň neztuhne, ale zmenší svůj rozměr, což zajistí svaru hladší kresbu s plynulým přechodem do základního materiálu. Impulzní proud I_p v čase t_p nataví svarovou lázeň a přidavný materiál. Rozměry lázně jsou definovány především hodnotou amplitudy impulsního proudu a délkou pulsu. Tím se dosahuje velmi přesné regulace svářecího procesu, především hodnoty vneseného tepla do svaru a tvar svarové lázně. Průměrná hodnota obou proudů je ve srovnání s klasickým konstantním výrazně nižší, a proto mají svary malou TOO, výborné plastické vlastnosti a nejsou tolik náchylné na praskání. Celkový čas cyklu t_c určující frekvenci pulsního svařování je dán součtem pulzního proudu t_p a základního t_z viz obr. 8.



Obr. 8: Průběh impulsního proudu [8]

V závislosti na střídání jednotlivých fází I_z a I_p rozlišujeme běžný puls (0,25 - 25 Hz) a vysokorychlostní (20 – 600 Hz). Běžný je ideální na nerez oceli a tenké plechy, kde pomáhá optimalizovat svářecí proces, jehož výsledkem jsou přesné a souměrné housenky. Vysokorychlostní puls má koncentrovanější oblouk a důsledkem toho je významně menší TOO viz obr. 9.



Obr. 9: Porovnání svařování s pulzem a bez pulzu [25]

2.2 Wolframové elektrody [8], [16], [17], [26], [27], [28]

Netavící se elektrody používané u metody TIG se vyrábějí ze spékaného wolframu, který má teplotu tavení 3380 °C. Vyrábějí se buď zcela bez příměsí o čistotě 99,9 % W, nebo legované oxidy kovů jako je Cer (Ce), Lanthan (La), Thorium (Th), Zirkon (Zr) a Ytrium (Y). Vlivem těchto legur se teplota ohřevu elektrody snižuje až o 1000 °C, zvyšuje se její životnost, zlepšuje se zapalování oblouku i jeho stabilita, zejména kvůli zvýšené emisi elektronů. Zvýšení emise elektronů lze dosáhnout snížením výstupní práce potřebné k uvolnění elektronů. Vysoká teplota tavení oxidů, prodlužuje životnost elektrody a dovoluje vyšší proudové zatížení viz tabulka 3.

Tab. 3: Teplota tavení oxidů kovů a výstupní práce elektronů [8]

Materiál	Výstupní práce elektronů (eV)	Teplota tavení (°C)
Wolfram	4,24 - 5,01	3380
Oxid thoričitý ThO ₂	2,0 - 3,0	3300
Oxid lanthanitý La ₂ O ₃	1,7 - 4,2	2300
Oxid zirkoničitý ZrO ₂		2700
Oxid ceričitý CeO ₂	1,8 - 2,6	2600
Oxid hafničitý HfO ₂		2900
Oxid ytřitý Y ₂ O ₃	1,9 - 3,8	2700
Oxid wolframový WO ₃		1473

Volba typu a průměru elektrody závisí na druhu proudu i oblasti použití. Při zatížení proudem je její spotřeba cca 4 mm za hodinu. Vyrábí se v průměrech od 0,5 do 6,4 mm a standardní délka je 175 mm. Jsou klasifikovány normou ČSN EN ISO 6848. Každá wolframová elektroda je vždy označena písmenem W, za ním následuje chemické označení hlavního přísadového prvku a dále číslo udávající hmotnostní procento přidaného oxidu násobeného deseti. Z důvodu dobré rozlišitelnosti jsou jednotlivé druhy barevně značeny, viz obr. 10. Dle chemického složení se elektrody dělí:

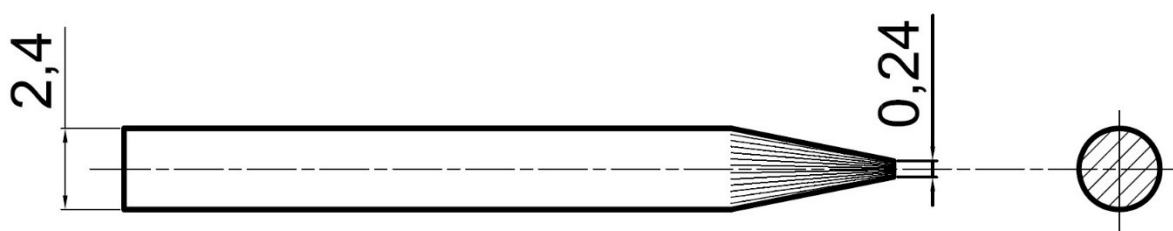
- WP – wolframová elektroda čistá (Pure = čistý). Používá se pro svařování střídavým proudem slitin hliníku, hliníkového bronzu a hořčíku, kde vyniká stabilním obloukem.
- WC – elektrody obsahující oxidy ceru. Jsou univerzální, pro téměř všechna použití, při svařování stejnosměrným i střídavým proudem. Jsou vhodné pro svařování nelegovaných i legovaných ocelí, slitin titanu, mědi a niklu. Velmi dobře se zapalují, mají dlouhou životnost a vysokou proudovou zatížitelnost.
- WL – elektrody dopované lanthanem jsou také univerzální, použitelné pro stejnosměrný i střídavý proud. Vykazují lepší výsledky vůči WC hlavně při nízkých svařovacích i zapalovacích proudech. Jsou tak vhodné i pro svařování plazmou a mikroplazmou. Vyšší podíl lanthanu usnadňuje opakované zapalování, zejména při automatizovaném svařování (orbitální, robotické atd.)

- WZ – elektrody se zirkonem poskytují extrémně stabilní oblouk. Zirkon minimalizuje tvorbu wolframových vměstků ve svarovém kovu. Používají se hlavně pro svařování hliníku střídavým proudem, jako náhrada WP elektrod. Pro stejnosměrný proud je použití podmíněné.
- WT – thorium obsažené v těchto elektrodách snižuje výstupní práci a zvyšuje emisi elektronů. Se stoupajícím obsahem thoria se zlepšuje zapalování oblouku, proudová zatížitelnost i její životnost. Výborné vlastnosti vykazuje při svařování vysoce legovaných a nerezových ocelí stejnosměrným proudem. Thorium je ovšem radioaktivní prvek a se stoupajícím obsahem Th narůstá jejich radioaktivita (záření alfa). Prach vznikající broušením těchto elektrod se může usazovat na plicích a způsobit rakovinu. Proto je nutné při broušení i svařování zajistit důkladné odsávání. V současné době se od používání těchto elektrod ustupuje a přechází se na elektrody WC a WL. V našich dvou jaderných elektrárnách je jejich používání zakázáno zcela.



Obr. 10: Ukázka značení elektrod [27]

Broušení wolframových elektrod – tvar konce elektrody má zásadní vliv na průběh svařování a kvalitu výsledného svaru. Brousí se do špičky na opačném konci, než je barevné značení. Čím je broušený úhel menší, tím se více natahuje oblouk na hrot a šířka oblouku i tavné lázně se zvětšuje. Délka špičky má být asi 1 – 1,5 násobek průměru (pro \varnothing 2,4 mm je délka špičky 2,4 – 3,6 mm). Špička elektrody by se měla po broušení otupit tak, aby průměr otupení byl cca 10 % průměru elektrody (obr. 11). Otupením se výrazně sníží zatížení špičky a tím zřetelně prodlouží životnost.



Obr. 11: Geometrie broušení elektrody [8]

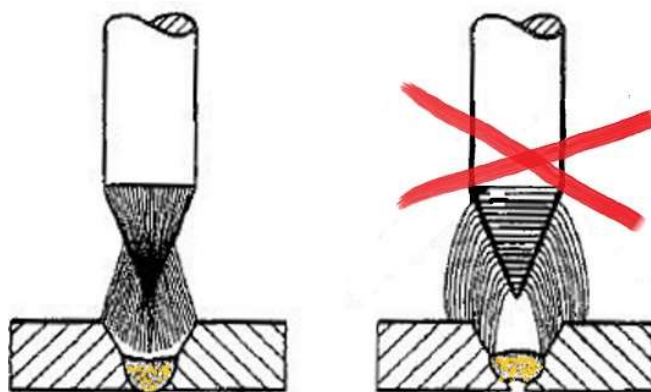
Před broušením je nutno ověřit, zda není konec elektrody nějakým způsobem poškozen (nalomen, nebo naříznut). Pevnost jednotlivých zrn je zde menší než pevnost celých krystalů, a proto mají snahu se při mechanickém namáhání uvolňovat. Vysoké zahřátí svařováním, pak může způsobovat trhliny ve špičce. Z toho důvodu se musí broušení provádět velmi opatrně, aby se zabránilo mechanickému poškození hranic zrn. Tlak elektrody vůči brusnému kotouči by měl být co nejmenší, aby nevznikalo velké teplo, které by zvyšovalo napětí v zrnech a následně hrozilo jejich poškození po hranicích. Brusný kotouč se volí co nejjemnější. Čím je broušení jemnější, tím vyšší je životnost elektrody.

Ideálně na speciálních bruskách na elektrody (obr. 12). Ruční způsob není moc vhodný.



Obr. 12: Brusky na wolframové elektrody [28]

Při broušení je také velmi důležité orientovat elektrodu tak, aby vzniklé rýhy byly rovnoběžné s její podélnou osou, což zajišťuje hoření oblouku z konce elektrody. Rýhy, které se vytvoří při příčném broušení, mají za následek nestabilitu oblouku a vylamování částecek wolframu, které se mohou dostat do svarové lázně (obr. 13). Neméně důležité je i správné vystředění špičky do osy. Při excentricitě hrozí, že se oblouk bude vychylovat. Toto je rozhodující faktor zejména u automatizovaného svařování, kde je elektroda pevně fixována na střed svaru a vadně vycentrovaná špička zamezí přenosu energie na požadované místo. Parametrům svařovacího proudu by se měl přizpůsobit i úhel nabroušení. Doporučené hodnoty vrcholového úhlu pro stejnosměrný proud:



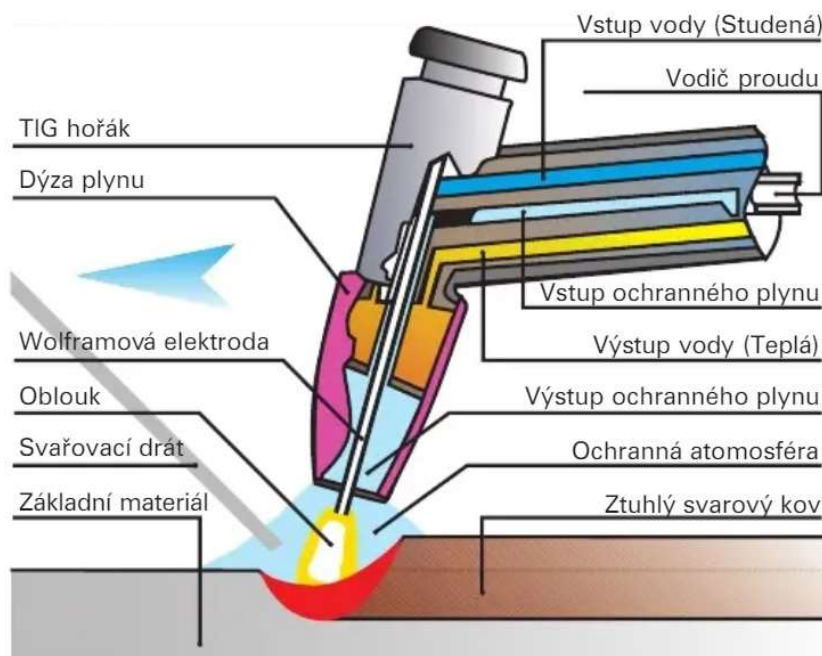
Obr. 13: Vliv broušení na oblouk [8]

- do 20 A.....30°
- 20 až 100 A.....60° až 90°
- 100 až 200 A.....90° až 120°
- nad 200 A.....120°

Elektrody by se měli přebrušovat v pravidelných intervalech, ještě před jejich úplným opotřebením, které by už mohlo ovlivňovat kvalitu svaru.

2.3 Svařovací hořáky [8], [16], [17], [26], [26]

Hlavním úkolem hořáku je zajistit přívod elektrického proudu k elektrodě, přívod a usměrnění ochranného plynu, přívod a odvod chladicí kapaliny a fixování polohy wolframové elektrody (obr. 14).



Obr. 14: Detail svařovacího hořáku [29]

Do cca 150 A jsou hořáky chlazeny procházejícím plynem, do 350 až 500 A se již využívá chlazení vodou, jak pro ruční, tak především pro mechanizované svařování. Jednou z hlavních součástí jsou upínací kleštiny, které zajišťují pevné uchycení a proudové napájení wolframových elektrod. Jsou vyměnitelné, tak jako téměř všechny díly hořáku. Další součástí, která je tepelně zatížená a má za úkol usměrňovat proudění plynu k místu svařování, je plynová tryska (obr. 15). Nejčastěji se používají keramické, ale v současnosti získávají na oblibě trysky průhledné skleněné, u kterých má svářeč lepší kontrolu oblouku i v těžko přístupných místech. Průměr trysky se volí podle velikosti plochy, kterou je třeba chránit a dle zvoleného proudu. Doporučené průměry plynových trysek jsou uvedeny v tabulce 4.



Obr. 15: Plynová tryska

Tab. 4: Doporučené průměry plynových trysek [8]

Proudový rozsah (A)	Průměry plynové trysky (mm)
do 70	6 - 9
70 - 150	9 - 11
150 - 250	11 - 13
250 - 300	13 - 15
300 - 500	15 - 18

Pro zlepšení plynové ochrany se velmi často používají plynové čočky (sítka), které prodlouží proudění plynu a usnadní tím přístup ke svařovanému místu, protože dovolí více vysunout elektrodu (obr. 16). Sítko umožní nejenom vysunutí elektrody o 15 až 20 mm, ale pomáhá i snížit průtokové množství inertního plynu až o 50 %.

Ochranný plyn má za úkol dokonale ochránit svarovou lázeň před účinky okolní atmosféry, hlavně kontaminací kyslíkem nebo dusíkem a zároveň i wolframovou elektrodu před oxidací. Ke kontrole optimálního průtoku plynu na ochranné plynové trysce se používají trubičkové průtokoměry s kuličkou (obr. 17). Jedná se průhledný válec s noniem zakončený gumovou manžetou, která se nasadí na plynovou trysku hořáku. Procházející plyn zvedne kuličku, která na základě jeho množství vystoupá do určité výšky, jenž nám stanoví průtok, odečtením z nonie na trubičce. Optimální průtok je pro svařování důležitý, ale jeho stanovení ovlivňuje několik faktorů:

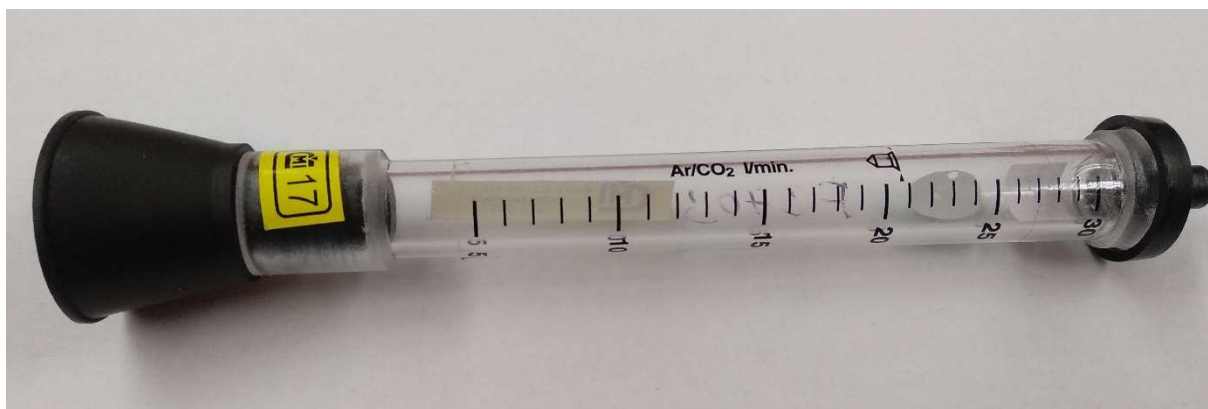
- druh materiálu, který budeme svařovat
- typ svarového spoje
- poloha svařování
- typ ochranného plynu
- velikost plynové trysky
- hodnota použitého proudu
- úhel sklonu hořáku
- proudění okolního vzduchu



Obr. 16: Plynové čočky

Z důvodu zajištění dokonalé plynové ochrany pro zapálení oblouku disponuje svařovací zařízení funkcí předfuku plynu. Zapálení oblouku je po spuštění ochranného plynu opožděno o 2 až 5 sekund. Naopak po ukončení svařování se využívá funkce dofuku, která se postará o ochlazení elektrody a svarového kovu na teplotu cca 300 °C, při níž už nehrozí oxidace. Doba proudění plynu po vypnutí proudu je ještě 5 až 20 sekund. Pokud je elektroda zbarvená modře, nebo černě, značí to nedostatečnou ochranu a je třeba dofuk prodloužit.

Každý hořák je vybaven spínačem elektrického proudu, který lze nastavit na dvoutaktní nebo čtyřtaktní režim spínání. Mnohdy je také vybaven potenciometrem, který umožňuje regulaci hodnot proudu v průběhu svařování, případně spínačem k plynulé nebo skokové změně předem nastavených proudových parametrů.



Obr. 17: Průtokoměr s kuličkou

2.4 Ochranné plyny [8], [16], [17]

Při svařování metodou TIG má volba ochranného plynu velký podíl na celkovém výsledku svařovacího procesu. Jeho hlavním úkolem je chránit netavící se wolframovou elektrodu a svarovou lázeň před nežádoucími účinky okolní atmosféry, ale i vytvoření ideálních podmínek pro zapálení a stabilní hoření elektrického oblouku. Ovlivňuje, ale i spouští dalších faktorů. Mezi ně patří, tvar a rozměry oblouku, tvar a rozměry průřezu svaru, povrch svaru i přechod do základního materiálu, kvalitu a mechanické vlastnosti svaru atd. Používají se inertní plyny:

- Argon – je nejčastěji užívaným plynem (i z cenových důvodů) a lze ho použít na všechny svařované materiály. Argon (Ar) je jednoatomový, bezbarvý plyn, který nevytváří chemické sloučeniny se žádným prvkem. Vyrábí se destilací zkapalněného vzduchu. Má relativně nízký ionizační potenciál 15,8 eV a také malou tepelnou vodivost. Díky tomu se dobře zapaluje oblouk, který má vysokou stabilitu i při relativně velké délce, dovoluje vysokou proudovou zatížitelnost a oblouk dosahující vysokých teplot. Jeho hustota je 1,784 kg.m⁻³, tedy 1,4 krát více než vzduch. Má i nízkou citlivost na proudění vzduchu. To jsou hodnoty, které mu napomáhají k efektivnosti při vytváření plynové ochrany, zejména v poloze PA. Nejvíce rozšířený je argon s označením 4.6, jehož čistota je 99,996 %. Některé materiály, hlavně ty s velkou afinitou ke kyslíku, vyžadují vyšší čistotu plynu 4.8 – 99,998 %, nebo 5.0 – 99,999 %.
- Helium – je jednoatomový plyn, bez barvy a zápachu. Vyrábí se frakční destilací ze zemního plynu. Je velice lehký s hustotou 0,178 kg.m⁻³, což snižuje efektivitu plynové ochrany a proto je nutné k vytvoření optimálních podmínek, zvýšit průtok plynu. Vůči argonu má podstatně vyšší tepelnou vodivost i ionizační potenciál (24,6 eV). Proto se oblouk špatně zapaluje a při větší délce je nestabilní. Díky vysoké tepelné vodivosti je přenos tepla v oblouku vysoký, a proto se používá pro svařování materiálů větších tlouštěk, velmi dobře tepelně vodivých (hliník, měď). Je i velmi vhodný pro mechanizované svařování.
- Směsi argonu a helia – u nich jsou spojeny výhodné vlastnosti obou plynů, tj. snadné zapalování a hoření díky argonu a vysoký tepelný výkon díky heliu. U TIG svařování se nejčastěji používají kombinace 70 % Ar + 30 % He, 50 % Ar + 50 % He a 30 % Ar + 70 % He. Čím více Helia směs obsahuje, tím více stoupá napětí a tepelný výkon v oblouku, což má pozitivní dopad na tvar a rozměry výsledného svaru. Zároveň klesá náchylnost k pórovitosti svarů. Používají se především u materiálů vysoce tepelně vodivých – měď a hliník. U ostatních kovů hlavně u větších tlouštěk při mechanizovaném způsobu svařování.
- Směsi argonu a vodíku – přidávkem vodíku (5 až 10 %) se díky jeho vysoké tepelné vodivosti zlepšuje energetická bilance oblouku a kvůli redukci oxidů i čistota povrchu svaru. Směs se používá výhradně pro svařování vysokolegovaných austenitických, austeniticko-feritických CrNi ocelí a niklu, včetně jeho slitin. Naopak u nízkolegovaných feritických a martenzitických ocelí je její použití nemožné z důvodu vzniku trhlin za studena (tzv. vodíková křehkost). Kvůli velké pórovitosti, ji také nelze použít na hliník a měď.
- Směsi argonu a dusíku – dusík je stejně jako vodík dvouatomový plyn, má vyšší tepelnou vodivost, která do lázně přenáší větší podíl tepla. Běžný obsah se pohybuje kolem 10%. Používá se u svařování mědi a jejich slitin. U ocelí je nevhodný, protože zhoršuje mechanické vlastnosti svarů, zejména zkřehnutí.

2.5 Přídavné materiály [8], [13], [16], [17], [22], [23], [30], [31]

Při svařování metodou TIG plní přídavné materiály několik funkcí:

- primární funkcí je doplnit objem svarového kovu a tím vytvořit svar požadované velikosti a tvaru
- zlepšit užité vlastnosti svaru, obohacením svarové lázně legujícími přísadami
- dodat do svarového kovu přísady, které příznivě ovlivňují metalurgické procesy a zajišťují desoxidaci a odplynění
- zlepšit smáčení svarových ploch, formování svaru a operativnost při svařování v polohách

Svarový spoj by měl mít stejné, nebo ještě lepší vlastnosti než základní materiál. Přídavný materiál se proto volí na základě chemického složení a mechanických vlastností základního materiálu a podle typu spoje a jeho požadovaných vlastností. Jeho chemické složení by mělo být stejné, nebo podobné jako má základní materiál. Pokud jsou svařované konstrukce dynamicky namáhané, volí se přídavný materiál s lepšími mechanickými vlastnostmi, než má materiál svařovaný. Na materiály citlivé na horké trhliny se použije takový, který tuto praskavost snižuje.

Přídavné materiály se rozdělují podle způsobu svařování na:

- Svářecí dráty ve formě tyče (obr. 18) – které se používají pro ruční svařování. Jsou kruhového průřezu s odpovídající tuhostí o průměrech 1 až 8 mm a délce 600 až 1000 mm. Mohou být s plným průřezem, nebo plněné legujícími, případně u navařování s karbidickými přísadami.
- Svářecí dráty navinuté na cívce (obr. 19) – určené pro mechanizované metody svařování. Jsou přesného kruhového průřezu rovnoměrně navinuté na cívkách, které jsou dle použití různých velikostí. Svářecí dráty jsou dodávány od průměru 0,6 až 2,4 mm, pro navařování až do 5 mm. U hliníku a mědi musí mít dráty střední stupeň tvrdosti po deformačním zpevnění, aby měli dostatečnou tuhost a podavač je mohl dopravit do místa svaru.



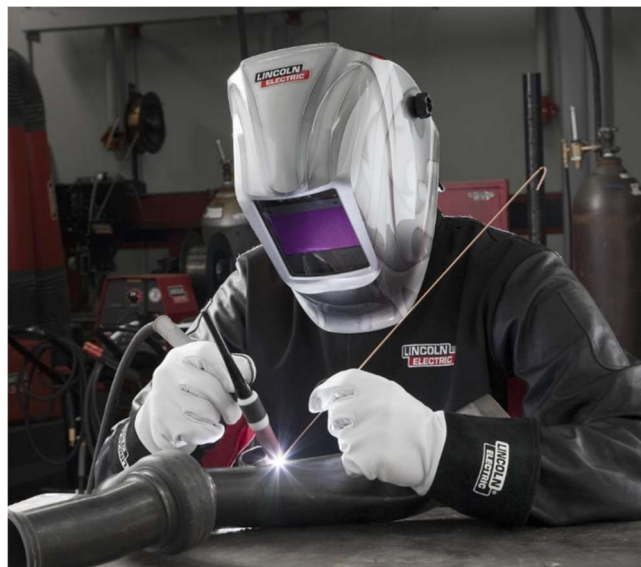
Obr. 18: Svářecí drát ve formě tyče [30]



Obr. 19: Svářecí drát navinutý na cívce [31]

2.6 Ruční svařování [8], [16], [17], [32]

Ruční způsob svařování metodou TIG je využíván jak u potrubních systémů, tak i u složitých prostorových konstrukcích, v kusové a malosériové výrobě tam, kde jsou požadavky na svary s velmi dobrými vlastnostmi, vysokou čistotou a výborným povrchem. Technika ručního svařování určuje polohu, pohyb hořáku a přídavného materiálu vůči svarové lázni. Ukázka ručního TIG svařování na obr. 20. Princip je podobný jako svařování plamenem, kde se materiál taví místo teplem od plamene, teplem oblouku. Je důležité, aby přídavný drát zůstal při svém pohybu v oblasti ochranné atmosféry a nedostal se do kontaktu se vzduchem, protože je zde nebezpečí oxidace ohřátého konce a vnesení oxidů do svarové lázně. Svařování může být provedeno i bez přídavného materiálu, kdy se základní materiál hořákem roztaví a dojde k jeho spojení promísením. Využívá se u malých tloušťek, většinou u lemového spoje roztavením lemu. Z metalurgického hlediska je tento způsob nejlepší, protože svar má shodné chemické složení jako základní materiál a nedochází k zavlečení jiných prvků do svarového kovu.



Obr. 20: Ruční svařování metodou TIG [32]

Ručně lze svařovat ve všech polohách a zpravidla směrem dopředu. Při tomto způsobu se hořák pohybuje vlevo (u praváků), přídavný drát se posunuje před hořákem a je postupně přidáván na okraj tavné lázně. Povrch svaru je formován obloukem. V základní poloze je hořák kolmo k příčné ose svaru, čímž bude zajištěno rovnoměrné natavení obou polovin svarových ploch. V podélné ose je hořák nakloněn cca 10° vzad a úhel sklonu přídavného drátu je 60 až 80° vpřed od kolmice v místě oblouku. Poloha hořáku i přídavného materiálu se mění dle polohy svařování, typu svaru, směru svařování, tvaru svařence, dostupnosti svaru atd. Ovlivňuje to i vysunutí elektrody z keramické plynové trysky, které má být přibližně dvojnásobek průměru elektrody pro tupé svary, u koutových se vysunutí zvětšuje o 3 až 5 mm. Velmi důležitá je i příprava svarových ploch, která se především řídí druhem a tloušťkou svařovaných materiálů.

2.7 Mechanizované, strojní svařování [8], [17], [33], [34], [35], [36], [37]

Tak jako téměř ve všech odvětvích, tak i u svařování je snaha výrobu mechanizovat a automatizovat. Hlavními cíli mechanizování procesu jsou:

- Zvýšení kvality a celkových vlastností svarového spoje tím, že se vyloučí vliv manuálního vedení hořáku, což eliminuje kolísání délky oblouku, nepřesnosti při vedení hořáku svarovým úkosem a nepravidelnost konstantní rychlosti svařování.
- Zlepšení produktivity procesu zvýšením rychlosti svařování s využitím vysokovýkonných variant (např. použitím více hořáků, nebo užití metody horkého drátu).

- Zajistit opakovatelnost svarových spojů a tím zvýšit produktivitu výroby při zachování kvality, na kterou nemají vliv takové faktory, jako je např. únava či stres svářeče.
- Snížit podíl lidské práce, mimo jiné i z nedostatku kvalifikovaných svářečů, kdy mechanizované svařování mohou ovládat i méně manuálně zruční operátoři.
- Snaha o co nejmenší vnesení tepla do svaru, optimalizací parametrů svařování při konstantní rychlosti, či použití pulzního proudu.

Strojní svařování metodou TIG, má významné zastoupení v oblasti potrubních systému a při výrobě trubkovnic do tepelných výměníků (obr. 21), tzv. orbitální svařování, které je charakterizováno tím, že se hořák otáčí kolem potrubí. Používá se především při výrobě součástí jaderných a tepelných elektráren, v chemickém, petrochemickém a potravinářském průmyslu. Tímto způsobem lze svařovat potrubí různých průměrů už od cca 8 mm. U orbitálního svařování trubek větších průměrů je svařovací hlava připevněna na vodící desce, nebo tvarované vodící dráze a koná kruhový pohyb v rozsahu cca 375° tak aby se začátek i konec svaru překrýval (obr. 22).

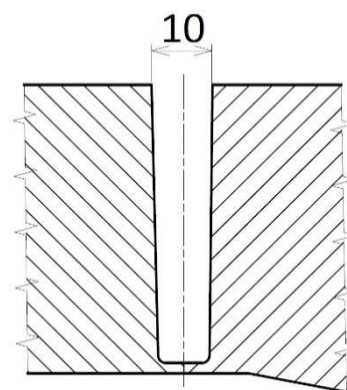


Obr. 21: Svařování trubkovnice [33]



Obr. 22: Svařování potrubí [34]

Součástí svařovací hlavy je nejenom samotný hořák, ale i podavač drátu a systém pohybového ústrojí, který zajišťuje kruhový pohyb hlavy a oscilační pohyb hořáku. Pro svařování obvodových svarů na potrubí velkých tloušťek je velmi výhodné z hlediska výkonu i kvality používat úzký úkos. Jedná se o úkos, jehož šířka se pohybuje okolo 9–10 mm a jeho svarové plochy jsou téměř paralelní (obr. 23). U tohoto typu svaru je objem svarového kovu relativně malý, a proto je čas svařování, ve srovnání s klasickým úkosem typu U nebo W, poměrně krátký. Do úzkého úkosu lze svařovat výhradně mechanizovaným způsobem a je zapotřebí speciálně vyvinutý úzký hořák, u kterého je důležité, aby byl veden středem úkosu a byly dodrženy všechny parametry svařování včetně přesného držení délky oblouku.

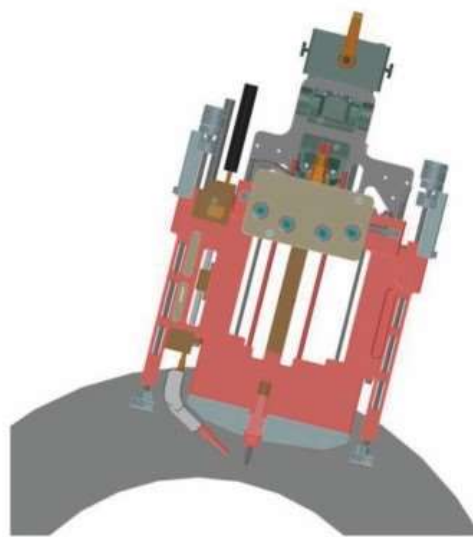


Obr. 23: Úzký úkos [35]

Svařovací hlava pro svařování do úzkého úkosu (obr. 24), a detail hořáku (obr. 25)



Obr. 24: Hlava do úzkého úkosu [35]



Obr. 25: Detail hořáku do úzkého úkosu [35]

Pro zvýšení objemu roztaveného přídavného materiálu je možné použití horkého drátu. Předehřev drátu se uskutečňuje pomocí odporového ohřevu, kdy přes volný konec drátu protéká proud z pomocného stejnosměrného zdroje. Je přiváděn do tavné lázně za oblouk s teplotou, která se blíží teplotě tavení. Výhody, které tato metoda nabízí jsou:

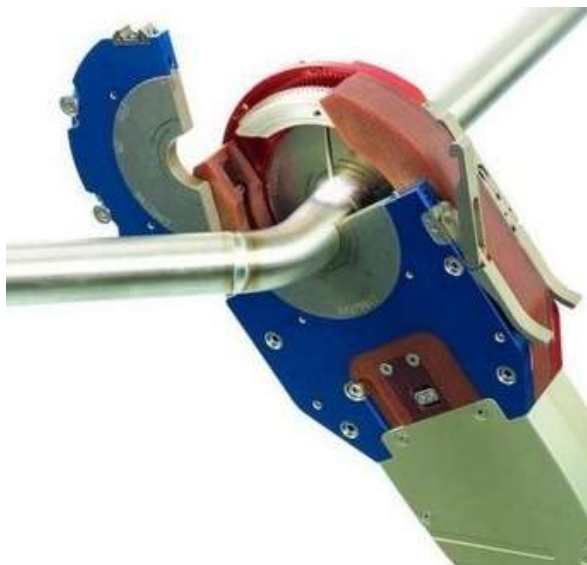
- zvýšení výkonu a to až čtyřnásobně
- menší riziko pórovitosti svaru
- nižší nebezpečí studených spojů
- dokonalý přenos legujících prvků do svaru, z důvodu toho, že tavící se drát neprochází obloukem a tím pádem nedochází k jejich propalu
- přiváděný přídavný materiál minimálně ochlazuje tavnou lázeň
- vyšší rychlost svařování a nižší tepelné ovlivnění základního materiálu

V dnešní době se metoda horkého drátu využívá i u ručního způsobu svařování, při použití svářecích poloautomatů, u kterých je drát přiváděn před hořák podavačem z cívky (obr. 26)



Obr. 26: Ruční hořák s podáváním horkého drátu [36]

Menší průměry potrubí s menší tloušťkou stěny se svařují pomocí uzavřené hlavy (obr. 27), která je navěšena na tzv. upínací kleště jejichž účelem je rychlé a pevné upnutí za vnější průměr trubky. Součástí kleští jsou i vyměnitelná pouzdra, která jsou pro každý průměr potrubí specifická. S uzavřenou hlavou se svařuje bez přídavného materiálu, takže příprava svarových ploch je velmi důležitá. Je třeba zajistit kontakt po celé ploše, bez úkosu a mezery. Princip vychází z toho, že kleště obepnou potrubí, čímž vytvoří uzavřenou komoru, do které se přivádí ochranný plyn, který chrání elektrodu i svarovou lázeň po celém obvodu potrubí současně, což má pozitivní vliv na kvalitu svaru. Nevýhodou je, že operátor během svařování nemůže kontrolovat svarovou lázeň a případně v průběhu korigovat parametry svařování.



Obr. 27: Uzavřená svařovací hlava [37]

U orbitálního svařování v kombinaci trubka – trubkovnice je svařovací hlava navěšena na středící a upínací trn, který je vsunutý do svařované trubky, nebo v případě malých průměrů do několika sousedících trubek. Svařování může probíhat buď bez přídavného materiálu, kdy se pouze nataví upravené trubky a trubkovnice, nebo s přídavným materiálem, který je do oblouku dodáván skrz bowden z podavače. Plynová ochrana je zajištěna přes keramickou hubici, nebo některá speciální zařízení mohou mít zvonovitý kryt, který překryje celé místo svařování, včetně jeho okolí. Tato varianta se používá například pro svařování titanových výměníků pro jaderné elektrárny. Menší hlavy se k dalšímu svaru přemísťují a upínají ručně, větší bývají zavěšeny na polohovadle, které je také obsluhováno operátorem. Nejmodernější systémy mohou pracovat ve zcela automatickém režimu, který zajišťuje jak přesun mezi svary, tak i obrobení ploch, či předehřev.

Mechanizované svařování, včetně orbitálního, je dynamicky se rozvíjející obor a skýtá mnoho předností. Přesto je třeba zmínit i nějaké nevýhody, jako jsou například:

- vysoká pořizovací cena zařízení
- obtížnější transport
- omezené možnosti svařování v některých polohách, nebo stísněných, či hůře přístupných prostorech
- může být limitující i velikostí svařovaného výrobku
- vysoké nároky na přesnost svarových ploch
- vysoké nároky na kruhovitost potrubí, ovalitu a chemické složení
- složitější nastavení parametrů při jakékoliv odchylce (program se musí odladit na několika zkušebních kusech)

3 EXPERIMENT

Tento experiment se zabývá porovnáním vlastností svarových spojů, při opravách na potrubí z uhlíkové oceli s využitím mechanizovaného orbitálního svařování metodou TIG. U mechanizovaného svařování je důležité, aby svarové plochy byly precizně připraveny, a proto se využívá převážně u opakujících se svarů v dílenských podmínkách. V tomto experimentu bylo snahou ověřit, jak bude ovlivněna výsledná kvalita svaru, když se vůči vytvořenému a odladěnému programu, změní některé vstupní parametry, tak jak je na montáži obvyklé.

Z pěti kusů vzorků byly první dva (č. 1 a č. 2) svařeny se shodného základního materiálu a s mechanicky obroběnými svarovými plochami, tedy se stejnými parametry jako potrubí, na kterém se vytvářel a testoval svařovací program. Vzorek č. 3 měl také shodné oba základní materiály, ale jedna polovina svarového úkosu byla připravena ručním způsobem úhlovou bruskou, druhá mechanicky (i tato situace může nastat). U vzorku č. 4 byly materiály dvou různých taveb, tudíž určitý rozdíl v chemickém složení. A nakonec vzorek č. 5 měl oba základní materiály shodné, ale jiné tavby, než na jakých byl program tvořen.

Všechny vzorky byly svařeny se stejnými parametry dle vytvořeného programu a se stejným přídavným materiálem. Shrnutí vstupních údajů, viz tabulka 5.

Tab. 5: Zkušební vzorky

	Označení vzorku	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5
První polovina spoje	Rozměr potrubí [mm]	Ø 89 x 6,3	Ø 89 x 6,3	Ø 89 x 6,3	Ø 89 x 6,3	Ø 89 x 5,6
	Materiál	L290NB (12022.1)	L290NB (12022.1)	L290NB (12022.1)	L290NB (12022.1)	L290NB (12022.1)
	Tavba	44534K	44534K	44534K	44534K	82046
	Způsob obrobění	mechanicky	mechanicky	mechanicky	mechanicky	mechanicky
Druhá polovina spoje	Rozměr potrubí [mm]	Ø 89 x 6,3	Ø 89 x 6,3	Ø 89 x 6,3	Ø 89 x 5,6	Ø 89 x 5,6
	Materiál	L290NB (12022.1)	L290NB (12022.1)	L290NB (12022.1)	L290NB (12022.1)	L290NB (12022.1)
	Tavba	44534K	44534K	44534K	82046	82046
	Způsob obrobění	mechanicky	mechanicky	ručně	mechanicky	mechanicky

3.1 Volba materiálů [5], [38], [39], [40]

Pro výrobu vzorků byl zvolen základní materiál z feriticko-perlitické oceli s označením L290NB (12022.1) dle normy ČSN EN 10208-2. Jedná se běžně používanou ocel na potrubních trasách v jaderné elektrárně. Svařitelnost tohoto materiálu je velmi dobrá. Použity byly dvě tavby – 44534K a 82046. Jejich chemické složení, včetně stanovených hodnot dle normy ČSN EN 10208–2 je uvedeno v tabulkách 6 a 7.

Tab. 6: Chemické složení oceli L 290 NB v hm. % (N – požadavky normy, A – hodnoty dle atestu) [5], [38]

Složení	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni
L 290 NB (N)	max. 0,17	max. 1,20	max. 0,40	max. 0,025	max. 0,020	max. 0,25	max. 0,30
tavba 44534K (A)	0,16	0,72	0,23	0,008	0,0065	0,054	0,025
Složení	Cr	Mo	V	Al	N	Nb	Ti
L 290 NB (N)	max. 0,30	max. 0,10	max. 0,05	0,015- 0,060	max. 0,012	max. 0,05	max. 0,04
tavba 44534K (A)	0,037	0,006	< 0,004			< 0,003	< 0,002

Tab. 7: Chemické složení oceli L 290 NB v hm. % (N – požadavky normy, A – hodnoty dle atestu) [5], [38]

Složení	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni
L 290 NB (N)	max. 0,17	max. 1,20	max. 0,40	max. 0,025	max. 0,020	max. 0,25	max. 0,30
tavba 82046 (A)	0,18	0,51	0,22	0,006	0,006	0,17	0,08
Složení	Cr	Mo	V	Al	N	Nb	Ti
L 290 NB (N)	max. 0,30	max. 0,10	max. 0,05	0,015- 0,060	max. 0,012	max. 0,05	max. 0,04
tavba 82046 (A)	0,06						

Mechanické a fyzikální vlastnosti obou taveb v porovnání s předepsanými vlastnostmi materiálu L 290 NB dle normy ČSN EN 10208–2 je uvedeno v tabulkách 8 a 9.

Tab. 8: Mechanické a fyzikální vlastnosti L 290 NB + 44534K [5], [38]

Vlastnosti	L 290 NB t-20 °C	44534K t-20 °C
Smluvní mez kluzu Rp0,2 [Mpa]	290 -440	336
Pevnost v tahu Rm [Mpa]	min. 415	483
Tažnost A5 [%]	min. 21	28,3
Kontrakce Z [%]	-	-
Vrubová houževnatost KCV [J.cm ⁻²]	-	-
Součinitel délkové teplotní roztažnosti α_t [K ⁻¹]	-	-

Tab. 9: Mechanické a fyzikální vlastnosti L 290 NB + 82046 [5], [38]

Vlastnosti	L 290 NB t-20 °C	82046 t-20 °C
Smluvní mez kluzu Rp0,2 [Mpa]	290 -440	354
Pevnost v tahu Rm [Mpa]	min. 415	479
Tažnost A5 [%]	min. 21	26,4
Kontrakce Z [%]	-	-
Vrubová houževnatost KCV [J.cm ⁻²]	-	-
Součinitel délkové teplotní roztažnosti α_t [K ⁻¹]	-	-

Jako přídatný materiál byl použit svařovací drát Böhler EMK 6 (ČSN EN ISO 14341) o průměru 1 mm a čísla tavby 632516. Atest přídatného materiálu bude součástí jako příloha č. 3. Chemické složení uvedeno v tabulce 10 a mechanické vlastnosti v tabulce 11.

Tab. 10: Chemické složení drátu Böhler EMK 6 v hm. % [40]

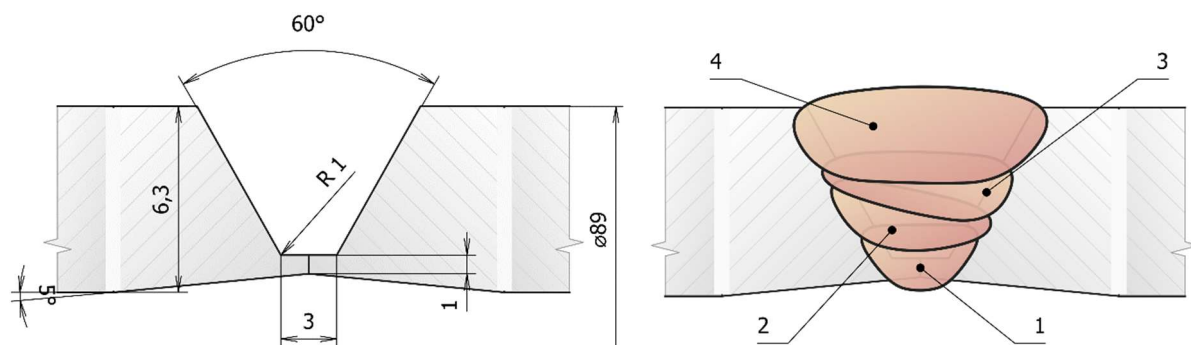
Složení	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni
EMK 6 (632516)	0,08	1,46	0,84	0,011	0,012	0,01	0,01
Složení	Cr	Mo	V	Al	Ti	Zr	N
EMK 6 (632516)	0,02	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	

Tab. 11: Mechanické vlastnosti drátu Böhler EMK 6 [40]

Vlastnosti	EMK 6 (632516)
Smluvní mez kluzu Rp0,2 [Mpa]	≥ 420
Pevnost v tahu Rm [Mpa]	500 - 640
Tažnost A5 [%]	≥ 20
Kontrakce Z [%]	-

3.2 Příprava a tvar svarových ploch

Byl zvolen svarový úkos ve tvaru U, lidově řečeno tulipán, který je specifický tím, že je sestaven kontaktně, bez mezery pro kořen. Detail úkosu a kladení svarových housenek je znázorněno na obrázku 28.

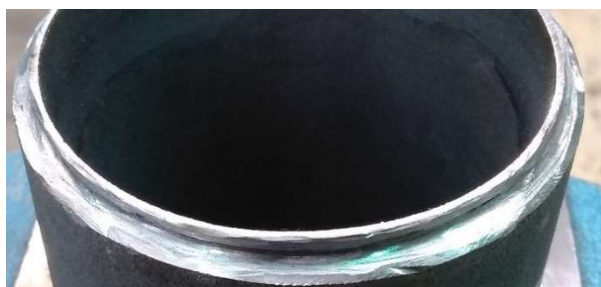


Obr. 28: Detail svarového úkosu a vrstvení housenek

Svarové plochy na vzorcích byly dle požadavků připraveny třískovým obráběním na mechanických dílnách v JE Dukovany. Pouze jeden vzorek, byl pro účely experimentu nabroušen ruční úhlovou bruskou. Z důvodu dvou rozdílných tloušťek potrubí, byl u všech vzorků zkalibrován vnitřní průměr pod úhlem 5° na jednotnou tloušťku 5,6 mm. Před sestavením spojů, byly přilehlé plochy očištěny od rzi a okují až do kovového lesku a následně odmaštěny speciálním čističem. Na obrázcích 29, 30 a 31 jsou zachyceny připravené vzorky s detaily úkosů.



Obr. 29: Připravené vzorky s obrobenými úkosy



Obr. 30: Ručně obrobený úkos



Obr. 31: Mechanicky obrobený úkos

3.3 Sestavení a svaření vzorků experimentu [21]

Vzorky byly sestaveny natupo bez mezery a stehovány ručně metodou 141, bez přídavného materiálu. Pouze u vzorku č. 3, byl použit přídavný materiál z důvodu drobných nepřesností v dosedací ploše, které vznikly při ruční přípravě svarové plochy. Délka jednotlivých stehů byla cca 10-15 mm, v počtu 4 až 6 ks po obvodu trubky. Ukázka sestavení u mechanicky obroběných ploch na obr. 32 a s ručně připravenou plochou, včetně nepřesností, na obr. 33.



Obr. 32: Sestavený vzorek s mechanicky obroběnými svarovými plochami



Obr. 33: Sestavený vzorek v kombinaci s ručně obroběnou svarovou plochou

Svařování probíhalo na dílnách JE Dukovany. Vzorky byly svařeny orbitálním, mechanizovaným způsobem, metodou 141, s použitím stejnosměrného pulzního proudu. Použit byl svařovací zdroj POLYSOUDE P6 CW (obr. 34), hlava MU IV 128 (na potrubí $\text{\O} 50$ až $\text{\O} 128$ mm) a nezávislý přenosný podavač přídavného drátu POLYFIL-3 CW. Svařování experimentu bylo navrženo na čtyři vrstvy. První kořenovou, následně dvě vyplňovací a jednu krycí. Byl vytvořen svařovací program, kterým bylo svařeno všech pět vzorků. Každá vrstva má nastaveny parametry svařování individuálně. Základním principem programu je, rozdělit si obvod potrubí do několika sektorů a k nim jednotlivě přiřadit veškeré potřebné údaje. V tabulce 12 jsou uvedeny parametry pro kořenovou vrstvu, v tab. 13 pro první vyplňovací, v tab. 14 pro druhou vyplňovací a v tab. 15 pro poslední krycí vrstvu.



Obr. 34: Zdroj POLYSOUDE P6 CW

Tab. 12: Parametry pro svařování kořenové vrstvy

č.	Sekce [°]	∅ _{PM} [mm]	I _p [A]	t _p [ms]	I _z [A]	t _z [ms]	U [V]	v _{OSH} [mm/min]	v _{PPM} [mm/min]	r [mm]
S01	0-4	1	130	100	80	300	7,8	50	300	-
S02	4-5	1	135	100	80	300	7,8	50	300	-
S03	5-30	1	135	100	80	300	7,8	50	300	-
S04	30-130	1	135	100	80	300	7,6	50	300	-
S05	130-230	1	130	100	75	300	7,6	50	300	-
S06	230-300	1	130	100	75	300	7,6	50	300	-
S07	300-356	1	125	100	75	300	7,6	50	300	-
S08	356-0	1	130	100	80	300	7,6	50	300	-

kde: v_{OSH} [mm/min] ... rychlost otáčení svařovací hlavy

v_{PPM} [mm/min] ... rychlost podávání přídavného materiálu

r [mm]...rozkyv svařovacího hořáku

Tab. 13: Parametry pro svařování první vyplňovací vrstvy

č.	Sekce [°]	∅ _{PM} [mm]	I _p [A]	t _p [ms]	I _z [A]	t _z [ms]	U [V]	v _{OSH} [mm/min]	v _{PPM} [mm/min]	r [mm]
S01	0-4	1	170	100	105	300	8,3	50	500	-
S02	4-5	1	155	100	95	300	8,3	50	500	-
S03	5-30	1	145	100	85	300	8,3	50	500	-
S04	30-130	1	145	100	85	300	8,3	50	500	-
S05	130-230	1	140	100	85	300	7,6	50	500	-
S06	230-300	1	135	100	80	300	7,6	50	500	-
S07	300-356	1	125	100	80	300	7,6	50	500	-
S08	356-0	1	140	100	80	300	7,6	50	500	-

Tab. 14: Parametry pro svařování druhé vyplňovací vrstvy

č.	Sekce [°]	∅ _{PM} [mm]	I _p [A]	t _p [ms]	I _z [A]	t _z [ms]	U [V]	v _{OSH} [mm/min]	v _{PPM} [mm/min]	r [mm]
S01	0-4	1	170	100	105	300	8,2	50	400	-
S02	4-5	1	155	100	90	300	8,2	50	400	-
S03	5-30	1	155	100	90	300	8,2	50	400	-
S04	30-130	1	155	100	90	300	8,2	50	300	-
S05	130-230	1	150	100	85	300	8,2	50	300	-
S06	230-300	1	150	100	85	300	8,2	50	350	-
S07	300-356	1	150	100	85	300	8,2	50	350	-
S08	356-0	1	155	100	100	300	8,2	50	350	-

Tab. 15: Parametry pro svařování krycí vrstvy

č.	Sekce [°]	∅ PM [mm]	I _p [A]	t _p [ms]	I _z [A]	t _z [ms]	U [V]	v _{OSH} [mm/min]	v _{PPM} [mm/min]	r [mm]
S01	0-4	1	120	100	60	300	8,2	50	200	5
S02	4-5	1	120	100	60	300	8,2	50	200	5
S03	5-30	1	120	100	60	300	8,2	50	200	5
S04	30-130	1	120	100	60	300	8,2	50	200	5
S05	130-230	1	120	100	60	300	8,2	50	200	5
S06	230-300	1	110	100	58	300	8,2	50	200	5
S07	300-356	1	110	100	58	300	8,2	50	200	5
S08	356-0	1	125	100	65	300	8,3	50	200	5

Množství vneseného tepla do svarového spoje (u kořenové vrstvy), neboli tepelný příkon Q, se určuje výpočtem. Tento údaj je důležitý i pro zjištění nutnosti předehřevu. Podle normy ČSN EN 1011-2 se tepelný příkon pro obloukové svařování feritických ocelí vypočítá ze vztahu:

$$Q = \frac{\eta \cdot U \cdot I}{v_s \cdot 10^3} \quad [\text{kJ} \cdot \text{mm}^{-1}] \quad (4)$$

kde: Q – tepelný příkon [kJ · mm⁻¹]
 η – koeficient tepelné účinnosti [-] pro TIG: η = 0,65
 U – svařovací napětí.....[V]
 I – svařovací proud.....[A]
 v_s – rychlost svařování[mm · s⁻¹]

$$I_{ef} = \frac{I_p + (I_z \cdot 3)}{4} \quad [\text{A}] \quad (5)$$

$$I_{ef} = \frac{131 + (78 \cdot 3)}{4} = 91,25 \cong 91 \text{ A}$$

Výpočet tepelného příkonu po dosazení do vzorce:

$$Q = \frac{0,65 \cdot 7,7 \cdot 91}{0,83 \cdot 10^3} \cong 0,55 \text{ kJ} \cdot \text{mm}^{-1}$$

Vypočtené hodnoty kombinované tloušťky a uhlíkového ekvivalentu (0,294), byly dosazeny do tabulky v normě ČSN EN 1011-2 a zjištěno, že předehřev u tohoto svarového spoje není nutný.

Svařovací hlava MU IV 128 se osazuje na potrubí velice jednoduše, pomocí pákového upínacího systému, takže manipulace s ní velmi rychlá a pohodlná. Přesné umístění hořáku do středu svarového úkosu se koriguje servomotorem v rozsahu oscilace, tudíž to není limitní faktor při upínání hlavy. Jako ochranný plyn byl použit Argon 4.6 (stupeň čistoty 99,996 %) a to i na ochranu kořene. Tento plyn je schválen pro použití na JE Dukovany, ale ochrana kořene u uhlíkových materiálů, není bezpodmínečně nutná.

Proces svařování byl po celou dobu kontrolován operátorem a ten má možnost i v průběhu cyklu, pomocí dálkového ovládacího panelu, určitým způsobem upravovat svařovací parametry, pokud to je nutné. Obrázek 35 zachycuje průběh svařování a obrázek 36 druhou vyplňovací vrstvu.

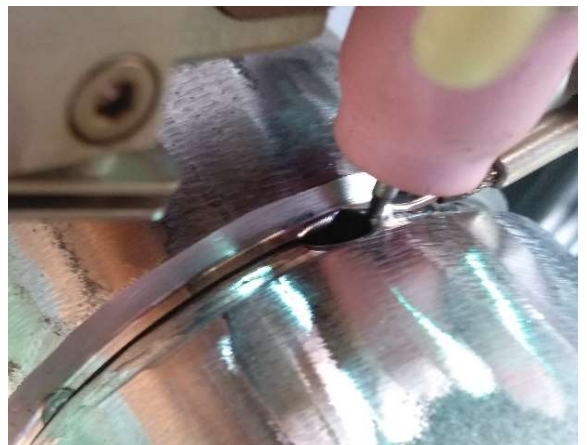


Obr. 35: Průběh svařování vzorku



Obr. 36: Druhá vyplňovací vrstva

U třetího vzorku došlo hned po zahájení svařování k tomu, že natavený základní materiál propadl dovnitř trubky (Obr. 37). Příčinou byla nepatrná mezera, která vznikla nepřesností při ruční přípravě svarového úkosu. Tento defekt byl opraven svářečem ručně. Následně se pro začátek svařování zvolilo místo, kde byly plochy lépe slícované a situace se již neopakovala. Tyto nepřesnosti vykazovaly problém hlavně při zahájení svařování, v průběhu již nikoli. Mohli jsme se tedy přesvědčit, že kvalitně připravené svarové plochy jsou pro tuto metodu velice důležité. U ostatních vzorků, již nenastaly žádné mimořádné situace.



Obr. 37: Protavený základní materiál

3.4 Nedestruktivní kontroly

Nedestruktivní metody pro kontrolu jakosti svarových spojů se rozdělují podle možnosti identifikace vady, buď na povrchu svaru, nebo uvnitř. Pro zjištění povrchových vad byla použita metoda vizuální a penetrační, ke zjištění vnitřních vad se využila metoda prozářením. Na JE se nedestruktivní kontroly předepisují dle schválených postupů a legislativ, které se odvíjejí od důležitosti zařízení, na kterých jsou opravy prováděny.

Všechny NDT kontroly probíhaly v areálu JE Dukovany. U VT a PT byla teplota prostředí 22,5 °C a intenzita osvětlení při kontrole 1000 luxů.

3.4.1 Vizuální kontrola – VT [41], [42]

Kontrola byla provedena podle všeobecných zásad uvedených v normě ČSN EN ISO 17637. Vyhodnocení dle normy ČSN EN ISO 5817, stupeň kvality C. Rozsah kontroly 100 %, včetně 20 mm TOO. Cílem je odhalení povrchových vad, jako jsou např. zápaly, nebo vruby. U všech pěti vzorků kontrola nezjistila žádné vady a byla vyhovující.

3.4.2 Kapilární zkouška – PT [43], [44]

Touto metodou se zjišťují povrchové vady, které musí být na povrchu otevřené, aby do nich mohla proniknout penetrační tekutina. Využívá se kapilárních jevů, jako je vztlínavost a smáčivost. Zkouška byla provedena metodou barevné indikace dle normy ČSN EN ISO 3452-1, kde se vady projeví vznikem kontrastních indikací, které se následně vyhodnocují. Pro vyhodnocení byla použita norma ČSN EN ISO 23277. Požadavek byl 100 % + 20 mm TOO.

Svary a TOO se nejprve speciálním čističem odmastí a zbaví veškerých nečistot. Následuje nanášení penetrační kapaliny (obr. 38). Cca 20 – 25 minut se nechá penetrant působit, aby měl dostatek času vyplnit všechny eventuální nečelivosti. Po uplynutí této doby se penetrant z povrchu odstraní za pomoci speciálního čističe, ale musí se dbát na to, aby se nevymyl i z případných vad.



Obr. 38: Nanesení penetrantu

Na suchý a očištěný povrch se aplikuje vývojka (obr. 39).



Obr. 39: Aplikace vývojky

Vývojka slouží jako kontrastní pozadí pro barevnou indikaci penetrantu, který vzlíná z povrchových nečistostí. Vyhodnocení indikací se provádí obvykle dvakrát. Poprvé hned po nanesení vývojky, kdy se indikují velké vady, které by byly po delší době hůře zřetelné a následně po cca 15 až 20 minutách, kdy se zjišťují menší nečistosti, které potřebují delší čas vzlínání, z důvodu malého obsahu penetrantu. V našem případě se žádné indikace neobjevily a všechny vzorky byly vyhovující.

3.4.3 Zkouška prozářením – RT [42], [45], [46]

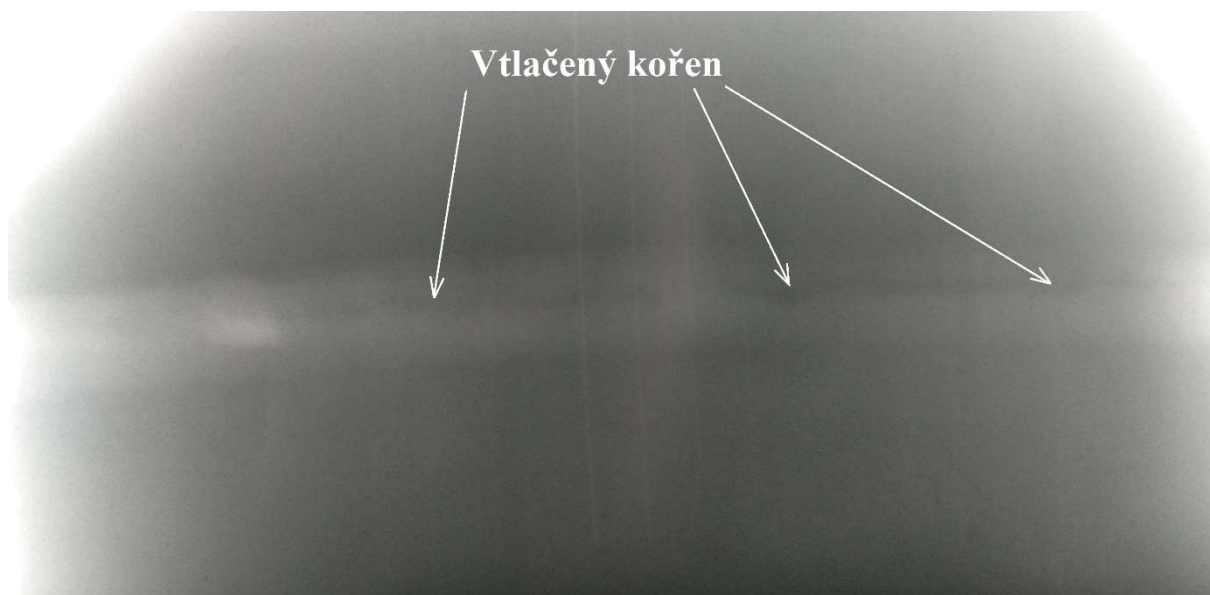
Hlavním cílem zkoušky prozářením je zjišťování vnitřních vad, které metodou VT a PT nelze odhalit. Princip spočívá v pohlcování záření v kontrolovaném materiálu a následné zachycení prošlého záření na film. Intenzita se zmenšuje při průchodu materiálem, úměrně jeho tloušťce i absorpčním vlastnostem.

Zkouška byla provedena v souladu s normou ČSN EN ISO 17636-1. Požadavek byl 100 % včetně 20 mm TOO. Vyhodnocení a kritéria přípustnosti dle normy ČSN EN ISO 10675-1. Vzdálenost zdroj – film 150 mm, parametry záření Se 75, doba expozice 1 min. 10 sec., rozměr filmu 10 x 16 cm, počet snímků na jednom vzorku 6. Po zkoušce je na vzorku vyznačen začátek snímkování a jednotlivé sektory po obvodu (obr. 40). Při lokální opravě, to mimo jiné, pomůže i k lepší identifikaci místa, které se má opravovat.



Obr. 40: Vyznačení směru snímkování

U všech pěti vzorků byla lokalizována vada, která byla vyhodnocena jako hubený kořen (obr. 41). Všechny vystavené protokoly (součástí, jako příloha č. 4–8) jsou s verdiktem - nevyhovuje. Tento druh vady se u RT snímků vyhodnocuje velice obtížně, protože se nedá přesně určit do jaké hloubky může být kořen vtlačen, nebo propadlý. Po opakované vizuální kontrole nepřímou metodou se tyto místa ověřovaly. Co se týká hloubky vtlačení, tak splňovaly kritéria dle normy ČSN EN ISO 5817, stupeň jakosti C. Podmínkou je, aby to byly krátké vady, tzn. na délce 100 mm svaru, max. 25 mm v součtu. Tato podmínka splněna nebyla. Vyhodnocení všech snímků je uvedeno v tabulce 16.



Obr. 41: RT snímek vyhodnocený jako hubený kořen

Tab. 16: Výsledky RT snímků

Vzorek č.	Expozice [mm] 0-50	Expozice [mm] 50-100	Expozice [mm] 100-150	Expozice [mm] 150-200	Expozice [mm] 200-250	Expozice [mm] 250-0
1	515 [40]	515 [10]	515 [20]	FD [0,2]	515 [5]	515 [15]
2	515 [50]	515 [40]	-	515 [40]	515 [50]	515 [0]
3	FD [0,4]	5041 [5]	515 [50]	515 [40]	-	.
4	515 [20]	-	FD [0,2]	515 [40]	515 [10]	515 [40]
5	515 [50]	515 [50]	515 [40]	-	515 [10]	515 [40]

kde: 515... hubený kořen

5041...místní nadměrný průvar (krápník)

FD...pór, nebo vměstek

[-]...délka vady v mm

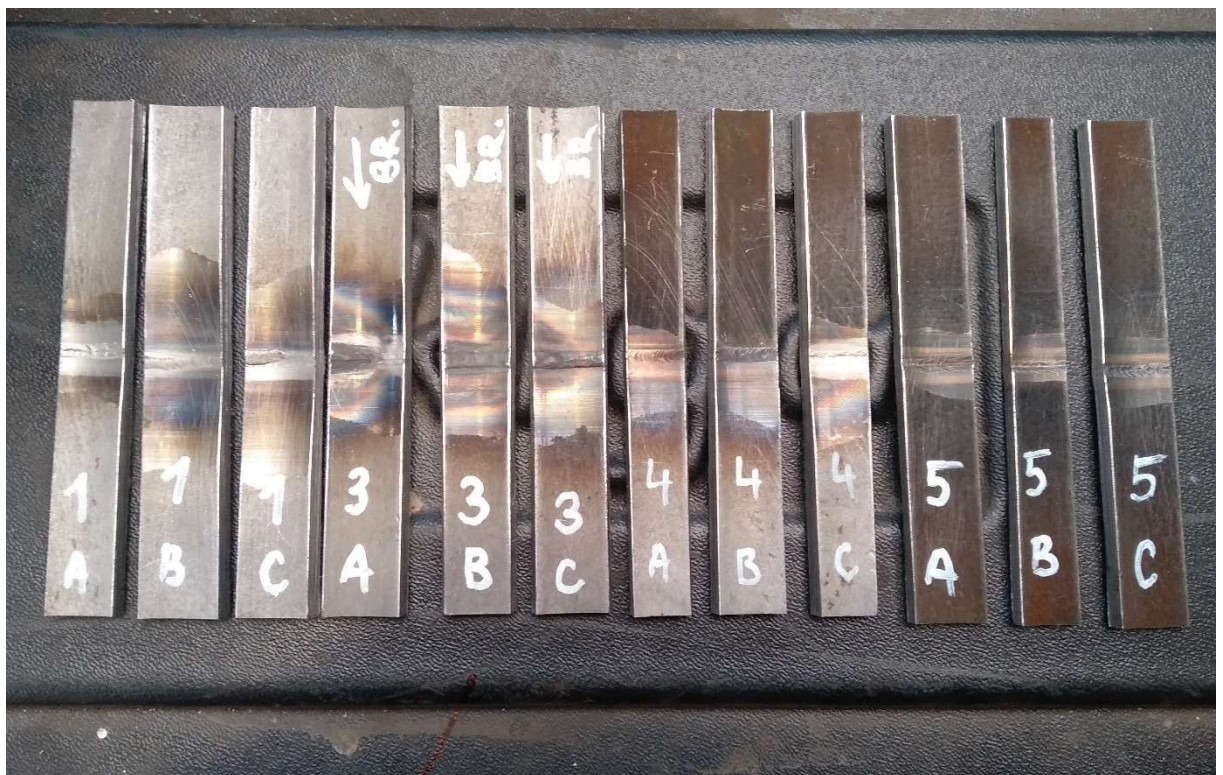
3.5 Destruktivní kontroly

Destruktivními kontrolami se většinou zjišťují mechanické vlastnosti svarového spoje, nebo se ověřují makroskopické a mikroskopické charakteristiky. Na rozdíl od nedestruktivních kontrol, nelze tyto provádět k ověření vlastností na výrobcích, které se budou nadále používat, protože dochází k jejich zničení.

Příprava vzorků pro destruktivní zkoušení, probíhala dělením na strojní pásové pile (obr. 42). Tento způsob byl zvolen z důvodu co nejmenšího tepelného ovlivnění materiálu, aby nedošlo ke změnám jeho mechanických a fyzikálních vlastností. K dělení byly použity vzorky č. 1, 3, 4 a 5, kde se pro tahovou zkoušku připravily tři kusy od každého, s označením A, B, C (obr. 43). Ze vzorku č. 2 byl vyříznut prstencový svařek o šířce cca 15 mm, k detailnějšímu prozkoumání kořenové vrstvy z vnitřní strany trubky.



Obr. 42: Dělení vzorků

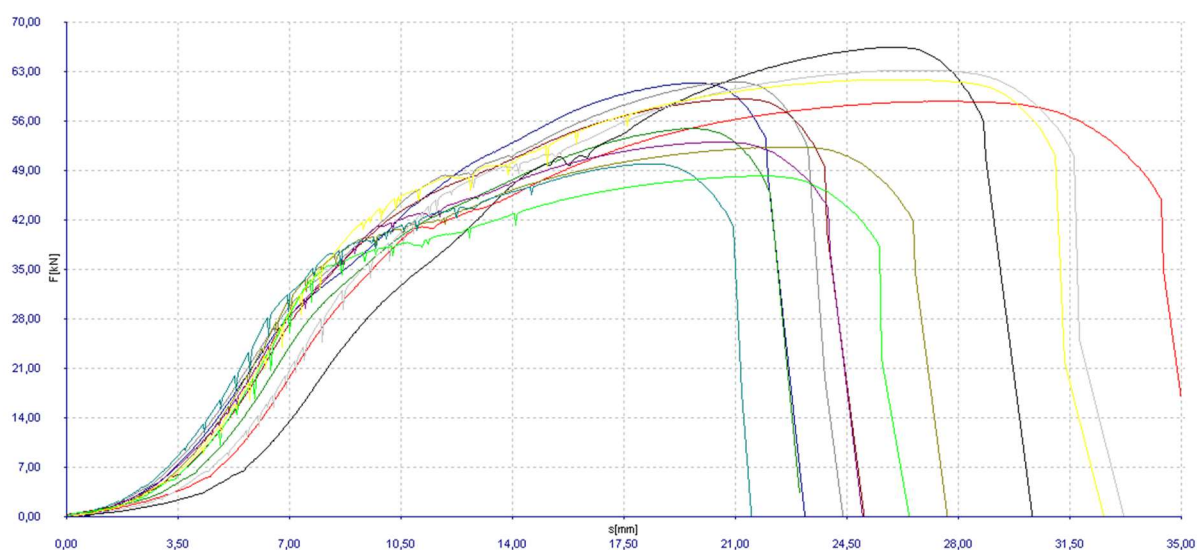


Obr. 43: Vzorky pro tahovou zkoušku

3.5.1 Zkouška tahem [47]

Zkouška tahem je prováděna na trhacím stroji, který zjišťuje a zaznamenává prodloužení zkušební tyče, vůči působící síle. Zkušební tyče se obvykle získávají obrobením z výrobku či odlitku. Průřez může být kruhový, čtvercový, obdélníkový, ve zvláštních případech i jiného tvaru. Některé výrobky konstantního průřezu se mohou zkoušet i bez obrobení.

Zkouška i vyhodnocení pro metodu zkoušení za pokojové teploty se provádí dle normy ČSN EN ISO 6892-1. Zkoušené tyče měly obdélníkový tvar i průřez. Tahová zkouška byla provedena na hydraulickém zkušebním stroji ZD40/400 kN. Technické parametry stroje jsou uvedeny v příloze č. 9. Zjištěné hodnoty z provedených zkoušek jsou zaznamenány v následujícím grafu (obr. 44) a naměřené hodnoty v tabulce 17.



Obr. 44: Zaznamenaný průběh tahových zkoušek

Tab. 17: Naměřené hodnoty z tahové zkoušky

Vzorek	S0 [mm ²]	Fm [N]	Rp2 [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	T [s]
1A	124	58789	278	474	23,8	50,2
1B	153	61366	207	400	12,5	41,2
1C	136	54914	239	403	11,3	41,3
3A	153	66463	216	433	15,6	44,4
3B	138	59146	253	428	13,8	44,2
3C	144	61544	234	427	12,5	43,7
4A	116	52347	299	453	18,8	47,1
4B	127	53014	265	417	13,8	43,3
4C	119	49958	285	421	12,5	43,3
5A	142	63200	239	447	20,1	46,9
5B	112	48227	316	429	16,3	44,8
5C	138	61836	290	449	21,3	47,2

U všech dvanácti zkoušených vzorků došlo k přetržení v základním materiálu, mimo svarový spoj (obr. 45). Z toho by se dalo usoudit, že při svařování došlo k dokonalému promísení přídatného materiálu se základním. Hodnoty meze pevnosti R_m se blížily hodnotám meze pevnosti základního materiálu, které udávají přiložené atesty.



Obr. 45: Vzorky po tahové zkoušce

3.5.2 Makroskopická a mikroskopická kontrola [48]

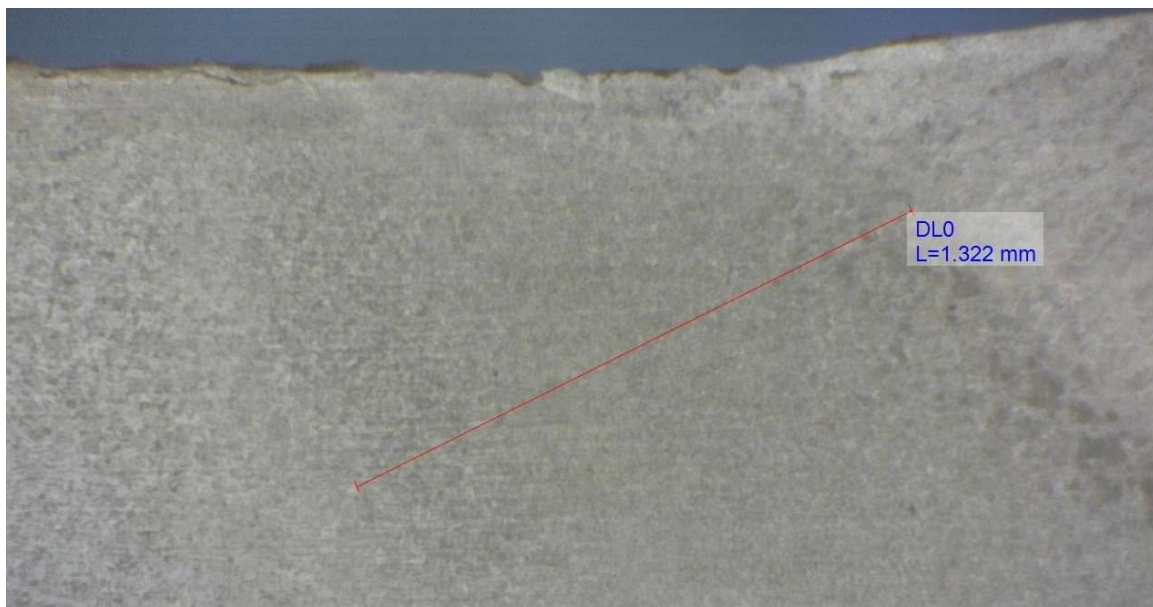
Zkoušku lze provádět v naleptaném, nebo neleptaném stavu a umožňuje posoudit kvalitu svaru, jeho tvar, kladení svarových housenek, promísení svarového kovu se základním materiálem, tvar a rozsah TOO a dokáže odhalit i případné vady ve svaru a jeho okolí. Kontrola makrostruktury se provádí pouhým okem, nebo při malém optickém zvětšení max. do 50násobku. Při větším zvětšení už hovoříme o kontrole mikroskopické.

Zkouška a příprava na zkoušku, včetně dělení, broušení a naleptání proběhla v souladu s normou ČSN EN ISO 17639. Na obrázku 46 můžeme vidět makrostrukturu na vzorku č. 1 po naleptání 3 % roztokem Nitalu.

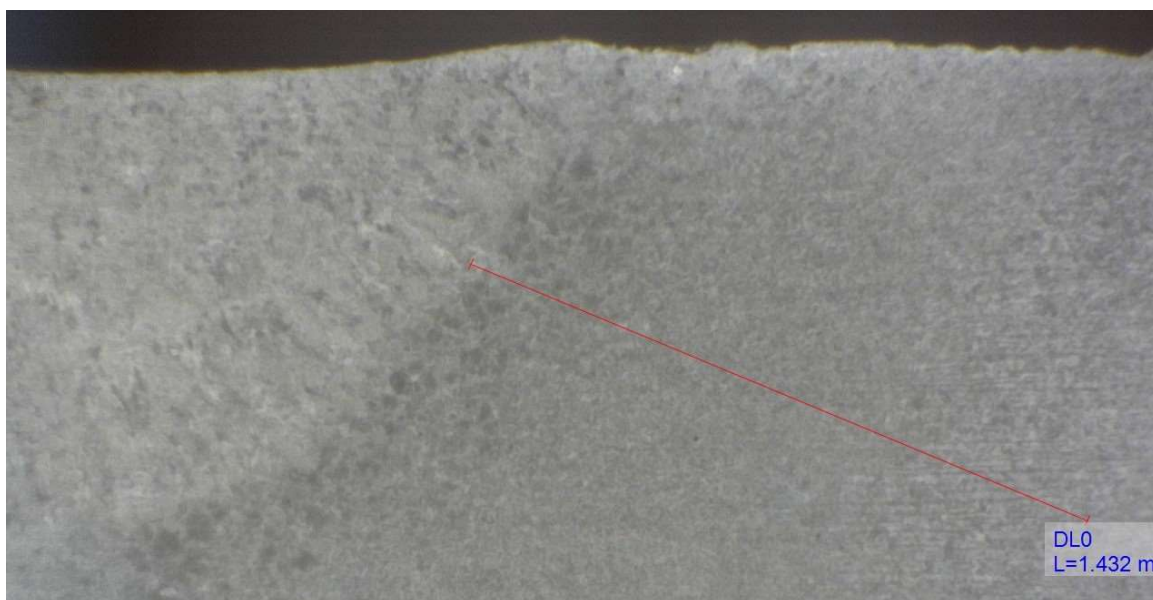


Obr. 46: Makrostruktura na vzorku č. 1

Připravený vzorek podstoupil i kontrolu pod stereomikroskopem. Při kontrole nebyly odhaleny žádné vady či anomálie typu trhlin, pórů či vměstků. Promísení svarového kovu mezi jednotlivými housenkami, ale i se základním materiálem je velice dobré, bez zjevných nedostatků. Velikost TOO byla změřena při 157násobném zvětšení a její hodnoty lze odečíst z obrázků 47 až 48.



Obr. 47: Velikost TOO vlevo od svaru



Obr. 48: Velikost TOO vpravo od svaru

4 VYHODNOCENÍ EXPERIMENTU

Hlavním předmětem tohoto experimentálního programu byla analýza vlivu rozdílných vstupních parametrů na průběh svařování i kvalitu výsledného svaru. Mechanizované orbitální svařování bylo zvoleno na základě možnosti aplikace této metody při opravách stávajících i montáži nových potrubních tras na jaderných elektrárnách.

Všech pět připravených vzorků z potrubí průměru 89 mm a tloušťky stěny 6,3 mm (respektive 5,6 mm), byly svařeny automaticky na čtyři vrstvy. Z důvodu vysoké citlivosti automatu na tvar a geometrii svarových ploch i složení základního materiálu, bylo pro prvotní nastavení svařovacích parametrů, použito daleko více zkušebních kusů, než je zmíněno v této práci. Jako výchozí, určené pro porovnání s ostatními, jsou vzorky č. 1 a č. 2. U vzorku č. 3, kde byly svarové plochy připravené rozdílným způsobem, se toto projevilo, již po zahájení svařování, a to propadem nataveného základního materiálu. Příčinou bylo nedokonalé slícování dosedacích ploch, s mezerou v řádech desetin milimetru ($0,2 \div 0,3$ mm). Je patrné, že automat narozdíl od svářeče nedokáže tuto situaci vyhodnotit a přizpůsobit se jí a to je jeden z důvodů, proč je příprava svarových ploch u orbitálního svařování, tak důležitá. Zbylé dva vzorky č. 4 a č. 5 se během svařování, již s žádnými komplikacemi nepotýkaly.

Všechny vzorky byly podrobeny sérii nedestruktivních kontrol (VT, PT, RT), za účelem zjištění případných vad ve svarech a TOO. Metodami VT a PT, které se zaměřují na povrchové necelistvosti, nebyly zjištěny žádné vady. Metoda RT, která zjišťuje hlavně vnitřní defekty, odhalila na všech pěti vzorcích problémy s kořenovou vrstvou. Vady byly vyhodnoceny jako hubený kořen a objevovaly se na několika místech po celém obvodu potrubí. Hloubka samotné vady nebyla problémem, ale její délka v součtu, už nesplňovala zadaná kritéria. Příčinou tohoto problému, byla první vyplňovací vrstva, která se „propsala“ do kořenové a vtláčila kořen dovnitř. Domnívám se, že tento problém by se dal eliminovat, ale bylo by to předmětem dalšího testování. Například úpravou svařovacích parametrů, jak u kořene, tak i u výplně, jiným tvarem svarového úkosu, nebo třeba svařovat výplň s rozkyvem.

Pro ověření mechanických vlastností podstoupily nadělené vzorky (kromě č. 2) tahovou zkoušku. Výsledky byly velice uspokojivé. U všech zkoušených kusů došlo k přetržení v základním materiálu, mimo svar a hodnoty meze pevnosti R_m se blížily hodnotám R_m základního materiálu, dle materiálových listů. Na jednom zkušebním vzorku byla po vybroušení a naleptání povrchu, provedena kontrola makrostruktury, která také neodhalila žádné nepřijatelné vady.

Zkouška prozářením sice objevila u všech vzorků nepřijatelné vady, ale jednalo se spíše o systémovou chybu, která by se dala v budoucnu zřejmě odstranit. Žádné jiné vady typu póry, vměstky, zápaly, neprůvary, nebo studené spoje nebyly zjištěny, a to je předpoklad pro možnost dalšího testování. Použití základního materiálu s jinou tavbou, než na které byl tvořen program, nemělo také na výslednou kvalitu svaru zásadní vliv. Po odladění parametrů prvních dvou vrstev, by se mechanizované orbitální svařování metodou TIG, dalo doporučit i pro svařování v montážních podmínkách.

5 ZÁVĚRY

Práce se zabývala ověřením možnosti využití mechanizovaného orbitálního svařování metodou TIG v montážních podmínkách v prostředí jaderné elektrárny. Úvodní část byla věnována svařitelnosti uhlíkových ocelí, hlavně vlivu jednotlivých prvků na svařitelnost a stanovení a využití předehřevu. Dále se práce soustředila na technologii svařování metodou TIG, jejího podrobného popsání, včetně přídavných materiálů a ochranných plynů, jak u ručního, tak i mechanizovaného způsobu. V JE Dukovany se orbitální automat využívá převážně na dílenské mezikusy, protože požadavky na materiál a přesné obrobení svarových ploch bez ovality, je u tohoto způsobu svařování nutností. Vycházelo se ze zkušeností s heterogenními svary, kde použití zákl. materiálu jiné tavby, či nepřesnosti svarového úkosu, vždy vyžadovaly úpravu svařovacího programu.

V experimentální části, kde bylo snahou simulovat montážní podmínky při svařování homogenních svarů z materiálu L290NB, bylo použito pět zkušebních vzorků z potrubí o \varnothing 89 x 6,3 mm. Vzorky č. 1 a 2 byly shodné s těmi, na kterých se vytvářel a ladil program a měli sloužit jako referenční pro porovnání s ostatními, u kterých se měnily vstupní parametry. U vzorku č. 3 to byla polovina spoje (svarového úkosu) připravena ruční úhlovou bruskou, vzorek č. 4 měl obě poloviny s rozdílnou tavbou a u vzorku č.5 se tavba shodovala, ale byla jiná, než u referenčních kusů.

Po svaření byly všechny vzorky podrobeny nedestruktivním kontrolám VT, PT, RT a některé i kontrolám destruktivním, jako je tahová zkouška a metalografická kontrola makrostruktury. U všech pěti vzorků odhalila kontrola prozářením vady v kořenové vrstvě, které byly vyhodnoceny jako hubený kořen. Vznikly při svařování druhé vrstvy (první vyplňovací), která na několika místech dokázala „vtáhnout“ již hotový kořen. Ostatní NDT a DT kontroly byly ve všech směrech vyhovující.

I přes tyto skutečnosti bych orbitální svařování metodou TIG doporučil pro montážní svary, protože se domnívám, že odstranění tohoto problému nebude příliš složité a výhody, které tato metoda přinese, budou nesporné.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [49]

1. ČSN EN ISO 9606-1: *Zkoušky svářečů – Tavné svařování – Část 1: Oceli*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
2. Best TIG Welder Reviews. In: *WELDINGEXPERT* [online]. USA, 2019 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.weldingexpert.com/best-tig-welder-reviews/>
3. Švýcaři se zřejmě ... In: *Forum24* [online]. Bern, 2017 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://www.forum24.cz/udalosti/svycari-se-zrejme-vyslovili-proti-novym-jadernym-elektrarnam/>
4. HLAVATÝ, Ivo. *SVAROVÁNÍ KOMPONENT JADERNÝCH ELEKTRÁREN I*. [online]. 2017, , 8 [cit. 2020-03-18]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/35822117-Svarovani-komponent-jadernych-elektraren-i.html>
5. ČSN EN 10208-2: *Ocelové trubky pro potrubí na hořlavá media – Technické dodací podmínky – Část 2: Trubky s požadavky třídy B*. Praha: Český normalizační institut, 1999.
6. *Katalog přídatných materiálů ESAB*. 5. vyd. Vamberk, 2012.
7. *SVAROX TECHNOLOGY: přehled způsobů svařování a základní dělení metod dle EN ISO 4063* [online]. 4.3.2016 [cit. 2020-02-02]. Dostupné z: <http://svarox.cz/prehled-zpusobu-svarovani-a-zakladni-deleni-metod-dle-en-iso-4063/>
8. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
9. *Materiály a jejich chování při svařování: učební texty pro mezinárodní/evropské svářečské inženýry a technologů (I/EWE, I/EWT)*. Ostrava: Česká svářečská společnost ANB, 2016.
10. KOUKAL, Jaroslav, Drahomír SCHWARZ a Jiří HAJDÍK. *Materiály a jejich svařitelnost*. Ostrava: Český svářečský ústav, 2009. ISBN 978-80-248-2025-5.
11. HRIVŇÁK, Ivan. *Teória zvariteľnosti kovov a zliatin*. Bratislava: Veda, 1989.
12. Třídy ocelí dle ČSN: Dělení ocelí do tříd dle ČSN. *Ripra s.r.o.* [online]. [cit. 2019-11-26]. Dostupné z: <http://m.pdms-help.webnode.cz/news/tridy-oceli-dle-csn/>
13. MAJER, Lubomír. *Navrhování a posuzování svařovaných konstrukcí a tlakových zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 1999. ISBN 80-85771-70-5.
14. KOUKAL, Jaroslav a Tomáš ZMYDLENÝ. *Svařování I*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, 2005. ISBN 80-248-0870-6.

15. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů. 2., upr. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2001. ISBN 80-85771-85-3.*
16. BARTÁK, Jiří, Václav PILOUS a Rudolf KOVAŘÍK. *Učební texty pro evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory. Ostrava: ZEROSS, 2002. Svařování. ISBN 80-85771-97-7.*
17. *ASM handbook. 6th print. Materials Park: ASM International, 2003. ISBN 978-0871703828.*
18. PURMENSKÝ, Jaroslav a Václav FOLDYNA. *ŽÁRUPEVNOST A JEJÍ VLIV NA ŽIVOTNOST ENERGETICKÝCH ZAŘÍZENÍ* [online]. In: . Hradec nad Moravicí, 2008, 13.5.2008 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: http://metal2013.tanger.cz/files/proceedings/metal_08/Lists/Papers/184.pdf
19. In: *Techportal.cz: Základní materiál – ekvivalent uhlíku CET* [online]. [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOHEn2FFltCyd9d4JCL8DCdYqYzdXTICOIQ
20. MOHYLA, Petr. In: *Allforpower.cz: svařitelnost uhlíkových, mikro a nízkolegovaných ocelí pro tlaková zařízení* [online]. 2008 [cit. 2020-02-09]. Dostupné z: <http://www.allforpower.cz/clanek/svaritelnost-uhlikovych-mikro-a-nizkolegovanych-oceli-pro-tlakova-zarizeni/>
21. *ČSN EN 1011-2: Svařování – Doporučení pro svařování kovových materiálů – Část 2: Obloukové svařování feritických ocelí. Praha: Český normalizační institut, 2001.*
22. KOVAŘÍK, Rudolf a František ČERNÝ. *Technologie svařování. 2. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000. ISBN 80-708-2697-5.*
23. MINAŘÍK, Václav. *Obloukové svařování. Praha: Scientia, 1998. ISBN 80-7183-119-0.*
24. TIG welding. In: *Keyence: Automated Welding Basics* [online]. USA, 2020 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.keyence.com/ss/products/measure/welding/type/fu-major.jsp>
25. TIG svařování II - AC nebo DC?: Zdroje svařovacího proudu pro TIG svařování. *Svarinfo.cz: Magazín praktického svařování* [online]. 2009, 6.2.2009 [cit. 2020-02-22]. Dostupné z: <https://www.svarbazar.cz/phprs/view.php?cislocianku=2008122801>
26. ORSZÁGH, Viktor a Peter ORSZÁGH. *Zváranie TIG ocelí a neželezných kovov. Bratislava: Polygrafia SAV, 1998. ISBN 80-88780-21-7.*

27. Druhy a použití W-elektrod. *Svářečky - elektrody.cz* [online]. ČR [cit. 2020-02-25]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/druhy-a-pouziti-wolframovych-elektrod/t-30/t-107>
28. Alfain. In: *Alfain* [online]. ČR [cit. 2020-02-29]. Dostupné z: <https://www.alfain.eu/z26319-bruska-wolfram-elektrod-neutrix-wag-40-1-230v-50hz>
29. HLAVATÝ, Ivo. *Teorie a technologie svařování*. VŠB-TU Ostrava, 2009.
30. Svařovací technika. In: *Náradítechnik* [online]. 2020 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.naraditechnik.cz/svarovaci-technika/479-svareci-drat-tig-esab-ok-tigrod-1264-20-1kg>
31. Svařovací elektrody a dráty. In: *Kompass* [online]. 2020 [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://cz.kompass.com/p/svarovaci-elektrody-a-draty-pro-svarovani-tig-mig-mag/654ce84e-95a9-4e9c-857d-b67c38653c79/>
32. Základní metody svařování. In: *Svářečky-elektrody* [online]. [cit. 2020-03-08]. Dostupné z: <https://www.svarecky-elektrody.cz/zakladni-metody-svarovani/t-87>
33. Orbitální svařovací zařízení. In: *Promont* [online]. 2015 [cit. 2020-03-10]. Dostupné z: <http://www.promont-as.cz/technologie/svarovani/>
34. Orbital Welbug. In: *Berbela* [online]. Norsko [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: <https://berbela.no/produkt/orbital-welbug-tig/>
35. VERNER, Radko a Jan STUHLÍK. Zkušenosti s orbitálním svařováním parovodů velké tloušťky stěny z ocelí P91 a P92. *Konstrukce* [online]. 2013, **2013** [cit. 2020-03-15]. ISSN 1803-8433. Dostupné z: <http://old.konstrukce.cz/clanek/zkusenosti-s-orbitalnim-svarovanim-parovodu-velke-tloustky-steny-z-oceli-p91-a-p92/>
36. TIG-SR 18 GRIP WD HW U. In: *Ewm* [online]. 2018 [cit. 2020-03-15]. Dostupné z: https://www.ewmsales.com/cs/Svarovaci_horak/WIG/Horak_pro_studeny_a_horky_dr_at/TIG_SR_18_GRIP_WD_HW_U_D_HFL_flex_3_m--094-500106-10203.html
37. Polysoude. In: *Machine production* [online]. Francie [cit. 2020-03-17]. Dostupné z: <http://www.machinesproduction.fr/produit/Polysoude-15523-748-mw-tete-de-soudage-fermee.html>
38. ČEZ, a.s.: *Inspekční certifikáty základních materiálů*.
39. ČSN EN ISO 14341: *Svařovací dráty – Drátové elektrody pro obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí v ochranném plynu a jejich svarové kovy – Klasifikace*. (novela 2011). Praha: Český normalizační institut, 2011.

40. *ČEZ ENERGOSERVIS spol. s r.o.: Inspekční certifikát přídavného materiálu.*
41. *ČSN EN ISO 17637: Nedestruktivní zkoušení svarů – Vizuální kontrola tavných svarů.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
42. *ČSN EN ISO 5817: Svařování – Svarové spoje oceli, niklu, titanu a jejich slitin zhotovené tavným svařováním (kromě elektronového a laserového svařování) - Určování stupňů kvality.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
43. *ČSN EN ISO 3452-1: Nedestruktivní zkoušení – Kapilární zkouška – Část 1: Obecné zásady.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.
44. *ČSN EN ISO 23277: Nedestruktivní zkoušení svarů – Zkoušení kapilární metodou – Stupně přípustnosti.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2016.
45. *ČSN EN ISO 17636-1: Nedestruktivní zkoušení svarů – Radiografické zkoušení – Část 1: Metody rentgenového a gama záření využívající film.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2013.
46. *ČSN EN ISO 10675-1: Nedestruktivní zkoušení svarů – Kritéria přípustnosti pro radiografické zkoušení – Část 1: Ocel, nikl, titan a jejich slitiny.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2018.
47. *ČSN EN ISO 6892-1: Kovové materiály – Zkoušení tahem – Část 1: Zkušební metoda za pokojové teploty.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2017.
48. *ČSN EN ISO 17639: Destruktivní zkoušky svarů kovových materiálů – Makroskopická a mikroskopická kontrola svarů.* Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014.
49. *Citace PRO [online]. 2020 [cit. 2020-05-31]. Dostupné z: <https://www.citacepro.com/>*

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A ₅	Tažnost	[%]
ARA	Anizotermický rozpad austenitu	[-]
BP	Bakalářská práce	[-]
BW	Butt Weld (tupý svar)	[-]
CE	Ekvivalent uhlíku	[-]
ČSN	Česká státní norma	[-]
DT	Destructive Testing	[-]
EN	European Norm (evropská norma)	[-]
I	Intenzita svařovacího proudu	[A]
IIW	Internacional Institute of Welding	[-]
I _p	Impulzní proud	[A]
ISO	Internacional Standart Organisation	[-]
I _z	Základní proud	[A]
JE	Jaderná elektrárna	[-]
KCV	Vrubová houževnatost	[J·cm ⁻²]
MAG	Metall Active Gas	[-]
MIG	Metall Inert Gas	[-]
N	Složení dle normy	[-]
NDT	Non Destructive Testing	[-]
NTD A.S.I.	Normativně technická dokumentace Asociace strojních inženýrů	[-] [-]
PM	Přídavný materiál	[-]
PT	Penetration Testing (kapilární zkouška)	[-]
Q	Tepelný příkon	[kJ·mm ⁻¹]
r	Rozkvy	[mm]
R _m	Pevnost v tahu	[Mpa]
R _{p0,2}	Smluvní mez kluzu při plastické deformaci 0,2%	[Mpa]
RT	Radiography Testing (prozařovací zkouška)	[-]
T	Teplota	[°C]
TIG	Tungsten Inert Gas Welding	[-]
TOO	Tepelně ovlivněná oblast	[-]
t _p	Čas pulsního proudu	[s]
t _z	Čas základního proudu	[s]
U	Napětí při svařování	[V]
v _{OSH}	Rychlost otáčení svařovací hlavy	[mm·min ⁻¹]
v _{PPM}	Rychlost podávání přídavného materiálu	[mm·min ⁻¹]
v _s	Rychlost svařování	[mm·s ⁻¹]
VT	Visual Testing (vizuální kontrola)	[-]
WC	Wolfram Cadmium (elektroda)	[-]
WL	Wolfram Lanthan (elektroda)	[-]
Z	Kontrakce	[%]

ZM	Základní materiál	[-]
----	-------------------	-----

α	Ferit	[-]
----------	-------	-----

γ	Austenit	[-]
----------	----------	-----

η	Koeficient tepelné roztažnosti	[-]
--------	--------------------------------	-----

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1: Jaderná elektrárna a svařování [2],[3]	9
Obr. 2: Závislost obsahu uhlíku na tvrdosti oceli způsobené martenzitem [15]	12
Obr. 3: Diagram anizotermického rozpadu austenitu (ARA) [15]	13
Obr. 4: Schéma TIG svařování [24]	17
Obr. 5: Přímá polarita [25]	18
Obr. 6: Nepřímá polarita [25]	18
Obr. 7: Periodické střídání polarity [25]	18
Obr. 8: Průběh impulzního proudu [8]	19
Obr. 9: Porovnání svařování s pulzem a bez pulzu [25]	19
Obr. 10: Ukázka značení elektrod [27]	21
Obr. 11: Geometrie broušení elektrody [8]	21
Obr. 12: Brusky na wolframové elektrody [28]	22
Obr. 13: Vliv broušení na oblouk [8]	22
Obr. 14: Detail svařovacího hořáku [29]	23
Obr. 15: Plynová tryska	23
Obr. 16: Plynové čočky	24
Obr. 17: Průtokoměr s kuličkou	24
Obr. 18: Svářecí drát ve formě tyče [30]	26
Obr. 19: Svářecí drát navinutý na cívce [31]	26
Obr. 20: Ruční svařování metodou TIG [32]	27
Obr. 21: Svařování trubkovnice [33]	28
Obr. 22: Svařování potrubí [34]	28
Obr. 23: Úzký úkos [35]	28
Obr. 24: Hlava do úzkého úkosu [35]	29
Obr. 25: Detail hořáku do úzkého úkosu [35]	29
Obr. 26: Ruční hořák s podáváním horkého drátu [36]	29
Obr. 27: Uzavřená svařovací hlava [37]	30
Obr. 29: Připravené vzorky s obrobenými úkosy	34
Obr. 30: Ručně obrobený úkos	34
Obr. 31: Mechanicky obrobený úkos	34
Obr. 32: Sestavený vzorek s mechanicky obrobenými svarovými plochami	35
Obr. 33: Sestavený vzorek v kombinaci s ručně obrobenou svarovou plochou	35
Obr. 34: Zdroj POLYSOUDE P6 CW	35
Obr. 35: Průběh svařování vzorku	38
Obr. 36: Druhá vyplňovací vrstva	38
Obr. 37: Protavený základní materiál	38
Obr. 38: Nanesení penetrantu	39
Obr. 39: Aplikace vývojky	40
Obr. 40: Vyznačení směru snímkování	40
Obr. 41: RT snímek vyhodnocený jako hubený kořen	41
Obr. 42: Dělení vzorků	42
Obr. 43: Vzorky pro tahovou zkoušku	42
Obr. 44: Zaznamenaný průběh tahových zkoušek	43
Obr. 45: Vzorky po tahové zkoušce	44
Obr. 46: Makrostruktura na vzorku č. 1	44
Obr. 47: Velikost TOO vlevo od svaru	45
Obr. 48: Velikost TOO vpravo od svaru	45

SEZNAM TABULEK A GRAFŮ

Tab. 1: Teplota předehřevu v závislosti na obsahu uhlíku [10].....	13
Tab. 2: Obsah prvků v hm. % [19].....	14
Tab. 3: Teplota tavení oxidů kovů a výstupní práce elektronů [8].....	20
Tab. 4: Doporučené průměry plynových trysek [8].....	23
Tab. 5: Zkušební vzorky.....	31
Tab. 6: Chemické složení oceli L 290 NB v hm. % [5], [38]	32
Tab. 7: Chemické složení oceli L 290 NB v hm. % [5], [38]	32
Tab. 8: Mechanické a fyzikální vlastnosti L 290 NB + 44534K[5], [38]	33
Tab. 9: Mechanické a fyzikální vlastnosti L 290 NB + 82046 [5], [38]	33
Tab. 10: Chemické složení drátu Böhler EMK 6 v hm. % [40]	33
Tab. 11: Mechanické vlastnosti drátu Böhler EMK 6 [40]	33
Tab. 12: Parametry pro svařování kořenové vrstvy	36
Tab. 13: Parametry pro svařování první vyplňovací vrstvy	36
Tab. 14: Parametry pro svařování druhé vyplňovací vrstvy	36
Tab. 15: Parametry pro svařování krycí vrstvy	37
Tab. 16: Výsledky RT snímků	41
Tab. 17: Naměřené hodnoty z tahové zkoušky	43

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1 – Atest základního materiálu č.1
Příloha č. 2 – Atest základního materiálu č.2
Příloha č. 3 - Atest přídavného materiálu
Příloha č. 4 – Protokol RT vzorku č. 1
Příloha č. 5 – Protokol RT vzorku č. 2
Příloha č. 6 – Protokol RT vzorku č. 3
Příloha č. 7 – Protokol RT vzorku č. 4
Příloha č. 8 – Protokol RT vzorku č. 5
Příloha č. 9 – Hydraulický zkušební stroj



VITKOVICE TESTING CENTER s.r.o.
Pohraniční 684/142
Hulváky
703 00 Ostrava



Str.: 1/1 Rev.: 0
Page: Rev.:

Ke zkuš. listu: To testing form No.:	MIT-D89	Datum přijetí: Date of receipt:	02.10.2018	Zákazník: Customer:	Český svářečský ústav s.r.o. 17. listopadu 2172/16 areál VŠB-TU Ostrava 708 33 Ostrava-Poruba Ing. Sondel Marlin, Ph.D.
Výrobek: Product:	troubka ocelová bezošvá ø 89,0 x 6,30	Zakázka č. : Shop order No.:			
Číslo tavby: Heat No.	44534K	Objednávka č. : Purchase order No.:			
Jakost: Grade:	12022.1	Norma: Standard:			
Ostatní poznámky pro objednatel: Client's notes:					

PROTOKOL O ZKOUŠENÍ č.: 2018 / 51450

Test Report No.:

VÝSLEDKY ZKOUŠENÍ
Test results

Vzorek Sample	Čís.vz. No	C %	Mn %	Si %	P %	S %	Cu %	Ni %	Cr %	Mo %	V %
H02011	1	0,162	0,71	0,23	0,008	0,0056	0,051	0,023	0,036	0,006	<0,004
H02012	2	0,160	0,72	0,23	0,008	0,0055	0,054	0,025	0,037	0,006	<0,004
H02013	3	0,159	0,71	0,23	0,007	0,0049	0,053	0,024	0,037	0,006	<0,004
H02014	4	0,162	0,71	0,22	0,007	0,0060	0,051	0,023	0,038	0,006	<0,004
H02015	5	0,162	0,72	0,23	0,007	0,0053	0,054	0,025	0,041	0,007	<0,004
H02016	6	0,160	0,70	0,24	0,007	0,0062	0,054	0,024	0,038	0,006	<0,004

Vzorek Sample	Čís.vz. No	Ti %	Al-c %	Nb %	Co %
H02011	1	<0,002	0,032	<0,003	0,004
H02012	2	<0,002	0,034	<0,003	0,005
H02013	3	<0,002	0,034	<0,003	0,005
H02014	4	<0,002	0,032	<0,003	0,005
H02015	5	<0,002	0,034	<0,003	0,005
H02016	6	<0,002	0,035	<0,003	0,005

Český svářečský ústav s.r.o. - A0 257
HRAVÁ AAS: 3
Sign: 1/1
Zkušební protokol č.: 55/2018/12022
Kontrola: Ing. Martín Sondel, Ph.D.

Konec výsledků zkoušení / End of test results

Číslo zkoušky: Test number:	1	Identifikace metody: Method identification:	QI-VTC.10 GEN-0001	Prvek: Element:	C, Mn, Si, P, S, Cu, Ni, Cr, Mo, V, Ti, Al-c, Nb, Co	Přístroj, ov. č.: Instrument, Inv. No.:	SPECTROLAB 2000, 946.10017	Zkoušel: Tested by:	BAR
<p>Prohlášení: Dosažené výsledky se týkají pouze zkušební vzorku. Zkušebna neodpovídá za výběr zkušební vzorku. Protokol je možno reprodukovat pouze celý, jinak s písemným souhlasem zkušebny.</p> <p>Statement: The test results relate only to the sample. The Chemical laboratory does not take the responsibility for the sampling. The report shall not be reproduced except in full without the written approval of the chemical laboratory.</p>				Datum zkoušení: Date of testing:	02.10.2018 - 10.10.2018	Ident: Ident:	200769117	Jméno/Tel: Name/Phone: Funkce: Position: Podpis/Datum: Signature /Date:	
Vystavil: Prepared:	Beroňová 59 595 5483	Kontrola: Checked:	Ing. Ralterová 59 595 2665	Schválil: Approved:	Ing. Čigánová 59 595 7761	Pověřený pracovník Entrusted person	Zkušební technik Test Technician	10.10.2018 10.10.2018 10.10.2018	

Datum tisku: 10.10.2018 09:49:12

Id: 281604 Zprac: PROT_CHI_IV_V5.dtl

Konec protokolu o zkoušení / End of test report



(7)

Česká republika, ul. Jiráka 800, IČO 237
 IČO: 237 00 0000 2 Strana: 1/1
 Zpracováno v Měsíci: 5/2018 / 2022
 Provozní úroveň: Ing. Martin Šindel, Ph.D.

mitmetal		PROTOKOL O MĚŘENÍ A VIZUÁLNÍ KONTROLA			
číslo trubky	rozměr	jakost	tavba	délka (m)	vizuální kontrola
1	Ø89,0 x 6,3	12022.1	44534K	5,705	vyhovuje
2	Ø89,0 x 6,3	12022.1	44534K	5,375	vyhovuje
3	Ø89,0 x 6,3	12022.1	44534K	5,705	vyhovuje
4	Ø89,0 x 6,3	12022.1	44534K	5,705	vyhovuje
5	Ø89,0 x 6,3	12022.1	44534K	6,015	vyhovuje
6	Ø89,0 x 6,3	12022.1	44534K	5,705	vyhovuje

Použité měřidlo:

ev. č. 2.09 - 308WP/20m-pásma ocelové, prvotní ověření EHS

měřil: Dalibor Koňářik

datum: 26.09.2018

MIT METAL POWER SE
 Nad Rokodou 236/22A
 132 00 Praha 8 - Libeň
 IČO: 24225495
 DIČ: CZ0225495



mitmetal



 Český svářečský ústav s.r.o. Czech Welding Institute Ltd. / Tschechisches Schweißinstitut GmbH 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava - Poruba	AO 267	strana / page / seite 1 z/from/3

Inspekční zpráva Inspection report Inspektionsbericht	dle Vyhl. 358/2016 Sb, přílohy 2, bod 13.10	číslo /No./ Nr.: 55/2018/12022
potvrzující možnost použití základního materiálu pro použití na jaderných zařízeních typu VVER / confirming the possibility of using the base material for nuclear equipment of VVER type/ bestätigt die Möglichkeit der Verwendung von Grundstoffe für Kernkraftwerke Typ VVER.		Vyhláška č. 358/2016 Sb. Regulation Nr. / Kundmachung No. BT 2 tlakové zařízení sekundárního okruhu chlazení § 12 odst.2, písm.b)

Zákazník / smlouva Customer / Order No. Kunde / Best. Nr.	MIT METAL POWER SE Nad Rokůškou 2361/2a, 182 00 Praha 8 - Libeň
Objednatel Client / Besteller	MIT METAL POWER SE
Číslo objednávky / smlouvy Order No. / Best.-Nr.	OV-1855/2018
Typ základního materiálu Type of Base material / Grundstofftyp	Trubka ocelová bezešvá hladká normalizačně doválcována jakost: I2022.1 dle ČSN 41 2022
Označení výrobce Trade designation / Herstellerbezeichnung	Jakost: I2022.1 dle ČSN 41 2022, ČSN 42 5715.01/81, ČSN 42 0251.73/89 - PED 97/23/EC, Označení: AMTPO
Tavba / LOT Lot-Heat No. / Serien-Chg.Nr.	44534K
Rozměry (mm) Dimensions / Dimension	Ø 89,0 x 6,3 mm
Stav dodání Delivery conditions / Lieferzustand	Normalizačně doválcováno
Výrobce Manufacturer / Hersteller	ArcelorMittal Tubular Products Ostrava a.s. č. 01: tavba 44534K, délka 5,705 m č. 02: tavba 44534K, délka 5,375 m č. 03: tavba 44534K, délka 5,705 m č. 04: tavba 44534K, délka 5,705 m č. 05: tavba 44534K, délka 6,015 m č. 06: tavba 44534K, délka 5,705 m
Požadované normy a předpisy Requirements / Anforderungen	NTD A.S. Sekce II:2016, EN 10220/02, ČSN 41 2022, ČSN 42 5715.01/81, ČSN 42 0251.73/89 - PED 97/23/EC

CHEMICKÉ SLOŽENÍ

CHEMICAL COMPOSITION

CHEMISCHE ZUSAMMENSETZUNG

ZÁKLADNÍHO MATERIÁLU

BASE METAL

GRUNDSTOFF

(hm. %)

Tavba / LOT Lot/Heat No./ Schmelze Nr.	C	Mn	Si	P	S	Cr	Mo	V	Ni	N	Ti	Nb	W	Cu	Co
Požadavek Requirement / Anforderungen	0,13 až 0,24	0,45 až 0,80	0,14 až 0,42	max 0,040	max 0,040	max 0,25	-	-	max 0,25	-	-	-	-	max 0,25	max 0,025
č. 01. tavba 44534K	0,162	0,71	0,23	0,008	0,0056	0,036	0,006	<0,004	0,023	-	<0,002	<0,003	-	0,051	0,004
č. 02. tavba 44534K	0,160	0,72	0,23	0,008	0,0065	0,037	0,006	<0,004	0,025	-	<0,002	<0,003	-	0,054	0,005
č. 03. tavba 44534K	0,159	0,71	0,23	0,007	0,0049	0,037	0,006	<0,004	0,024	-	<0,002	<0,003	-	0,053	0,005
č. 04. tavba 44534K	0,162	0,71	0,22	0,007	0,0060	0,038	0,006	<0,004	0,023	-	<0,002	<0,003	-	0,051	0,005
č. 05. tavba 44534K	0,162	0,72	0,23	0,007	0,0053	0,041	0,007	<0,004	0,025	-	<0,002	<0,003	-	0,054	0,006
č. 06. tavba 44534K	0,168	0,70	0,24	0,007	0,0062	0,038	0,006	<0,004	0,024	-	<0,002	<0,003	-	0,054	0,005


7

	Český svářečský ústav s.r.o. ® Czech Welding Institute Ltd. / Tschechisches Schweißinstitut GmbH 17.listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava - Poruba		AO 267	stránka / page / seite 2 z/ from/3

Inspekční zpráva				dle Vyhl. 358/2016 Sb., přílohy 2, bod 13,10		číslo / No. / Nr.:	
Inspection report						55/2018/12022	
Inspektionsbericht							
Tavba / LOT / Lot / Heat No. / Schmelze Nr.	AI 102	AI 101	AI 100	(hm. %)			
č. 01, tavba 44534K			0,032				
č. 02, tavba 44534K			0,034				
č. 03, tavba 44534K			0,034				
č. 04, tavba 44534K			0,032				
č. 05, tavba 44534K			0,034				
č. 06, tavba 44534K			0,035				

ZKOUŠKA TAHEM podle norem: **ČSN EN ISO 6892-1**
TENSILE TEST according to / ZUGVERSUCH nach:

Tavba / LOT Lot/Heat No. / Schmelze Nr.	Zkušební teplota Test temp. / Prüftemp. (°C)	R _e	R _{eH}	R _{eL}	R _m	A ₅	Z	Poznámka Remarks/ Bemerkg.
Požadavek Requirement / Anforderungen	+ 20	min. 255	min. 255		440 až 570	min. 21		Jakost 12022.1
č. 01, tavba 44534K	+ 20		325		478	28,7		Vyhovuje
č. 02, tavba 44534K	+ 20		336		483	28,3		Vyhovuje
č. 03, tavba 44534K	+ 20		352		486	28,8		Vyhovuje
č. 04, tavba 44534K	+ 20		364		477	28,5		Vyhovuje
č. 05, tavba 44534K	+ 20		328		477	28,6		Vyhovuje
č. 06, tavba 44534K	+ 20		337		475	28,5		Vyhovuje
			327		481	29,2		Vyhovuje
			310		470	30,0		Vyhovuje
			356		493	27,7		Vyhovuje
			362		504	27,8		Vyhovuje
			316		477	27,3		Vyhovuje
			327		481	27,2		Vyhovuje

 Český svářečský ústav s.r.o. Czech Welding Institute Ltd. / Tschechisches Schweißinstitut GmbH 17. listopadu 2172/15, 708 33 Ostrava - Poruba	AO 267	strana / page / seite
		3 z / from / 3

Inspekční zpráva Inspection report Inspektionsbericht	dle Vyhl. 358/2016 Sb, přílohy 2, bod 13.10	číslo /No./ Nr.: 55/2018/12022
--	--	-----------------------------------

ZKOUŠKA RÁZEM V OHYBU podle: ČSN ISO 148-1

IMPACT TEST according to / KERBSCHLAGBIEGEVERSUCH nach:

Tavba / LOT Lot/Heat No./ Schmelze Nr.	Zkušební teplota Test temp./ Prüftemp. (°C)	Tepelné zpracování Heat treatment / Wärmebeh.	KV (J)			Průměr/ Average KV (J)	Poznámka
Požadavek Requirement / Anforderungen	+ 20	-	-			mín. 27 mín 14*	pro vzorek 10x10mm *(14J @ 0°C pro 10x5mm)
č. 01, tavba 44534K	0	-	69	73	75	72	(KV, 10x5)
č. 02, tavba 44534K	0	-	73	74	74	74	vyhovuje
č. 03, tavba 44534K	0	-	75	74	73	74	vyhovuje
č. 04, tavba 44534K	0	-	75	61	71	69	vyhovuje
č. 05, tavba 44534K	0	-	72	71	71	71	vyhovuje
č. 06, tavba 44534K	0	-	70	73	72	72	vyhovuje

OSTATNÍ ZKOUŠKY / OTHER TESTS / ANDERE PRÜFUNGEN

Uvedeny v protokolech o zkoušení - příloha 4

Zkouška smáčkutím dle ČSN EN ISO 8492 - Vyhovuje

Všechny stanovené požadavky byly splněny.

All the test results meet the requirements. / Alle gestellte Anforderungen wurde erfüllt.

Seznam příloh: č. 1 - Inspekční certifikát 3.1 dle EN 10204:2004 č. 56198/13
 List of annexes: č. 2 - Protokol o měření a vizuální kontrole ze dne 26.09.2018
 Liste der Beilagen: č. 3 - Protokol o zkoušení: zkouška chemického složení č. 2018/51450
 č. 4 - Protokol o zkoušení: zkouška tahem a další zk. č. 7683Z18
 č. 5 - Protokol o přenosu značení ze dne 26.09.2018
 č. 6 - Protokol o moření a pasivaci č. M 587/17 rev. 0 ze dne 08.10.2018
 č. 7 - Protokol o konzervaci č. 55/2018 ze dne 19.10.2018

Ostrava, dne: 22.10.2018
 Place/date / Ort/Datum



prof. Ing. Jarosláv Koukal, CSc.
 jméno, podpis, razítko

Name, Signatüre, Stamp / Name, Unterschrift, Stempel

Dokument nelze reprodukovat jinak než v celku. Výsledky inspekce se vztahují pouze na předmět inspekce.
 This document may be reproduce only as a whole. Inspection results apply only to the subject of inspection.
 Das Dokument kann nicht anders als das Gesamtheit reproduzieren. Prüfergebnisse beziehen sich nur auf den Gegenstand der Inspektion.



Customer Order No. 013/0319
 Supplier Order No. 21637/013
 Quantity delivered: 25 pcs, 161.000 kgs, 1917 lbs
 Dimensions: 89.0 x 6.30 mm
 Steel designation: 12022.1
 Product conditions and terms of delivery: Seamless steel tubes, Trubky ocelové bezové hladké, ČSN 425716.01/B1, ČSN 420261.73/89 - PED 97/23/EC Normalized hot finished, Normalizačně dovalčováno.

Ing. Martin Šonar, P.Ú.



Inspection certificate "3.1" (EN 10 204)

Document No 56198/13

Customer's Order (P.O.) Reference No. 013/0319	Manufacturer's Work Order No. 21637/013
Supplier's Order No.	Invoice - Note No. 107605
Quantity delivered pcs: 25 kgs: 161.000 lbs: 1917	Customer / Consignee
Dimensions 89.0 x 6.30 mm	
Steel designation 12022.1	
Product conditions and terms of delivery Seamless steel tubes, Trubky ocelové bezové hladké, ČSN 425716.01/B1, ČSN 420261.73/89 - PED 97/23/EC Normalized hot finished, Normalizačně dovalčováno.	

Marking: Manufacturer's mark, mill inspector's stamp
 AMTPO (4)

Heat No.	C	MN	SI	P	S	CU	NI	CR
44534K	0.16	0.71	0.224	0.006	0.009	0.05	0.02	0.04

Heat No. / Specimen No.	Yield Point (min)	Tensile Strength	% Elongation (min)	Hardness
44534K	340 / 351	506 / 499	25.6 / 21.7	148 / 150 / 148

Visual and dimensional inspection with satisfactory results	X	The lightness of pipes guaranteed by the pressure up to	MPa	25.0/6 sec
Flattening test - satisfactory	X	The pipes tested on lightness by NDT		
Expanding test - satisfactory	X			
Bending test - satisfactory				
Ring expanding test (DIN EN 10236) - satisfactory		Nondestructive Electromagnetic Testing		
Ring tensile test (DIN EN 10237) - satisfactory		ČSN 015047/66		X

PED 97/23/EC and AD 2000-Merkblatt W0 certified by TÜV NORD, cert. No. 07-202-1413 WZ-0807/09
 PED 97/23/EC a AD 2000-Merkblatt W0 certifikován společností TÜV NORD, certifikát č. 07-202-1413 WZ-0807/09.
 Mass activity value of the ionizing radiation in the heat analysis does not exceed 100 Bq/kg.
 Hodnota množství aktivního ionizujícího záření v tevébní analýze nepřesahuje 100 Bq/kg.
 All pipes conform to the above mentioned standards and ordering requirements and agreement.
 Date of issue: 22.8.2013/RE

ArcelorMittal Tubular Products Ostrava a.s.
 OA Department
 Václavovská 689
 707 02 Ostrava-Kunčice
 Czech Republic



ArcelorMittal
 ArcelorMittal Tubular Products Ostrava a.s.
 Václavovská 689, 707 02 Ostrava 7
 Řešené pláze

Bc. Petr Pastucha
 Werk's Inspector
 TUV Validation



VITKOVICE TESTING CENTER s.r.o.
 v obchodní síti s.r.o. - Vitkovice
 705 00 Ostrava



Protokol o zkoušení

ke zkoušebnímu listu:

Číslo
 7663218
 Státní úřad
 1 / 3

Kupující: Český svářčeský ústav s.r.o.
 Divize inspekce - inspekční orgán č. 4005
 Areal VSB - TU Ostrava
 17. listopadu 2172/15
 708 33 Ostrava - Poruba
 CZ

Vzorek č.: 1 - 6
Popis: Trubka ocelová bezesová
Rozměr: Ø 89,0 x 6,3 mm
Norma: ČSN 420251.73/69
Základní materiál: 12022.1
Tavba: 44534K

Celá zakázka: MIT-089

Číslo objednání: Číslo zkoušební zářezky a měřací: 946.301001
 946.301027
 946.301070
 946.301231
 Zkoušební listy
 ČSN EN ISO 662-1 A224
 ČSN EN ISO 8492
 ČSN EN ISO 148-1

Číslo zkoušky: 1
Číslo zkoušební zářezky a měřací: 946.301001
 946.301027
 946.301070
 946.301231
 Zkoušební listy
 ČSN EN ISO 662-1 A224
 ČSN EN ISO 8492
 ČSN EN ISO 148-1

Číslo zkoušební zářezky a měřací: 946.301001
 946.301027
 946.301070
 946.301231
 Zkoušební listy
 ČSN EN ISO 662-1 A224
 ČSN EN ISO 8492
 ČSN EN ISO 148-1

Číslo zkoušební zářezky a měřací: 946.301001
 946.301027
 946.301070
 946.301231
 Zkoušební listy
 ČSN EN ISO 662-1 A224
 ČSN EN ISO 8492
 ČSN EN ISO 148-1

Číslo zkoušky	Měřítko	Číslo zkoušební zářezky a měřací	Tavba	Pevnost	Rm	Tahnost	A	Zkouškový rázec V D H Y B U		Jiné požadavky	3000
								Číslo zkoušební zářezky a měřací	Číslo zkoušební zářezky a měřací		
1		1	44534K								
T1		1	44534K								
T2											
2											
T3											
T4											

Podpis: Ing. Martin Soudel, Ph.D.
 Datum: 25/10/2022
 Strana: 1/3

Podpis: [Signature]
 Datum: 25/10/2022
 Strana: 1/3

Dotazy týkající se těchto údajů prosíme kontaktovat přímo u poskytovatele služeb.
 Břežanského státního úřadu č. 1000, Praha 10, IČO: 252 200 000

		PROTOKOL O KONZERVACI		číslo 55									
				2018									
Číslo smlouvy objednatele:		Číslo zakázky zhotovitele:		Místo realizace:									
4101793855		MIT1-0371/2018 DL-1988/2018		Hulin									
Dodavatel: MIT METAL POWER SE Nad Rokoskou 2361/2a 182 00 Praha 8													
Odběratel: ČEZ, a.s. Duhová 2/1444 140 53 Praha 4													
Rozsah konzervace													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Kat.číslo</th> <th>Popis</th> <th>Tavba</th> <th>Mn.</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>1003020911</td> <td>Ocel trubka bez hl 80x6,3 12022.1 ČSN 425715 11, 420251 63</td> <td>44534K</td> <td>34,21 m</td> </tr> </tbody> </table>						Kat.číslo	Popis	Tavba	Mn.	1003020911	Ocel trubka bez hl 80x6,3 12022.1 ČSN 425715 11, 420251 63	44534K	34,21 m
Kat.číslo	Popis	Tavba	Mn.										
1003020911	Ocel trubka bez hl 80x6,3 12022.1 ČSN 425715 11, 420251 63	44534K	34,21 m										
Použitý konzervační prostředek:													
VpCI 377													
Koncentrace 8%, odolnost vůči korozi do 6 měsíců ve vnitřních prostorech													
Způsob konzervace													
Násfíkem				<input checked="" type="checkbox"/>									
Ponořením				<input type="checkbox"/>									
Jiný				<input type="checkbox"/>									

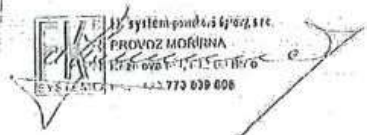
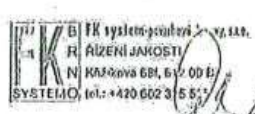
Datum: 19.10.2018

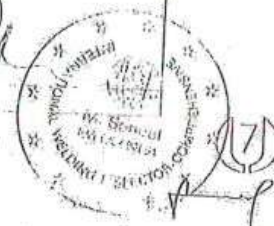

 MIT METAL POWER SE
 Nad Rokoskou 2361/2a
 182 00 Praha 8
 Tel: 24225495


 MIT METAL POWER SE
 Nad Rokoskou 2361/2a,
 182 00 Praha 8 - Ilbeň
 IČO: 24225495
 DIČ: CZ24225495


Protokol o moření a pasivaci

Číslo j. v. a. l. o. k. e. t. - 2.0 257
 číslo účtu: 6
 číslo účtu: 55/2019/12022
 Ing. Martin Schudel, Ph.D.

Číslo protokolu: M 587 / 17	Revize: 0	Počet stran: 1	Číslo strany: 1
Zhotovitel	FK systém - povrchové úpravy, s.r.o. Chrlická 661, 664 42 Modřice		
Objednatel	MIT METAL s.r.o. Pod Žamboškou 1164, 755 01 Vsetín		
Dokumenty objednatel	Objednávka č. OV-3779/2018 z 26. 09. 2018		
Technologický postup	TP - FK-MP-uhl-01		
Dílo	Součásti dle Vaší dokumentace: Trubka bezešvá 89 x 6,3 36 m		
Rozsah prací	Tliskání, odmaštění, moření, pasivace.		
Způsob provedení	Tliskání vnějšího povrchu, odmaštění tlakovým zařízením Wap, moření ponorem v lázni, pasivace postřikem		
Použitý odmašťovací prostředek	Speciální nepěnivý detergent Aquaclean A 125		
Doba odmašťování:	cca 15 min.	Teplota:	20°C
Použitý močící prostředek	Močící lázeň obsahuje 15% kyseliny chlorovodíkové HCL		
Doba moření:	16 hod.	Teplota:	20°C
Použitý pasivační prostředek	PRAGOLOD 90		
Doba pasivace:	20 min.	Teplota:	20°C
Použitý konzervační prostředek	---		
Oplachový prostředek	Oplach tlakovou vodou s přidavkem 5% sody		
Termín provádění prací	09 - 10 / 2018		
Vizuální kontrola	Vzhovující		
Způsob balení:	Volně loženo, víčkováno, plněno vysoušedlem		
Poznámka:	Bylo provedeno odmaštění, oření a pasivace. Jednotlivé operace byly prováděny na základě schválených a ověřených technologických postupů firmy FK systém - povrchové úpravy, s.r.o. Močící povrch je kovově čistý, bez mechanických nečistot, okují, zbytků močících a pasivačních prostředků a odpovídá požadavkům objednatel. Složení močící lázně: HCL - cca 15 %		
Jméno oprávněné osoby zhotovitele:	Razítko a podpis:		
Ing. Josef ZAHRADNÍK			
Jméno oprávněné osoby ORJ:	Razítko a podpis:		
p. Dušan ČRHA			
Datum vyhotovení protokolu: 08. 10. 2018	Místo: Brno		






VITKOVICE a.s.
Tube - rolling mill

Inspekční certifikát č.:
Inspection certificate No.:
Abnahmeprüfzeugnis Nr.:
Certificat de réception No.:
Certificado de Inspección No.:
Инспекционный сертификат No.:


EN 10204/3.1.B
DIN 50049/3.1.B
NF EN 10204/3.1.B



A 2595/98

1 Shop Order No.: 511830136

2 Purchase Order No.: 0-000525-98



3.6

Customer: Modřanská potrubní a.s.
Komořanská 326/63
143 14 Praha - Modřany

4 Advice - Note No.:			6 Material - Grade: 12 022.1		
5 Quantity delivered:		7 Dimensions: 89x5,6 mm		8 Products: bežešvé trubky	
pcs	mtrs	kg			
bdls	feet	lbs			
18	132,10	1 500,00			
9 Specifications: ČSN 42 5715.11, ČSN 42 0251.71					

10 Yield point (Strength) Requirements:		11 Tensile Strength		12 Elongation		13 Contraction		14 Impact test	
R _{0.2} (YS)	min. 255	MPa	R _m 440-570	MPa	A ₅ min. 21	%	Z	%	
16 Heat No.	17 Pieces	18 Specimen No.	R _{0.2} (YS)	R _m	A ₅	Z	19 Other testing:		
			MPa	MPa	%	%	J I J (cm ²)		
82046	1	2	342	468	25,2		Dodávka vyhověla stavební zkoušce podle § 7 vyhl. ČUBP č. 76/89 sb. <i>Procházka</i>		
			354	479	26,4				

16 Heat No.	20 Heat chemical analysis - in percent (%)											
	C	Mn	Si	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V	N	Al
82046	0,18	0,51	0,22	0,006	0,006	0,17	0,08	0,06				

21 Visual and dimensional inspections	- satisfactory	X	27 Hydraulic test - test pressure	MPa - satisfactory	
22 Flattening test	- satisfactory	X	28 Test on tightness by NDT ČSN 015049(BMPa)	- satisfactory	X
23 Expanding test	- satisfactory	X	29 Nondestructive electromagnetic testing	- satisfactory	
24 Ring flattening test	- satisfactory		30 Ultrasonic testing ČSN 015028.22.32	- satisfactory	X
25 Ring expanding test	- satisfactory		31 Test of Identity VN 015038	- satisfactory	X
26 Ring tensile test	- satisfactory		32 Drift test	- satisfactory	

ALL PRODUCTS MEET REQUIREMENTS OF ABOVE MENTIONED STANDARDS AND REQUIREMENTS SPECIFIED IN ORDER. THE DECLARATION IS ISSUED UNDER THE SOLE RESPONSIBILITY OF THE SUPPLIER.

706 02 Ostrava-Vitkovice
Tel.: 0042/69/29/22354
fax: 0042/69/29/26031

3.9.1998A

PILCH Ludvík
pověřený pracovník JE
osvědčení ITI Praha
ev. č. 134/8/96-JE/PD-3

VITKOVICE
VITKOVICE a.s.
706 02 Ostrava-Vitkovice
Ruská 101
Work's Inspector
PILCH Ludvík

T-402-96-08



ČEZ ENERGOSERVIS
SKUPINA ČEZ

VSTUPNÍ KONTROLA

PROTOKOL č. J 08.17.A.00952

Identifikace kontrovaného objektu:

Název:	Svařovací drát
Výrobce:	Dodavatel: Böhler Uddeholm CZ, s.r.o.
Firma dodavatele:	—
Blok, Objekt, Místnost, Podlaží:	8, —, sklad Heřmanice, —
Požadavky na jakost:	—
Závažné předpisy a vyhlášky:	-----
Číslo zakázky:	Z170010
Význam kontroly:	Operativní kontrola

Specifikace zkoušky:

Datum provedení kontroly:	6.10.2017
Číslo pracovního příkazu:	bez pracovního příkazu
Normy a předpisy pro provedení / hodnocení:	Návodka č. 310/3.3/01 / dtto.

Zařízení a prostředky pro kontrolu:

Název / Typ / Výrobní číslo / Poznámka:	Metr svinovací / 2 m / G 3034 / —
	Posuvné měřítko / 150 mm / G 3020 / —

Předmět kontroly:

Pol. I / 1008 kg - Svařovací drát Böhler EMK 6 Ø 1mm, tavba 632516

Vizuální kontrola:

V době kontroly bez poškození a vad.

Rozměrová kontrola:

Provedena namátkově - vyhovuje.

Identifikace:

Materiál označen popisem / štítky - údaje se shodují s PTD.

Dokumentace:

- Dodací listy fy Böhler č. 4207108553 ze dne 26.9. 2017
- Pol. I Inspekční certifikát „3.1“ dle EN 10204 č. 2016-09448-020 ze dne 21.6. 2016

Petr Kryštof
pracovník technické kontroly
ČEZ ENERGOSERVIS spol. s r.o.

Celkové hodnocení:

Kontroloval:	Petr Kryštof / ---
Vyhodnotil:	Petr Kryštof / ---
Rozdělovník:	905002410, ČEZ Energoservis
Počet příloh:	přílohy nejsou

VYHOVUJE

Kryštof
razítko a podpis

Böhler Uddeholm C. s. r. o.
Evropská 423/178
160 00 Praha 6 - Vokovice

Tel.: +420 2 33029800
Fax: +420 2 33029819
E-Mail: bohler@bohler-uddeholm.cz

Jednatel: T. Neuhöfer
Registrace: MS v Praze
oddíl C, vložka 48763



strany 1 / 1

Referent Jana Brejlová
Tel. 233 029 8 - 38
Zakázka č. 4203031745
Datum zakázky 26.09.2017
Číslo objednávky 4101671380
Datum objednávky 26.09.2017
Zákazník č. 42003086
Dodací podmínky Ze závodu
Datum dodání 04.10.2017
Expedice Lagermax

ČEZ ENERGOSERVIS spol. s r.o.
sklad 725 658 486
Areál JE Dukovany, sklad Heřmanice
675 50 Dukovany

IČO: 60698101

Dodací list č. Nr. 4207108553

Pol.	Jakost, rozměr	množství
010	78071290 Böhler EMK 6 1 mm Tavba: 632516	1.008,000 KG
001	Europaleta	1,000 KS 20,000 KG
Balení 1		Hrubá hmotnost 1.063,280 KG Čistá hmotnost 1.008,000 KG

PŘEVZAL:

DNE:

VK-AMO

171914

5105/2-170010

P. FEJTA

voestalpine Böhler Welding Germany GmbH

voestalpine Böhler Welding Austria GmbH

Böhler-Welding-Str. 1 | 8000 Kuching
 Austria
 T: +43 38 62-301-0
 F: +43 38 62-301-99193
 e-mail: order@voestalpine.com
 www.voestalpine.com

Boehler Uddeholm CZ s.r.o.

Evropska 423/178
 16000 PRAHA 6-Vokovice
 Tschechische R.

Abnahmeprüfzeugnis 3.1

Inspection certificate 3.1

nach / as per : EN 10204

Nr. No. : 2016-09448-020

Rev. 0

Seite / Page : 1 / 1

Bestell-Nr.	PO no.	4502388001	vom / of
Auftrags-Nr.	Order no.		
Lieferschein/Pos./Splitt	Delivery note/pos./splitt	/000000/000000	vom / of
Produkt	Product	Massivdrahtelektrode / GMAW Solid Wire	202009 71298
Handelsname	Trade name	BOEHLER EMK 6	2.024200 0018
Normbezeichnung	Standard designation	EN ISO 14341: G 42 4 M21 3Si1 EN ISO 14341: G 42 4 C1 3Si1 AWS A5.18: ER70S-6	
Abmessung	Dimension	1,0 mm	
Charge	Heat no.	832516	
Liefermenge	Quantity	2016 kg	

Chemische Analyse in % des Produktes

Chemical composition in % of the product

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	V	Cu	Ti	Al	Zr		
0,08	0,84	1,48	0,011	0,012	0,02	< 0,01	0,01	< 0,01	0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01		

Mechanische Gütwerte

Mechanical properties

EN 10204: 2.2

Zugversuch Probenvorbereitung		Tensile test Specimen preparation								
T	ReL / Rp 0,2 MPa	Rp 1,0 MPa	Rm MPa	A (Lo = 5d) %	Z %	WBH PWHT	Bemerkung Remarks			
20°C	≥ 420		500 - 640	≥ 20						
Kerbschlagversuch Probenvorbereitung		Impact test Specimen preparation								
T	Kerbschlagarbeit Impact energy KV / J	Mittelwert Average KV / J	Laterale Breitung Lateral expansion mm	Duktiler Bruchanteil Shear fracture %	WBH PWHT	Bemerkung Remarks				
-40°C	≥ 47									

The product BOEHLER EMK 6 meets the requirements of the filler metal specification ASME sec II, part C, AWS A5.18: ER70S-6 when tested in accordance with that specification. Produced according to AWS A5.01, class S3

Ort / Town
Kapfenberg

Datum / Date

21.06.2016

Dieses Zeugnis wurde maschinell erstellt und gilt auch ohne Unterschrift.
This certificate was issued by DP-equipment and does not require signature.

Abnahmebeauftragter / Authorized representative

Guglmeler

voestalpine
ONE STEP AHEAD.

BÖHLER UDDEHOLM

strany 1 / 1

Referent Lucie Plešichová
 Tel. 233 029 837 -
 Zakázka č. 4203031745
 Datum zakázky 26.09.2017
 Objednávka č. 4101671380
 Datum objednávky 26.09.2017
 Zákazník č. 183168
 Dodací podmínky Ze závodu
 Expedice Lagemax

ČEZ ENERGOSERVIS spol. s r.o.
 Obchod - 4203
 Bráfova 16
 674 01 Třebíč 1
 IČO: 60698101

Příjemce zboží:
 ČEZ ENERGOSERVIS spol. s r.o.
 sklad 725 658 486
 Areál JE Dukovany, sklad Heřmanice
 675 50 Dukovany

Potvrzení zakázky ze dne 26.09.2017

Platební podmínky: PP do 30 dnů

Požadovaný termín dodání: 06.10.2017

Pol.	Jakost, Rozměr, Množství	Jednotková cena		Celkem (CZK)
010	78071290 Böhler EMK 6 Průměr 1 mm náhodně vybrané délky 1.008,000 KG Potvrzený termín dodání: 06.10.2017	38,80 CZK	1 KG	39.110,40
Celkem netto				39.110,40
Dopravné				1.690,00
Balení - paušál				100,00
Základ daně				40.900,40
DPH				8.589,08
Zaokrouhlení				0,48-
Výsledná suma				49.489,00

Böhler Uddeholm CZ s.r.o.
 Evropská 423/178
 160 00 Praha 6

IČO: 25089501
 DIČ: CZ25089501

TEL.: +420 233 029 800
 FAX: +420 233 029 810
 E-MAIL: info@bohler-uddeholm.cz

BANKOVNÍ SPOJENÍ:
 ČSOB Praha 1
 Č. účtu: 144 223/0300

Jednatel: Tomáš Neuhöfer
 Registrace: MS v Praze
 oddíl C, vložka 46763



ZKOUŠKA PROZAŘOVÁNÍM

PROTOKOL č. J 03.20.R.00761

Identifikace zkoušeného objektu:

Název: Gestra odvod VT odlučováku TG31-levá
 Zařízení \ Systém \ DPS \ Výrobní číslo: 3.04.7.636.1 \ PT1 \ — \ —
 Zkoušená část: Svar+TOZ
 Blok \ Objekt \ Místnost \ Podlaží: 3 \ 490/1-02 \ Strojovna \ 0,0 m
 Základní materiál \ Rozměr svaru [mm]: C \ 89x5,6mm
 Požadavky na jakost: St.2 dle ČSN EN ISO 10675-1
 Závislé předpisy a vyhlášky: —
 Číslo zakázky: —
 Význam kontroly: Operativní kontrola
 Seznam příloh: Mapa vad

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky: 13.3.2020 až 14.3.2020
 Číslo pracovního příkazu: 32572432/06
 Standardy pro provedení \ hodnocení zkoušky: ČSN EN ISO 17636-1, ČEZ ME 1090 v platném znění, ČEZ-18-RT-001 v platném znění, RT-19-JE-0003 v platném znění \ ČSN EN ISO 10675-1
 Rozsah zkoušky: 100%
 Stav povrchu při zkoušce: kovově čistý
 Třída použité radiografické techniky \ podle: B \ ČSN EN ISO 17636-1
 Jakost radiogramů \ umístění měřky jakosti: W14 / 10 FEEN \ Na straně filmu
 Způsob použitého označení: Pb metr
 Způsob snímkování a uspořádání zkoušky: ČSN EN ISO 17636-1 - 7.1.8 obr.13 - prozařování přes dvě stěny, zdroj záření umístěn vně objektu, film na opačné straně, obraz jedné stěny, pro hodnocení stěny bližší k filmu.
 Vzdálenost zdroj - film \ expoziční doba: 150 mm \ 1 min, 10 sec.
 Parametry záření \ druh filtru: Se 75 (51 Ci, 3x3 mm) \ —
 Druh filmu \ rozměr \ zesilovací folie: AGFA D4 \ 10x16 cm \ Pb, 0,027 mm
 Způsob zpracování \ chemikálie: Automat \ AGFA vývojka a ustalovač

Zařízení pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: Oserix \ Se75 \ 1258 \ —

Prostředky pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: Densitometr \ SENSORAPID D \ 134054018156 \ 03/2021
 Negatoskop \ Kowolux X3 \ 134008019220 \ 08/2020

Hodnocení zkoušky:

Číslo svaru	Svářec	Typ svaru	Kat.svar.spoje Stupeň jakosti	Expozice	D \ IQI	Ref. číslo vady ISO 6520-1 [velikost vady v mm]	Díleč hodnocení	
							A	NA (vzdál. od počátku) [mm]
S490/20/1	S490	BW	st.2	0-50	3,1 \ W14	515 [40]		515 (10)
				50-100	3,3 \ W14	515 [10], 515 [10]		515 (50) 515 (85)
				100-150	3,2 \ W14	515 [20]		515 (105)
				150-200	3,2 \ W14	FD [0,2]	X	
				200-250	3,0 \ W14	515 [5]		515 (245)
				250-0	3,3 \ W14	515 [15]		515 (250)

PKZ č.: 3-SP-003051, p.č.7.4





ZKOUŠKA PROZAŘOVÁNÍM

PROTOKOL č. J 03.20.R.00760

Identifikace zkoušeného objektu:

Název: **Gestra odvod VT odlučovák TG31-levá**
 Zařízení \ Systém \ DPS \ Výrobní číslo: **3.04.7.636.1 \ PT1 \ — \ —**
 Zkoušená část: **Svar+TOZ**
 Blok \ Objekt \ Místnost \ Podlaží: **3 \ 490/1-02 \ Strojovna \ 0,0 m**
 Základní materiál \ Rozměr svaru [mm]: **C \ 89x5,6mm**
 Požadavky na jakost: **St.2 dle ČSN EN ISO 10675-1**
 Závazné předpisy a vyhlášky: **-----**
 Číslo zakázky: **—**
 Význam kontroly: **Operativní kontrola**
 Seznam příloh: **Mapa vad**

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky: **13.3.2020 až 14.3.2020**
 Číslo pracovního příkazu: **32572432/06**
 Standardy pro provedení \ hodnocení zkoušky: **ČSN EN ISO 17636-1, ČEZ ME 1090 v platném znění, ČEZ-18-RT-001 v platném znění, RT-19-JE-0003 v platném znění \ ČSN EN ISO 10675-1**
 Rozsah zkoušky: **100%**
 Stav povrchu při zkoušce: **kovově čistý**
 Třída použité radiografické techniky \ podle: **B \ ČSN EN ISO 17636-1**
 Jakost radiogramů \ umístění měřky jakosti: **W14 / 10 FEEN \ Na straně filmu**
 Způsob použitého označení: **Pb metr**
 Způsob snímkování a uspořádání zkoušky: **ČSN EN ISO 17636-1 - 7.1.8 obr.13 - prozařování přes dvě stěny, zdroj záření umístěn vně objektu, film na opačné straně, obraz jedné stěny, pro hodnocení stěny bližší k filmu.**
 Vzdálenost zdroj - film \ expoziční doba: **150 mm \ 1 min, 10 sec.**
 Parametry záření \ druh filtru: **Se 75 (51 Ci, 3x3 mm) \ ---**
 Druh filmu \ rozměr \ zesilovací folie: **AGFA D4 \ 10x16 cm \ Pb, 0,027 mm**
 Způsob zpracování \ chemikálie: **Automat \ AGFA vývojka a ustalovač**

Zařízení pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: **Oserix \ Se75 \ 1258 \ —**

Prostředky pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: **Densitometr \ DENSORAPID D \ 134054018156 \ 03/2021**
Negatoskop \ Kowolux X3 \ 134008019220 \ 08/2020

Hodnocení zkoušky:

Číslo svaru	Svářeč	Typ svaru	Kat.svar. spoje Stupeň jakosti	Expozice	D \ IQI	Ref. číslo vady ISO 6520-1 [velikost vady v mm]	Dílčí hodnocení	
							A	NA (vzdál. od počátku) [mm]
S490/20/2	S490	BW	st.2	0-50	3,3 \ W14	515 [50]		515 (0)
				50-100	3,3 \ W14	515 [40]		515 (50)
				100-150	3,3 \ W14		X	
				150-200	3,3 \ W14	515 [40]		515 (160)
				200-250	3,3 \ W14	515 [50]		515 (200)
				250-0	3,3 \ W14	515 [0]		515 (250)

PKZ č.: 3-SP-003051, p.č.7.4





ZKOUŠKA PROZAŘOVÁNÍM

PROTOKOL č. J 03.20.R.00759

Identifikace zkoušeného objektu:

Název:	Gestra odvod VT odlučováku TG31-levá
Zařízení \ Systém \ DPS \ Výrobní číslo:	3.04.7.636.1 \ PT1 \ — \ —
Zkoušená část:	Svar+TOZ
Blok \ Objekt \ Místnost \ Podlaží:	3 \ 490/1-02 \ Strojovna \ 0,0 m
Základní materiál \ Rozměr svaru [mm]:	C \ 89x5,6mm
Požadavky na jakost:	St.2 dle ČSN EN ISO 10675-1
Závazné předpisy a vyhlášky:	-----
Číslo zakázky:	—
Význam kontroly:	Operativní kontrola
Seznam příloh:	Mapa vad

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky:	14.3.2020 až 15.3.2020
Číslo pracovního příkazu:	32572432/06
Standardy pro provedení \ hodnocení zkoušky:	ČSN EN ISO 17636-1, ČEZ ME 1090 v platném znění, ČEZ-18-RT-001 v platném znění, RT-19-JE-0003 v platném znění \ ČSN EN ISO 10675-1
Rozsah zkoušky:	100%
Stav povrchu při zkoušce:	kovově čistý
Třída použité radiografické techniky \ podle:	B \ ČSN EN ISO 17636-1
Jakost radiogramů \ umístění měrky jakosti:	W14 / 10 FEEN \ Na straně filmu
Způsob použitého označení:	Pb metr
Způsob snímkování a uspořádání zkoušky:	ČSN EN ISO 17636-1 - 7.1.8 obr.13 - prozařování přes dvě stěny, zdroj záření umístěn vně objektu, film na opačné straně, obraz jedné stěny, pro hodnocení stěny bližší k filmu.
Vzdálenost zdroj - film \ expoziční doba:	150 mm \ 1 min, 10 sec.
Parametry záření \ druh filtru:	Se 75 (51 Cl, 3x3 mm) \ ---
Druh filmu \ rozměr \ zesilovací folie:	AGFA D4 \ 10x16 cm \ Pb, 0,027 mm
Způsob zpracování \ chemikálie:	Automat \ AGFA vývojka a ustalovač

Zařízení pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: Oserix \ Se75 \ 1258 \ —

Prostředky pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: Densitometr \ DENSORAPID D \ 134054018156 \ 03/2021
Negatoskop \ Kowolux X3 \ 134008019220 \ 08/2020

Hodnocení zkoušky:

Číslo svaru	Svářec	Typ svaru	Kat.svar. spoje Stupeň jakosti	Expozice	D \ IQI	Ref. číslo vady ISO 6520-1 [velikost vady v mm]	Dílčí hodnocení	
							A	NA (vzdál. od počátku) [mm]
S490/20/3	S490	BW	st.2	0-50	3,1 \ W14	FD [0,4]	X	
				50-100	3,2 \ W14	5041 [5], 515 [20]		515 (80)
				100-150	3,1 \ W14	515 [50]		515 (100)
				150-200	3,2 \ W14	515 [40]		515 (150)
				200-250	3,2 \ W14		X	
				250-0	3,1 \ W14		X	

PKZ č.: 3-SP-003051, p.č.7.4



Archivní označení: J 03.20.R.00759



Strana 1



ZKOUŠKA PROZAŘOVÁNÍM

PROTOKOL č. J 03.20.R.00758

Identifikace zkoušeného objektu:

Název: Gestra odvod VT odlučovák TG31-levá
Zařízení \ Systém \ DPS \ Výrobní číslo: 3.04.7.636.1 \ PT1 \ — \ —
Zkoušená část: Svar+TOZ
Blok \ Objekt \ Místnost \ Podlaží: 3 \ 490/1-02 \ Strojovna \ 0,0 m
Základní materiál \ Rozměr svaru [mm]: C \ 89x5,6mm
Požadavky na jakost: St.2 dle ČSN EN ISO 10675-1
Závazné předpisy a vyhlášky: —
Číslo zakázky: —
Význam kontroly: Operativní kontrola
Seznam příloh: Mapa vad

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky: 14.3.2020 až 15.3.2020
Číslo pracovního příkazu: 32572432/06
Standardy pro provedení \ hodnocení zkoušky: ČSN EN ISO 17636-1, ČEZ ME 1090 v platném znění, ČEZ-18-RT-001 v platném znění, RT-19-JE-0003 v platném znění \ ČSN EN ISO 10675-1
Rozsah zkoušky: 100%
Stav povrchu při zkoušce: kovově čistý
Třída použité radiografické techniky \ podle: B \ ČSN EN ISO 17636-1
Jakost radiogramů \ umístění měřky jakosti: W14 / 10 FEEN \ Na straně filmu
Způsob použitého označení: Pb metr
Způsob snímkování a uspořádání zkoušky: ČSN EN ISO 17636-1 - 7.1.8 obr.13 - prozařování přes dvě stěny, zdroj záření umístěn vně objektu, film na opačné straně, obraz jedné stěny, pro hodnocení stěny bližší k filmu.
Vzdálenost zdroj - film \ expoziční doba: 150 mm \ 1 min, 10 sec.
Parametry záření \ druh filtru: Se 75 (51 Ci, 3x3 mm) \ ---
Druh filmu \ rozměr \ zesilovací folie: AGFA D4 \ 10x16 cm \ Pb, 0,027 mm
Způsob zpracování \ chemikálie: Automat \ AGFA vývojka a ustalovač

Zařízení pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: Oserix \ Se75 \ 1258 \ —

Prostředky pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do: Densitometr \ DENSORAPID D \ 134054018156 \ 03/2021
 Negatoskop \ Kowolux X3 \ 134008019220 \ 08/2020

Hodnocení zkoušky:

Číslo svaru	Svářec	Typ svaru	Kat.svar. spoje Stupeň jakosti	Expozice	D \ IQI	Ref. číslo vady ISO 6520-1 [velikost vady v mm]	Díleč hodnocení	
							A	NA (vzdál. od počátku) [mm]
S490/204	S490	BW	st.2	0-50	3,1 \ W14	515 [20]		515 (0)
				50-100	3,0 \ W14		X	
				100-150	3,1 \ W14	FD [0,2]	X	
				150-200	3,1 \ W14	515 [40]		515 (150)
				200-250	3,2 \ W14	515 [10]		515 (240)
				250-0	3,2 \ W14	515 [40]		515 (200)

PKZ č.: 3-SP-003051, p.č.7.4



Archivní označení: J 03.20.R.00758



Strana 1



ZKOUŠKA PROZAŘOVÁNÍM

PROTOKOL č. J 03.20.R.00757

Identifikace zkoušeného objektu:

Název:

Zařízení \ Systém \ DPS \ Výrobní číslo:

Zkoušená část:

Blok \ Objekt \ Místnost \ Podlaží:

Základní materiál \ Rozměr svaru [mm]:

Požadavky na jakost:

Závazné předpisy a vyhlášky:

Číslo zakázky:

Význam kontroly:

Seznam příloh:

Gestra odvod VT odlučovák TG31-levá

3.04.7.636.1 \ PT1 \ — \ —

Svar+TOZ

3 \ 490/1-02 \ Strojovna \ 0,0 m

C \ 89x5,6mm

St.2 dle ČSN EN ISO 10675-1

—

Operativní kontrola

Mapa vad

Specifikace zkoušky:

Datum provedení zkoušky:

Číslo pracovního příkazu:

Standardy pro provedení \ hodnocení zkoušky:

Rozsah zkoušky:

Stav povrchu při zkoušce:

Třída použité radiografické techniky \ podle:

Jakost radiogramů \ umístění měřky jakosti:

Způsob použitého označení:

Způsob snímkování a uspořádání zkoušky:

Vzdálenost zdroj - film \ expoziční doba:

Parametry záření \ druh filtru

Druh filmu \ rozměr \ zesilovací folie

Způsob zpracování \ chemikálie

14.3.2020 až 15.3.2020

32572432/06

ČSN EN ISO 17636-1, ČEZ ME 1090 v platném znění, ČEZ-18-RT-001 v

platném znění, RT-19-JE-0003 v platném znění \ ČSN EN ISO 10675-1

100%

kovově čistý

B \ ČSN EN ISO 17636-1

W14 / 10 FEEN \ Na straně filmu

Pb metr

ČSN EN ISO 17636-1 - 7.1.8 obr.13 - prozařování přes dvě stěny, zdroj záření umístěn vně objektu, film na opačné straně, obraz jedné stěny, pro hodnocení stěny bližší k filmu.

150 mm \ 1 min, 10 sec.

Se 75 (51 Ci, 3x3 mm) \ ---

AGFA D4 \ 10x16 cm \ Pb, 0,027 mm

Automat \ AGFA vývojka a ustalovač

Zařízení pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do:

Prostředky pro zkoušku:

Název \ Typ \ Výrobní číslo \ Kalibrace do:

Oserix \ Se75 \ 1258 \ —

Densitometr \ DENSORAPID D \ 134054018156 \ 03/2021

Negatoskop \ Kowolux X3 \ 134008019220 \ 08/2020

Hodnocení zkoušky:

Číslo svaru	Svářec	Typ svaru	Kat.svar. spoje Stupeň jakosti	Expozice	D \ IQI	Ref. číslo vady ISO 6520-1 [velikost vady v mm]	Dílčí hodnocení	
							A	NA (vzdál. od počátku) [mm]
S490/20/5	S490	BW	st.2	0-50	3,4 \ W14	515 [50]		515 (0)
				50-100	3,4 \ W14	515 [50]		515 (50)
				100-150	3,4 \ W14	515 [40]		515 (100)
				150-200	3,3 \ W14		X	
				200-250	3,4 \ W14	515 [10]		515 (240)
				250-0	3,4 \ W14	515 [40]		515 (250)

PKZ č.: 3-SP-003051, p.č.7.4



Hydraulický zkušební stroj ZD40 /400kN/

Stroj umožňuje provádět tahové, tlakové a ohybové zkoušky materiálů do 400 kN s řízením rychlosti zatěžování a programovým zpracováním zkoušek. Je vybaven vestaveným inkrementálním délkovým snímačem polohy příčniku s rozlišením 0,01 mm a snímačem síly s řídicí jednotkou EDC 60.

Řídicí jednotka EDC 60 je vysoce precizní elektronické zařízení speciálně konstruované pro řízení servo-hydraulických zkušebních strojů. Je vyráběna speciálně pro aplikace řízení zkušebních strojů a využívají ji přední evropští výrobci universálních zkušebních strojů. Jednotka je opatřena programem pro zkoušky kovů s možností provádět zkoušky bez PC u jednoduchých aplikací bez použití průtahoměru.

Technické parametry:

- Výrobce: HBM /SRN/
- Měřicí rozsah: 8 | 400 kN
- Chyba měření síly: 1/100 jmenovitého rozsahu síly, tj. $\pm 1\%$ - odpovídá třídě přesnosti 1
- Měřicí rozsah měření dráhy: 0 | 280 mm
- Chyba měření dráhy: $\pm 0,01$ mm
- sériové rozhraní RS 232 pro komunikaci s nadřazeným PC COM1 pro PC s FIFO s maximální rychlostí 115 KB
- inkrementální vstup pro napojení snímače dráhy



Zkušební stroj ZD40



Řídicí jednotka EDC 60

Počítač je vybaven programem M-TEST v.1.7 pro tahovou, tlakovou a ohybovou zkoušku kovových materiálů dle EN 10001-2 s vyhodnocením výsledků, grafickým zpracováním.