



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

SVAŘOVACÍ VLASTNOSTI INVERTOROVÉHO ZDROJE OMICRON GAMA 160

WELDING CHARACTERISTIC OF SOURCE OMICRON GAMA 160

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

MICHAL KOUDELA

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

ING. JAROSLAV KUBÍČEK

BRNO 2013

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Michal Koudela

který/která studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

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:

Svařovací vlastnosti invertorového zdroje Omicron Gama 160

v anglickém jazyce:

Welding characteristic of source Omicron Gama 160

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Současné svařovací zdroje mají díky vysokofrekvenční transformaci proudu velmi malé rozměry i hmotnost. Svařovací parametry a možnosti regulace parametrů během svařování jsou velmi dobré. Jedním z těchto zdrojů je i typ Omicron Gama 160 českého výrobce Kuhlreiber.

Cíle bakalářské práce:

- 1) Princip invertorových zdrojů a parametry zdroje Omicron Gama 160.
- 2) Experimentem ověřit možné svařovací polohy, volbu vhodné elektrody a parametry svařování.
- 3) Na základě experimentu vypracovat základní technologické postupy svařování - WPS pro různé druhy elektrod.
- 4) Definice nejčastější vady svarů a postupy jak jim předejít.
- 5) Závěrečné hodnocení zdroje Omicron Gama 160.

Seznam odborné literatury:

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

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Jaroslav Kubíček

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2012/2013.

V Brně, dne 20.11.2012

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

KOUDELA Michal: Svařovací vlastnosti invertorového zdroje Omicron Gama 160

Tato bakalářská práce se zabývá svařovacími vlastnostmi invertorového zdroje Omicron Gama 160. Práce je rozdělena na část teoretickou a experimentální, teoretická část se věnuje elektrickému oblouku, rozdělení a popisu svařovacích zdrojů, zejména pak zdroji Omicron Gama 160. Dále je zde popsána problematika volby vhodné elektrody, svařovacích parametrů a definice nejčastějších vad svarů včetně postupů jak jim předejít. Druhou část tvoří experimentální ověření volby vhodné elektrody a svařovacích parametrů. Na základě experimentu byly vypracovány specifikace svařovacího postupu WPS. Experimentem bylo ověřeno, že v případě svařovacího zdroje Omicron Gama 160 se jedná o stroj s dobrým poměrem cena výkon vhodným například pro montáže a svařovací práce v domácí dílně.

Klíčová slova: Omicron Gama 160, svařování, obalená elektroda, WPS

ABSTRACT

KOUDELA Michal: Welding characteristic of source Omicron Gama 160

This bachelor's thesis deals with the welding properties of the Omicron Gama 160 inverter power supply. The thesis is divided into the theoretical and the experimental parts; the theoretical part deals with the electric arc and the division and description of welding power supplies, especially the Omicron Gama 160. In addition it describes the issues of the selection of suitable electrode and welding parameters and the definitions of the most frequent welding defects including the procedures to prevent them. The second part consists of the experimental verification of the suitable electrode and welding parameters selection. On the basis of the experiment there were elaborated the welding procedure specifications (WPS). The experiment verified that the Omicron Gama 160 power supply is a machine with good price/performance ratio, suitable e. g. for assembly and welding works in a home workshop.

Keywords: Omicron Gama 160, welding, coated electrode, WPS

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOUDELA Michal: Svařovací vlastnosti invertorového zdroje Omicron Gama 160. Brno, 2013. 31 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Ing. 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 Brně dne 24. 5. 2013

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce a také panu Petru Šoulákovi z firmy Fronius Česká republika s.r.o. za pomoc při svařování vzorků.

Obsah

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Úvod	9
1 Základní vlastnosti svařovacích zdrojů a vlastnosti zdroje Omicron Gama 160	10
1.1 Elektrický oblouk	10
1.1.1 Části elektrického oblouku.....	10
1.1.2 Voltampérová charakteristika	11
1.2 Zdroje proudu pro svařování elektrickým obloukem	12
1.2.1 Požadavky na svařovací zdroje	12
1.2.2 Rozdělení svařovacích zdrojů	13
1.2.3 Popis jednotlivých typů svařovacích zdrojů	13
1.3 Vlastnosti svařovacího zdroje Omicron Gama 160.....	14
2 Svařovací polohy, volba vhodné elektrody, svařovací parametry	16
2.1 Elektrody	16
2.1.1 Funkce obalu elektrod	16
2.1.2 Rozdělení elektrod	17
2.1.3 Vlastnosti základních typů obalů elektrod	18
2.1.4 Označování elektrod	18
2.1.5 Volba vhodné elektrody	19
2.1.6 Sušení a skladování elektrod	19
2.2 Polohy svařování	20
2.3 Parametry svařování	21
3 Experimentální ověření svařovacích poloh, volby elektrody a svařovacích parametrů... ..	22
3.1 Příprava svařovaného materiálu	22
3.2 Použitý přídavný materiál.....	22
3.3 Svařené vzorky	23
3.4 Zhodnocení svařování vzorků	26
3.5 Stanovení WPS na základě experimentu	26
4 Nejčastější vady svarů a postupy jak jim předejít	27
4.1 Příčiny vzniku vad a jak jim předejít.....	27
5 Zhodnocení svařovacího zdroje Omicron Gama 160.....	30
6 Závěr.....	31

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

Seznam obrázků a tabulek

Seznam příloh

ÚVOD [7], [8]

Svařováním kovů a jejich slitin vznikají nerozebíratelná spojení pomocí soustředěného tepla, nebo tlaku popřípadě kombinací obojího. Při svařování může a nemusí být použit přídavný materiál stejného nebo podobného chemického složení a se stejnou nebo podobnou teplotou tavení jako spojované materiály. Dlouhá staletí existovalo pouze kovářské svařování, až koncem 19. století se začaly rozvíjet metody svařování elektrickým obloukem, plamenem a odporové svařování. V roce 1881 použil Auguste de Meritens uhlíkovou elektrodu k obloukovému svařování olověných desek. Jako zdroj svařovacího proudu použil de Meritens akumulátorové baterie. Obalenou elektrodu vynalezl a poprvé použil švédský inženýr a zakladatel společnosti ESAB Oscar Kjellberg v roce 1907. Přestože ruční obloukové svařování je nejstarší metoda svařování elektrickým obloukem, je díky své univerzálnosti a možnosti svařovat ve všech polohách, dokonce i pod vodou, stále hojně využívána. Vzhledem k potřebě provádět při údržbě domu a jeho okolí opravy a renovace svařováním, případně vyrábět nové svařované konstrukce, jsem si zakoupil invertorový svařovací zdroj Omicron Gama 160. Jelikož se jedná o můj první svařovací zdroj a nemám příliš velké zkušenosti s ručním svařováním obalenou elektrodou, chtěl bych si prostřednictvím této bakalářské práce ověřit svařovací vlastnosti tohoto zdroje a osvětlit si problematiku volby vhodné elektrody a svařovacích parametrů.



Svařovací zdroj Omicron Gama 160 [6]

1 ZÁKLADNÍ VLASTNOSTI SVAŘOVACÍCH ZDROJŮ

A VLASTNOSTI ZDROJE OMICRON GAMA 160 [1], [7], [8]

1.1 Elektrický oblouk [7], [8]

Svařování elektrickým obloukem se řadí mezi technologii tavného svařování. Elektrický oblouk používaný při svařování jako zdroj tepla, je nízkonapěťový elektrický vysokotlaký výboj, který hoří mezi elektrodou a základním materiálem v prostředí ionizovaného plynu. Pro stabilní hoření oblouku je nutné dosáhnout dostatečného napětí pro ionizaci daného prostředí a proudu, který udrží plazma v ionizovaném stavu.

Typické znaky elektrického oblouku při svařování:

- malý anodový úbytek napětí
- malý potenciální rozdíl na elektrodách
- proud řádově ampéry až tisíce ampér
- velká proudová hustota katodové skvrny
- intenzivní vyzařování světelného záření z elektrod i sloupce oblouku
- intenzivní vyzařování UV záření

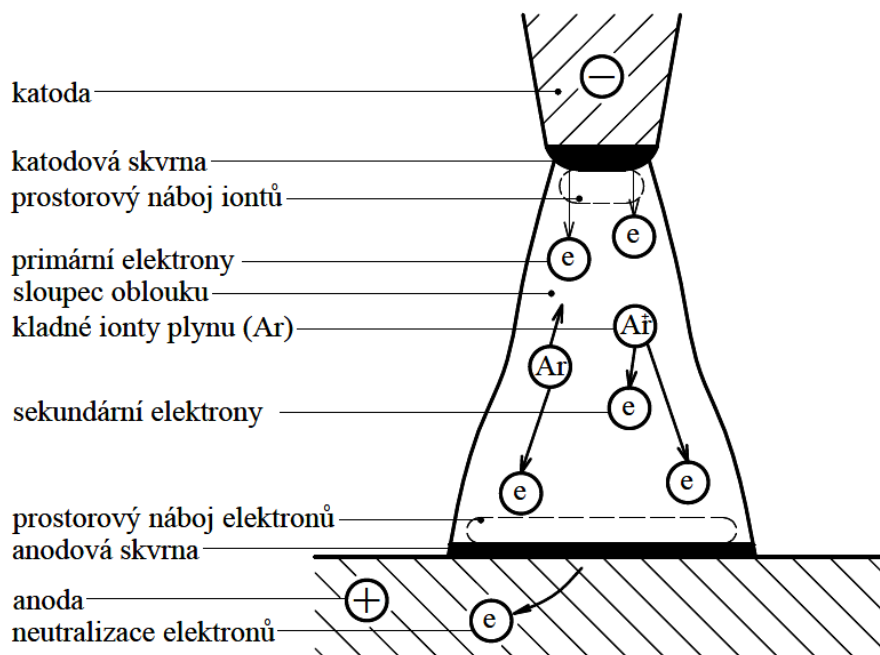
Pro svařování elektrickým obloukem se používá proud v rozsahu 10 až 2000 A, při napětí na oblouku 10 až 50 V. Při hoření oblouku v něm probíhají různé fyzikální a metalurgické děje velkou rychlostí a teplota oblouku dosahuje okolo 5000 °C. Průběh a vlastnosti těchto dějů jsou ovlivněny různými faktory, zejména chemickým složením plazmatu, materiálem elektrod a jejich obalu, částečně okolní atmosférou, tepelnou vodivostí plazmatu, elektrody, základního materiálu atd.

Oblouk se zapaluje při napětí zdroje naprázdno, které je obvykle vyšší než napětí při ustáleném hoření oblouku. Zápalné napětí je závislé na materiálu elektrod a ionizační schopnosti prostředí. Při ručním svařování obalenou elektrodou (ale i při svařování metodou APT nebo MIG, MAG) se zapálení oblouku provádí při nastaveném svařovacím proudu krátkodobým dotykem elektrody a základního materiálu. Místo dotyku je při zkratovém proudu ohřáto elektrickým odporem na vysokou teplotu. Díky tomu začne probíhat termoemise primárních elektronů, což umožní vedení elektrického proudu v plynu jeho ionizací. Oddalováním elektrody se rozvíjí oblouk a zvyšuje se odtavování a odpaření části kovu dostatečné pro vytvoření stabilního sloupce oblouku.

1.1.1 Části elektrického oblouku [7], [8]

Pro popis jednotlivých částí oblouku je nejvhodnější stejnosměrný oblouk hořící mezi wolframovou elektrodou a základním materiálem v argonovém ochranném prostředí, protože oblouk zde hoří velice stabilně za stáلهo napětí i proudu.

Katodová skvrna je buďto, stabilní, nebo po povrchu katody se přemisťující ostře ohraničená oblast. Tato skvrna emituje pomocí termické emise prvotní elektrony, které jsou nezbytné pro zapálení oblouku a ionizování plynného prostředí. V oblasti katodového úbytku napětí, která přiléhá ke katodové skvrně, získávají elektrony velkou kinetickou energii, díky které při srážkách ionizují neutrální atomy na kladné ionty a sekundární elektrony. Katodová skvrna má teplotu přibližně 2600 °C.



Obr. 1.1 Části elektrického oblouku [8]

Sloupec oblouku se nazývá prostor mezi elektrodami, v němž se teplota při ručním svařování obalenou elektrodou pohybuje okolo 5000 °C. Tato oblast je tvořena ionizovaným plynem ve formě plazmy, úbytek napětí je zde rovnoměrný. Proudová hustota je v oblasti sloupce oblouku rozložena ve tvaru Gaussova normálního rozložení. Elektrony vyskytující se ve sloupci plazmatu se pohybují od katody k anodě, zatímco kladné ionty se pohybují naopak.

Anodové skvrně předchází těsně přiléhající oblast anodového úbytku napětí, ve které také dochází k prudkému úbytku napětí. Samotná anodová skvrna je oblast na anodě, kterou jsou neutralizovány a odváděny dopadající záporné částice. Kinetická energie dopadajících částic se zde přeměňuje na tepelnou a částečně i na elektromagnetické záření. V oblasti anodové skvrny je teplota cca 3000 °C, což většinou přesahuje teplotu varu svařovaných materiálů. Znárodnění elektrického oblouku a popis jeho částí je na obr. 1.1.

1.1.2 Voltampérová charakteristika [7], [8]

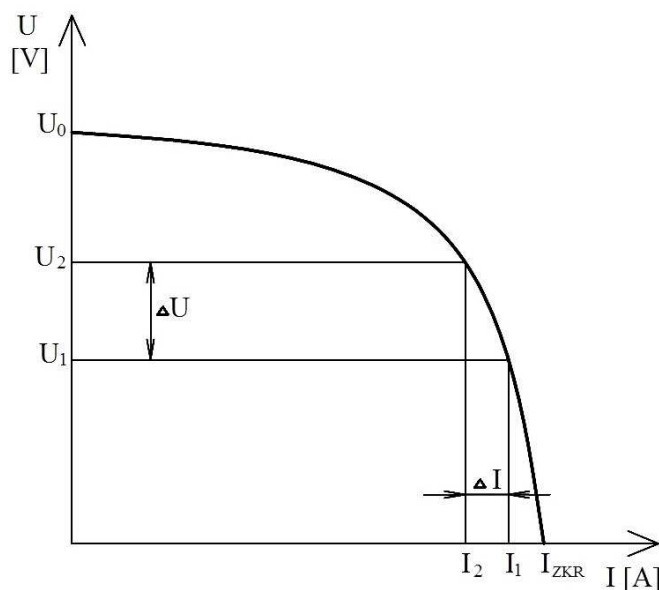
Nedílnou součástí teorie elektrického oblouku jsou charakteristiky oblouku, zejména voltampérová charakteristika. Voltampérová charakteristika elektrického oblouku, která je někdy nazývaná statickou charakteristikou, je závislost proudu na napětí oblouku při konstantní délce oblouku. Protože tvar a poloha charakteristiky závisí na různých faktorech, jako je například chemické složení elektrody, složení plazmy v oblouku, průměr elektrody atd., zavádí se někdy standartní statická charakteristika oblouku:

$$U = 20 + 0,04I \text{ [V]}, \quad (1.1)$$

kde U – velikost napětí na oblouku
 I – velikost svařovacího proudu

Každá svařovací metoda vyžaduje jinou statickou charakteristiku. Ruční svařování obalenou elektrodou vyžaduje použití zdroje, jehož statická charakteristika má klesající tendenci. Jinak řečeno, nejvyšší napětí je napětí naprázdno U_0 a toto napětí klesá s přibývajícím proudem. Průsečík statické charakteristiky s vodorovnou osou I_{ZKR} udává zkratový proud, což je nejvyšší proud svařovacího zdroje. Strmá charakteristika zdroje zajišťuje, že při relativně velkém kolísání napětí na oblouku, se proud mění pouze nepatrně,

což je u ručního svařování obalenou elektrodou značně výhodné, protože délka oblouku není stále stejná např. kvůli chvění ruky svářeče, viz obr 1.2.



Obr. 1.2 Strmá voltampérová charakteristika [8]

1.2 Zdroje proudu pro svařování elektrickým obloukem [7], [8]

Zdroje svařovacího proudu dodávají do uzavřeného svařovacího obvodu elektrický proud vhodných parametrů potřebný pro zapálení a hoření elektrického oblouku.

1.2.1 Požadavky na svařovací zdroje [7], [8]

Svařovací zdroje pro svařování elektrickým obloukem musí splňovat tyto požadavky:

- dobré zapalování oblouku a stabilní oblouk
- plynulá a jemná regulace svařovacího proudu, případně i napětí tak, jak to vyžaduje daná metoda svařování
- stálý výkon a vysoká účinnost
- napětí naprázdno musí odpovídat druhu proudu, způsobu svařování a prostředí, ve kterém se svařuje, zároveň nesmí být vyšší než přípustné hodnoty
- statická charakteristika musí odpovídat způsobu svařování
- musí mít odolnost proti krátkodobým zkratům při zkratovém přenosu kovu z elektrody
- dynamická charakteristika musí zajistit po zkratu rychlý nárůst svařovacího napětí
- konstrukce musí zajistit bezpečnost provozu v souladu s platnými normami a předpisy
- jednoduchá a nenáročná obsluha
- vysoká provozní spolehlivost, snadná detekce závad a jejich rychlé odstranění
- přiměřené pořizovací a nízké provozní náklady

Svařovací zdroje musí splňovat požadavky technologie svařování a bezpečnostních předpisů. Zdroje jsou stavěny pro jmenovité napájecí napětí fázové (230 V 50 Hz) nebo napětí sdružené (400 V 50 Hz), případně napětí třífázové (3 x 400 V 50 Hz).

Pro prostředí bez zvýšeného nebezpečí úrazu elektrickým proudem může být špičková hodnota napětí naprázdno pro stejnosměrné zdroje proudu maximálně 113 V. U zdrojů střídavého svařovacího proudu je přípustná hodnota špičkového napětí naprázdno maximálně 113 V a efektivní hodnota napětí maximálně 80 V.

1.2.2 Rozdělení svařovacích zdrojů [7], [8]

Svařovací zdroje pro obloukové svařování se dělí podle způsobu přeměny energie na:

- zdroje rotační (svařovací dynamo)
- zdroje statické, netočivé (svařovací transformátory, usměřovače, měniče)

Podle druhu dodávaného proudu se svařovací zdroje dělí na:

- zdroje stejnosměrného proudu (svařovací dynamo)
- zdroje usměrněného proudu (svařovací usměřovače, měniče)
- zdroje střídavého proudu (svařovací transformátory)

Svařovací zdroje statické (netočivé) se dělí na:

- zdroje se síťovým transformátorem
 - zdroje střídavého proudu
 - svařovací transformátory
 - zdroje stejnosměrného proudu:
 - svařovací usměřovače neřízené
 - svařovací usměřovače řízené
- zdroje bez síťového transformátoru
 - svařovací měniče (invertory)

1.2.3 Popis jednotlivých typů svařovacích zdrojů [7], [8]

Rotační svařovací zdroje jsou ve většině případů tvořeny svařovacím dynamem a generují stejnosměrný proud. Dynamo je poháněno zpravidla elektromotorem, nejčastěji třífázovým asynchronním, případně spalovacím motorem, pro použití tam, kde není možnost připojení k elektrické síti. Svařovací dynamo a motor jsou konstrukčně vyřešeny jako jeden celek na společném podvozku, čímž tvoří svařovací agregát. Strmá statická charakteristika a měkký oblouk svařovacího dynamu jsou parametry vhodné pro ruční svařování obalenou elektrodou a také pro svařování metodou WIG případně MIG/MAG. Plynulou změnu regulace svařovacího proudu zajišťuje změna buzení magnetického pole statoru. Regulátor pro nastavování svařovacího proudu může být umístěn na svařovací agregát nebo vyveden na dálkovém ovládní. Rotační svařovací zdroje vyrábějí elektrický proud indukci ve vodičích kotvy (rotoru), otáčející se v elektromagnetickém poli statorového vinutí. Rotační svařovací zdroje v současnosti neodpovídají ekonomickým požadavkům a nesplňují současná kritéria efektivity svarového spoje. Mezi nevýhody těchto zdrojů patří především velká hmotnost, hlučnost a také vysoká spotřeba elektrické energie způsobená poměrně velkými ztrátami při chodu naprázdno.

Svařovací transformátor pro obloukové svařování zpravidla produkuje jednofázový střídavý proud. Základními prvky transformátoru jsou železné jádro složené z tenkých ocelových plechů, primární a sekundární cívka, jejichž vinutí je z izolovaných měděných nebo hliníkových vodičů. Vinutí primární cívky je připojeno k síti a protéká jím tedy střídavý proud, který indukuje střídavé elektromagnetické pole procházející především železným jádrem transformátoru. Díky tomu se ve vinutí sekundární cívky indukuje střídavé napětí. V uzavřeném svařovacím obvodu toto napětí vyvolá vznik sekundárního (svařovacího) proudu. Svařovací proud je možné regulovat stupňovitě nebo plynule. Regulace se provádí dle konstrukčního uspořádání transformátoru např. vzájemným posunem primárního a sekundárního vinutí proti sobě, rozptylovým jádrem, tlumivkou nebo změnou počtu závitů v primárním nebo sekundárním vinutí. Statická zatěžovací charakteristika svařovacího transformátoru je mírně klesající a jsou vhodné pro ruční svařování obalenou elektrodou, možné je i použití pro metodu WIG. Oproti rotačním svařovacím zdrojům mají svařovací transformátory nízkou spotřebu při chodu naprázdno a lepší účinnost.

Svařovací usměrňovač poskytuje stejnosměrný (usměrněný) proud. Usměrnění proudu probíhá pomocí příslušných usměrňovacích prvků, které jsou zapojeny v sekundárním obvodu transformátoru. Pro vstupní napětí fázové, případně sdružené, jsou transformátory jednofázové, při vstupním napětí třífázovém, jsou transformátory třífázové. Prvky, které provádějí usměrnění proudu, jsou tvořeny polovodičovými křemíkovými diodami nebo tyristory. Výstupní usměrněné napětí je u jednofázového usměrňovače relativně hodně zvlněné, frekvence zvlnění je dvojnásobek síťové frekvence. V případě třífázového usměrňovače je výstupní napětí zvlněno podstatně méně a jeho frekvence je šestinásobkem síťové frekvence. Svařovací usměrňovač lze použít jako zdroj stejnosměrného ale i střídavého svařovacího proudu. Ve srovnání s rotačními zdroji svařovacího proudu mají svařovací usměrňovače v důsledku menších ztrát nižší spotřebu elektrické energie, tišší chod, vyšší účinnost, menší hmotnost a dobré svařovací vlastnosti. Výhodou jsou také dobré dynamické vlastnosti. Vhodné nastavení zatěžovací charakteristiky a regulace svařovacího proudu se uskutečňuje pomocí regulační tlumivky, tyristorového řízení, analogové tranzistorové řízení nebo taktovaného tranzistorového řízení.

Invertorové svařovací zdroje jsou v současné době nejprogresivnější koncepcí mezi moderními svařovacími zdroji. Tyto zdroje jsou primárně řízené s výkonovými tranzistory, které pracují na principu středofrekvenčních měničů (střídačů) o frekvenci 20 až 100 kHz. Invertorové zdroje se vyznačují tím, že v energetickém řetězci je transformátor umístěn až za spínacím tranzistorem. Toto uspořádání je použito kvůli závislosti hmotnosti a objemu transformátoru na jeho pracovní frekvenci. Protože platí, čím vyšší frekvence, tím menší objem a hmotnost, mají invertorové zdroje malou hmotnost a rozměry, aniž by se to projevilo na jejich výkonnosti. Jednou z dalších výhod je vysoká elektrická účinnost, která dosahuje hodnoty až 90 %. Pro využití vysoké taktovací frekvence je potřeba usměrnit střídavé napětí. Za primárním usměrňovačem se stejnosměrné napětí prostřednictvím tranzistorového spínače přemění na vysokou frekvenci. Následně se výstupní napětí transformátoru ještě usměrní. Velmi důležitou částí celého zařízení je řídicí elektronická jednotka, která se stará o vzájemnou součinnost funkčních bloků svařovacího zdroje, kontroluje, zda zařízení pracuje správně a může zároveň sloužit jako knihovna programů. Komunikace s obsluhou probíhá pomocí displeje, kde je možné nastavit a kontrolovat parametry svařování. Výkonnější zařízení umožňují pomocí výstupu pro periferní zařízení pořizovat trvalý záznam průběžně sledovaných vybraných parametrů svařovacího procesu.

Konstrukce a princip fungování invertorových svařovacích zdrojů umožňuje:

- vysoký a stabilní svařovací výkon
- optimálně nastavitelné statické charakteristiky pro určité režimy svařování
- jednoduchou a nenáročnou obsluhu
- universálnost použití
- možnost výstupu pro počítačové zpracování dat při řízení a kontrole jakosti
- vysokou provozní spolehlivost, případnou snadnou detekci závad a jejich rychlé odstranění
- přiměřené pořizovací a nízké provozní náklady

1.3 Vlastnosti svařovacího zdroje Omicron Gama 160 [1], [8]

Gama 160 je svářecí invertor určený k ručnímu svařování obalenou elektrodou a svařování metodou TIG. Vzhledem k určení se tedy jedná o zdroj se strmou statickou charakteristikou. Stroj Gama 160 je jednofázový přenosný invertorový zdroj svařovacího proudu, chráněný proti přetížení účinnou nadproudovou ochrannou. Gama 160 je zařízení určené především do menší výroby, údržby, či na montáže.

K elektronickým funkcím tohoto zdroje patří funkce HOTSTART pro snadnější zapálení oblouku. Princip této funkce spočívá v tom, že při zahájení svařování dojde na omezený čas ke zvýšení svařovacího proudu. Po uplynutí tohoto času se svařovací proud automaticky sníží

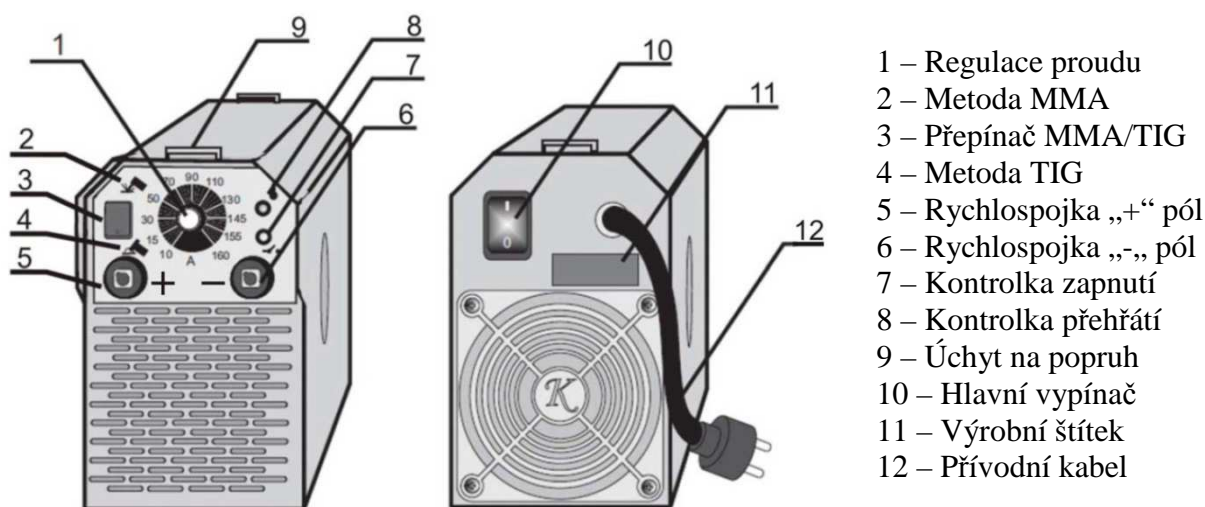
na přednastavenou hodnotu. Tímto dojde na začátku svařování k rychlému ohřátí svařovaného materiálu, což zabraňuje vzniku studených spojů. Další funkcí je ANTISTICK zabraňující přilepení elektrody. Tato funkce spočívá ve zmenšení velikosti proudu ve svařovacím obvodu při zapálení oblouku v případě, že zapálení nenastane okamžitě.

Tab. 1.1 Technická data zdroje Gama 160 [1]

Vstupní napětí 50 – 60 Hz	1 x 230 V
Rozsah svařovacího proudu	10 - 160 A
Napětí naprázdno	88 - 90 V
Zatěžovatel 25 %	160 A
Zatěžovatel 60 %	110 A
Zatěžovatel 100 %	80 A
Síťový proud/příkon 60 %	14 A / 3,3 KVA
Jištění	22 A
Krytí	IP 23 S
Třída izolace	F
Normy	EN 60974 - 1
Rozměry D-Š-V	270-130-210 mm
Hmotnost	5,1 kg

Použití svařovacího zdroje Gama 160 je typicky přerušované, kdy se využívá nejefektivnější pracovní doby pro svařování a doby klidu pro umístění svařovacích částí, přípravných operací, výměně elektrody apod. Poměr doby zatížení zdroje k celkové délce pracovního cyklu se nazývá zatěžovatel a udává se v procentech. Doba zatížení se

uvádí v 10 minutovém cyklu. Za 60% pracovní cyklus zatěžování se považuje 6 min z deseti minutového časového úseku a 4 minuty probíhá chlazení. Pokud dojde k překročení pracovního cyklu, nastane v důsledku přehřátí přerušování svařovacího proudu termostatem, aby nedošlo k poškození komponentů svářečky. Při tomto přerušování se rozsvítí žlutá kontrolka na předním ovládacím panelu stroje. Po uplynutí několika minut kdy dojde k dostatečnému ochlazení zdroje, žlutá kontrolka zhasne a stroj je připraven k opětovnému použití. Další technické údaje jsou v tab. 1.1 a popis svařovacího zdroje je na obr. 1.3.

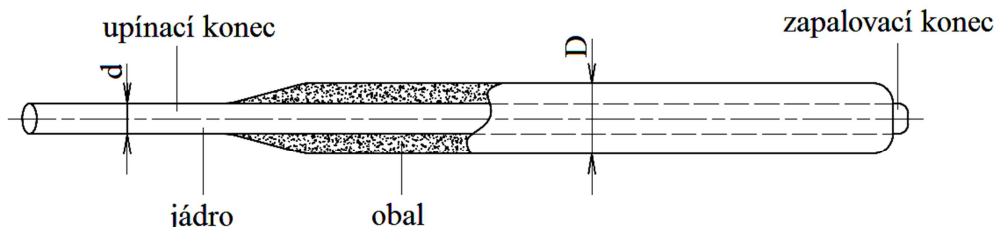


Obr. 1.3 Popis svařovacího zdroje Gama 160 [1]

2 SVAŘOVACÍ POLOHY, VOLBA VHODNÉ ELEKTRODY, SVAŘOVACÍ PARAMETRY [2], [5], [7], [8], [10], [11]

2.1 Elektrody [8], [11]

Obalené elektrody slouží jako přídavný materiál a skládají z kovového jádra, které do svaru dodává potřebný přídavný materiál a obalu, viz obr. 2.1, který zajišťuje ochranu svaru a má mnoho dalších funkcí.



Obr. 2.1 Obalená elektroda [11]

2.1.1 Funkce obalu elektrod [7], [8], [10]

Obal elektrody má značný vliv na operativní vlastnosti, jako jsou zapalování oblouku a jeho stabilní hoření, přechod kovu z elektrody do svarové lázně, množství a odstranitelnost strusky, hloubka závaru, náchylnost k tvoření vad, ovladatelnost v různých svařovacích polohách, ale záleží na něm i vlastnosti svarového kovu.

Obal elektrod plní při svařování následující funkce:

- **Stabilizace elektrického oblouku** – v obalu elektrod jsou obsaženy látky, jejichž páry vytvářejí v elektrickém oblouku silně ionizační prostředí. Jedná se zejména o soli alkalických kovů (Na, K). Další látky jako např. křemičitany, uhličitany, oxidy železa, titanu atd. podporují také stabilizaci elektrického oblouku. Obal elektrod ovšem obsahuje i látky, které mají nepříznivý účinek na ionizaci sloupce elektrického oblouku např. fluoridy a snadno disociovatelné plyny. Stabilita hoření elektrického oblouku je také ovlivněna zapalovacím napětím naprázdno, ionizačním potenciálem kovů, schopností termické ionizace a tepelnou vodivostí prostředí sloupce elektrického oblouku.
- **Tvorba strusky** – při tavení obalu elektrody vzniká struska, která obaluje kapky odtavovaného svarového kovu a tím je chrání proti vlivům vzdušné atmosféry při přechodu přes sloupec elektrického oblouku do svarové lázně základního materiálu. Ve svarové lázni se struska oddělí. Struska má též tepelně izolační vlastnosti, pokud je její vrstva dostatečně silná, chrání kovovou svarovou lázeň, čímž zpomaluje její chladnutí a prodlužuje interval tuhnutí kovu. Struska svými vlastnostmi také určuje chemické složení a čistotu kovu, jeho mechanické vlastnosti, výkon odtavení, dále tvar a povrch svarové housenky, má ale vliv i na technologické vlastnosti obalených elektrod např. na svařovací polohy a operativnost elektrod.
- **Tvorba ochranné atmosféry** – obal elektrod obsahuje také snadno těkavé látky a látky, které snadno disociují a vytvářejí tak plynou atmosféru, jež chrání svarový kov před okolní atmosférou. To snižuje oxidaci legujících prvků a snižuje možnost absorpce nežádoucích plynů. Obsah vodíku ve svarovém kovu závisí na vlhkosti obalu a správnosti vysušení zejména bazických elektrod. Množství kyslíku a dusíky závisí na dokonalosti ochrany svarové lázně a svarového kovu vzniklou ochrannou

atmosférou. Hlavními složkami ochranné atmosféry jsou uhlovodíky, oxid uhličitý, oxid uhelnatý, kovové páry, ale také kyslík, dusík a vodík.

- **Desoxidace a legování svarového kovu** – jedná se o metalurgickou funkci obalu elektrod. Během svařování obalenou elektrodou nastává desoxidace svarového kovu tak, že ve strusce obsažený SiO_2 a MnO reagují s roztaveným svarovým kovem elektrody. Vyredukovaný křemík a mangan přejdou do svarové lázně a váží zde na sebe v lázni přítomný kyslík. Legování svarového kovu určitým prvkem pro získání požadovaných vlastností probíhá přechodem legujícího prvku z jádra elektrody nebo z obalu elektrody, obvykle kombinací obojího. Stupeň nalegování závisí na parametrech, jako jsou afinita daného prvku ke kyslíku, jeho množství v jádře nebo obalu elektrody, typu elektrody, parametrech svařování a zejména správné interakci kov – plyn – struska.

2.1.2 Rozdělení elektrod [8], [10]

Elektrody pro ruční svařování elektrickým obloukem lze rozdělit následovně.

Podle základního materiálu:

- elektrody pro svařování nelegovaných nízkouhlíkových ocelí
- elektrody pro svařování nízkolegovaných ocelí
- elektrody pro svařování nízkolegovaných žárupevných ocelí
- elektrody pro svařování vysokolegovaných ocelí
- elektrody pro navařování vrstev se zvláštními vlastnostmi
- elektrody pro svařování barevných kovů
- elektrody pro svařování šedé litiny
- elektrody pro jadernou energetiku
- elektrody pro zvláštní účely

Podle poměru celkového průměru D elektrody k průměru jádra elektrody d :

- tenké balené (D/d je do 1,2)
- středně tlustě balené (D/d je 1,2 až 1,45)
- tlustě balené (D/d je 1,45 až 1,80)
- velmi tlustě balené (D/d je nad 1,80)

Podle složení obalu elektrod:

- stabilizační
- rutilové – R
- rutil – celulósový – RC
- rutil – kyselý – RA
- rutil – bazický – RB
- tlustostěnné rutilové – RR
- kyselý – A
- bazický – B
- celulósový – C

2.1.3 Vlastnosti základních typů obalů elektrod [2], [8], [10], [11]

Kyselý obal – A

Obaly těchto elektrod mají vysoký podíl železa, tedy i vysoký potenciál dezoxidačních látek. Elektrody s tímto obalem snadněji zapalují oblouk než bazické elektrody, ale obtížněji než elektrody s rutilovým obalem. Svarová lázeň řídce teče, svar má velkou hloubku průvaru, dešťovitý přechod kapek z elektrody do svarové lázně umožňuje vznik hladkého, plochého a úhledné povrchu svaru, který plynule přechází do základního materiálu. Struska je lehce odstranitelná, případně se sama odděluje. Pro řídký tok svarového kovu lze obtížně překlenout spáry v místě svarového spoje. Omezená je také možnost svařovat v nucených polohách. Kyselé elektrody mají velké odtavovací výkony. Protože mají elektrody s kyselým obalem horší rafinační schopnosti než bazické elektrody, jsou citlivé na čistotu svarových ploch a mají znatelně horší houževnatost svarového kovu. Elektrody s kyselým obalem jsou určeny pro svařování stejnosměrným i střídavým proudem. Při použití stejnosměrného proudu se připojí na záporný pól (přímá polarita).

Bazický obal – B

Elektrody s bazickým obalem jsou v současnosti u nás nejrozšířenějším typem elektrod. V bazickém obalu převládá kazivec a vápence. Elektrody s bazickým obalem jsou určeny pro svařování stejnosměrným proudem a připojují se ke kladnému pólu (nepřímá polarita). Špatně snášejí přetížení, při vyšším svařovacím proudu se rozpálí. Vyžadují svařování krátkým obloukem. Přechod kovu je kapkovitý (středně velké až velké kapky), svarová lázeň teče hustě, elektrody se snadno ovládají při svařování v nucených polohách a snadno překrývají svarovou spáru. Ochranná atmosféra a charakter strusky dovolují legovat svarový kov manganem, křemíkem, chromem, molybdenem, vanadem, niklem atd. Odtavovací výkon je nižší, kresba housenky méně úhledná, horší odstranitelnost strusky oproti kyselé elektrodě. Bazický obal má dobré rafinační schopnosti, tudíž houževnatost svarového kovu a odolnost proti vzniku trhlin lepší než u ostatních elektrod. Bazické obaly snadno pohlcují vlhkost, proto jejich vhodné skladování a sušení před svařováním je podmínkou, která musí být splněna, aby bylo dosaženo bezvadného svaru.

Rutilový obal – R

Obal je tvořen převážně rutilem (TiO_2), dále obsahuje křemen, živec, legující prvky ve formě feroslitin a další obalové složky. Elektrody s rutilovým obalem jsou určeny pro svařování stejnosměrným i střídavým proudem. Rutilový obal umožňuje snadné zapálení oblouku. Rozstřík svarového kovu je minimální, povrch svaru hladký. Svarová lázeň hustě teče a rychle tuhne, hloubka závaru je poměrně malá. Elektrody s rutilovým obalem jsou vhodné pro svařování ve všech polohách. Se stoupající tloušťkou obalu stoupá rychlost svařování a hodnoty mechanických vlastností se úměrně zvýší. Zároveň se mění i způsob přechodu kapek svarového kovu ze středně velkých kapek na kapky drobné. Tyto elektrody jsou vhodné pro svařování tenkých plechů, stehování, svařování kořenových housenek, přerušovaných svarů a přemostování větších svarových mezer. Naopak není příliš vhodný pro svařování silných plechů, tlakových nádob, kotlů atd. Strusku lze snadno odstranit. Mechanické vlastnosti svarového kovu jsou lepší než u kyselých elektrod. Rutilový obal je relativně necitlivý na vlhkost. Rutilové elektrody se zpravidla připojují na minus pól stejnosměrného zdroje nebo na střídavý proud.

2.1.4 Označování elektrod [5], [11]

Elektrody se označují podle normy ČSN EN ISO 2560 – A. Klasifikace obalených elektrod podle ČSN EN ISO 2560 – A je založena na mezi kluzu, mezi pevnosti a tažnosti jejich svarových kovů. Klasifikace elektrod je rozdělena na část závaznou (5 údajů) a část

nepovinnou (8 údajů). V závazné části musí být uveden druh výrobku, pevnost a tažnost, chemické složení a druh obalu. Dle ČSN EN ISO 2560 – A musí být údaje úplné klasifikace uváděny na obalech a propagačních materiálech výrobce. Příklad označování elektrod podle ČSN EN ISO 2560 – A je uveden v příloze číslo 1.

2.1.5 Volba vhodné elektrody [8], [11]

Elektrody musí splňovat požadavky na mechanické vlastnosti svarového kovu a zároveň musí mít patřičné operativní schopnosti, kterými jsou především:

- vhodnost elektrody pro různé svařovací polohy
- ovladatelnost elektrod v těchto pracovních polohách
- způsob odtavování elektrod a přechod kovu do tavné lázně
- vlastnosti a množství strusky
- hloubku závaru
- rychlost tavení elektrody
- rozstřík
- vhodnost pro různé polarizace atd.

Při volbě elektrody pro konkrétní použití je nutné zohledňovat především tato hlediska:

- vlastnosti základního materiálu (svařitelnost, pevnost, tažnost, houževnatost, chemické složení, svařovaná tloušťka)
- velikost a druh namáhání (tah, tlak, smyk), způsob zatěžování svarů (staticky, dynamicky) a další podmínky, kterým bude svar vystaven (např. vysoká teplota)
- požadavky kladné na svar (tvar, vzhled, druh svaru atd.)
- poloha svařování
- rychlost práce
- nebezpečí vyplývající z pnutí ve svaru, množství vyvinutého tepla, hloubka závaru
- nutnost dalšího zpracování svarku
- druh a hodnota svařovacího proudu
- cena a hospodárnost

2.1.6 Sušení a skladování elektrod [8], [11]

Skladování elektrod a jejich sušení je nutné věnovat náležitou pozornost, protože neplnění požadavků na skladování a sušení se bezprostředně odráží na kvalitě zhotovovaného svaru. Elektrody mají být uloženy v suchém dobře větraném prostředí se stálou teplotou. Elektrody se skladují v původních neporušených obalech. Minimální teplota skladování je +10 °C a maximální relativní vlhkost 50 %. Elektrody se mohou skladovat pouze v tolika vrstvách, aby vlivem jejich hmotnosti nedocházelo k porušování obalu elektrod ve spodní vrstvě.

Před použitím je třeba elektrody vysušit podle doporučení výrobce. Každý druh elektrod je jinak citlivý vůči vlhkosti. Nejvýraznější vliv má vlhkost na elektrody s bazickým obalem. Při svařování nevysušenými elektrodami hrozí nebezpečí vzniku plynových dutin ve svaru a také

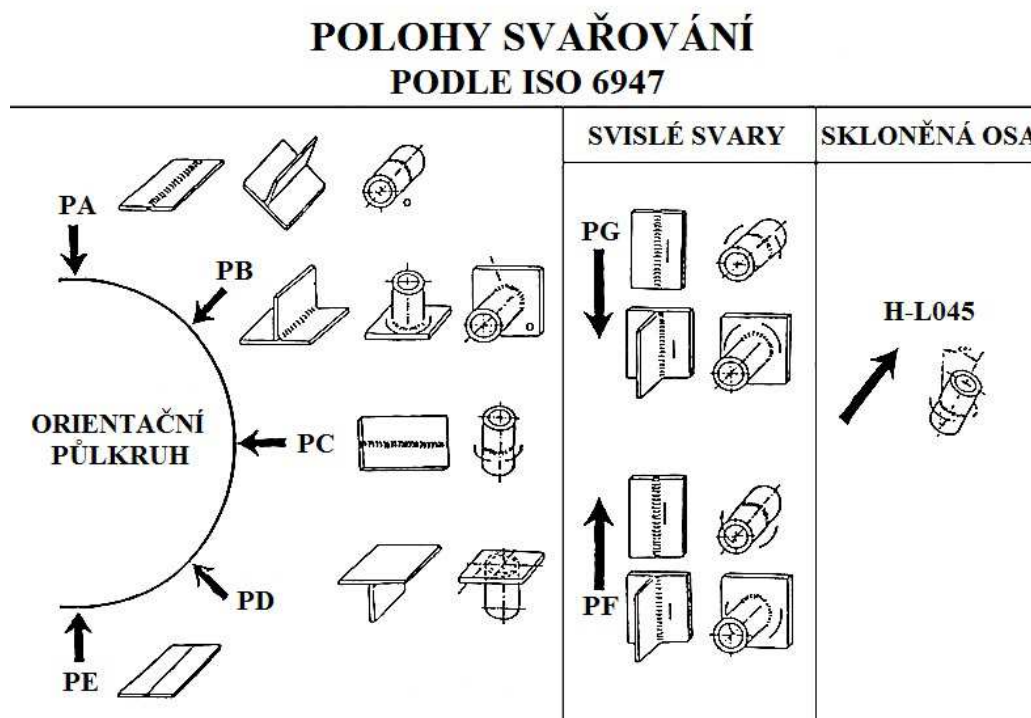
Tab. 2.1 Sušení elektrod [8]

Druh obalu elektrody	Režim teploty sušení
bazický	100 °C/1 h + 350 – 400 °C/ 2 h
rutilový	100 až 150 °C/2 h
kyselý	až 120 °C/2 h

se zvyšuje obsah difuzního vodíku ve svarovém kovu. Doporučené teploty a doba sušení jednotlivých typů elektrod (pokud výrobce neurčí jinak) jsou uvedeny v tab. 2.1.

2.2 Polohy svařování [2], [11]

Pro potřeby technologických postupů (WPS), zkoušek svařování a pro další potřeby při svařování jsou polohy svařování označovány normalizovanými značkami. Polohy svařování se označují podle normy ČSN EN ISO 6947, tak, jak je na obr. 2.2. Pojmenování a symboly hlavních poloh jsou uvedeny v tab. 2.2.



Obr. 2.2 Polohy svařování [2]

Tab. 2.2 Pojmenování a symboly hlavních svařovacích poloh [11]

Pojmenování	Popis	Symbol
Poloha vodorovná shora	Vodorovný směr svařování, svislá osa svaru, krycí vrstva nahoře	PA
Poloha vodorovná šikmo shora	Vodorovný směr svařování, krycí vrstva směrem šikmo nahoru	PB
Poloha vodorovná	Vodorovný směr svařování, vodorovná osa svaru	PC
Poloha vodorovná šikmo nad hlavou	Vodorovný směr svařování, nad hlavou, krycí vrstva dole	PD
Poloha vodorovná nad hlavou	Vodorovný směr svařování, nad hlavou, svislá osa svaru, krycí vrstva dole	PE
Poloha svislá nahoru	Svislý směr svařování zdola nahoru	PF
Poloha svislá dolů	Svislý směr svařování shora dolů	PG
Svařování nahoru k vrcholu svaru	Směr svařování nahoru a úhlem sklonu 45°	H – L045

2.3 Parametry svařování [7], [8], [11]

Jedním z hlavních svařovacích parametrů je svařovací proud. Intenzita svařovacího proudu pro daný průměr a obal elektrod je uvedena výrobcem na jejich balení. Svařovací proud je vždy uveden v určitém rozsahu, konkrétní hodnota svařovacího proudu se z tohoto rozsahu volí s ohledem na polohu svaru, druh a typ svaru, tloušťku svařovaného materiálu atd. Nemáme-li k dispozici údaj o svařovacím proudu od výrobce, lze jeho přibližnou hodnotu vypočítat dle následujícího vzorce.

Svařovací proud I [A] pro elektrody s kyselým a rutilovým obalem:

$$I = (40 \text{ až } 55)d \text{ [A]}, \quad (2.1)$$

kde d – průměr jádra elektrody

Svařovací proud I [A] pro elektrody s bazickým obalem:

$$I = (35 \text{ až } 50)d \text{ [A]} \quad (2.2)$$

Při zvolení malého svařovacího proudu dochází ke zmenšení hloubky závaru, oblouk hoří neklidně, housenka je vysoká, často jen „nalepená“ (studené spoje). Naopak příliš velký svařovací proud způsobuje značné přehřívání elektrody, dochází k vypalování prvků, klesají

mechanické hodnoty svarového kovu, tvoří se vruby, housenka je nízká, kresba šípovitá, vznikají plynové dutiny a deformace svaru.

Tab. 2.3 Hodnoty proudu a napětí podle \varnothing el. [7]

Průměr elektrody	Parametry svařování	
	proud [A]	napětí [V]
\varnothing 1.6 mm	30 – 80	20 – 24
\varnothing 2.0 mm	45 – 110	20 – 25
\varnothing 2.5 mm	60 – 120	21 – 26
\varnothing 3.2 mm	90 – 150	22 – 27
\varnothing 4.0 mm	120 – 180	22 – 27
\varnothing 5.0 mm	170 – 250	22 – 27
\varnothing 6.0 mm	200 – 330	22 – 28

Napětí na elektrickém oblouku je parametr, který nemusí svářeč nastavovat. Jeho hodnota je dána statickou charakteristikou zdroje svařovacího proudu. V průběhu svařování se napětí pohybuje mezi 20 až 30 V, pro zapálení oblouku je potřeba až 70 V. V tab. 2.2 jsou přibližná rozmezí svařovacího proudu a napětí v závislosti na průměru elektrody.

Svařovací rychlost je v případě ručního svařování obalenou elektrodou dána součtem tří rychlostí, jedná se o rychlost směrem do svarové lázně (rychlost odtavování elektrody), boční výkyv (pokud se provádí) a rychlost ve směru svařování. Výsledná hodnota se pohybuje mezi 10 až 15 $\text{cm} \cdot \text{min}^{-1}$. Volba rychlosti svařování závisí na požadavku na kvalitu svarového spoje, druhu a průměru elektrody a poloze svařování. Pokud je svařovací rychlost příliš malá, dochází k tvorbě převýšené housenky, přehřátí základního materiálu, vznikají velká pnutí a deformace, může též nastat předbíhání strusky a tím vznik struskových vměstků. Následkem svařování velkou rychlostí je úzká housenka, malé natavení základního materiálu, mohou vznikat studené spoje, tavná lázeň rychle tuhne a mohou tak vznikat plynové dutiny.

3 EXPERIMENTÁLNÍ OVĚŘENÍ SVAŘOVACÍCH POLOH, VOLBY ELEKTRODY A SVAŘOVACÍCH PARAMETRŮ [2], [5], [11], [12]

Úkolem experimentu bylo ověření možných svařovacích poloh, volba vhodné elektrody a svařovacích parametrů. Protože tento svařovací zdroj bude využíván pouze v domácí dílně, kde se dá předpokládat svařování nejčastěji v polohách PA a PF, byl experiment zaměřen právě na tyto polohy. Svařovací zdroj Omicron Gama 160 je ovšem schopen svařovat ve všech svařovacích polohách, záleží spíše na typu elektrody. Pro experiment byly zvoleny elektrody s rutilovým a bazickým obalem o shodném průměru 2,5 mm. Jako základní materiál byla použita ocel 11 373 o tloušťce 3 a 6 mm. Vzorky pro experimentální část byly svařeny zkušeným svářečem ve firmě Fronius Česká republika s.r.o.

3.1 Příprava svařovaného materiálu [5], [11]

Svařovány byly díly zhotovené z materiálu 11 373 (1.0036). Ocel 11 373 je neušlechtilá uhlíková ocel obvyklé jakosti se zaručenou tavnou svařitelností a obsahem uhlíku do 0,17 %. Obsah fosforu je maximálně 0,045 %, síry též 0,045 % a dusíku maximálně 0,007 %. Používá se na jednoduché, mírně namáhané, kované, lisované, zastudena ohýbané součásti, profilové materiály, mostní, jeřábové a stropní konstrukce namáhané staticky a mírně dynamicky.

První sada svařovaných dílů byla nastříhána z plechu tloušťky 3 mm pomocí tabulových nůžek na kusy o délce 100 mm a šířce 30 mm, které byly následně mechanicky očištěny, viz obr. 3.1 vlevo. Druhá sada svařovaných dílů byla zhotovena z ploché tyče válcované za tepla o šířce 30 mm a tloušťce 6 mm. Dělení na kusy o délce 100 mm bylo provedeno úhlovou bruskou, dále byl vyfrézován úkos pod úhlem 30° a otupení 1,5 mm. Jednotlivé kusy byly zbaveny otřepů a mechanicky očištěny, viz obr. 3.1 vpravo.



Obr. 3.1 Základní materiál připravený ke svařování

3.2 Použitý přídatný materiál [5], [11]

Použité elektrody s rutilovým obalem od slovinské společnosti ELEKTRODE JESENICE s prodejním označením RUTILEN 13, jsou elektrody určené pro svařování konstrukčních ocelí, jejich označení podle normy EN ISO 2560 – A je E 42 0 RR 12, z čehož lze vyčíst, že se jedná o elektrodu pro ruční obloukové svařování s minimální mezí kluzu 420 MPa, pevností v tahu 500 až 640 MPa, minimální tažností 20 %. Teplota pro nárazovou práci minimálně 47 J je 0 °C, obal je rutilový (tlustý), výtěžnost je ≤ 105 %, elektroda je určena pro střídavý i stejnosměrný proud a je vhodná pro všechny polohy mimo polohy svisle shora dolů. Na balení elektrod najdeme ještě další důležité informace jako například průměr jádra elektrody 2,5 mm, délka elektrody 350 mm, předepsané sušení 140 °C/1 h a doporučený svařovací proud pro průměr 2,5 mm 65 – 90 A.

Dalšími použitými elektrodami byly elektrody s bazickým obalem od téhož výrobce s označením EVB 47, podle EN ISO 2560 – A označené jako E 38 2 B 32 H5. Z normalizovaného označení vyplývá, že se jde o elektrody pro ruční obloukové svařování s minimální mezí kluzu 380 MPa, pevností v tahu 470 až 600 MPa, minimální tažností 20 %, teplotou pro nárazovou práci min. 47 J -20 °C, bazickým obalem a výtěžností > 105 ≤ 125 %. Tyto elektrody jsou určeny jak pro stejnosměrný, tak střídavý proud, lze je použít ve všech polohách mimo polohy svisle shora dolů. Maximální obsah vodíku je 5 ml/100 g čistého svarového kovu. Další údaje na balení elektrod nás informují o průměru jádra elektrod 2,5 mm, jejich délce 300 mm, předepsaném sušení 400 °C/1 h a doporučené intenzitě svařovacího proudu pro daný průměr 65 – 90 A.

Třetím typem elektrod využitých při experimentu byly bazické elektrody od známé švédské společnosti ESAB, které jsou prodávány pod označením E – B 121, jejich označení podle normy EN ISO 2560 – A je E 38 3 B 42 H10. Označení elektrod podle normy udává minimální mez kluzu 380 MPa, pevnost v tahu 470 až 600 MPa, minimální tažnost 20 %, teplotu pro nárazovou práci minimálně 47 J -30 °C, bazický obal, výtěžnost > 105 ≤ 125 %. Požadovaný svařovací proud je stejnosměrný. Elektroda je použitelná pro všechny svařovací polohy kromě polohy svisle shora dolů. Ostatní údaje na balení elektrod udávají teplotu a délku sušení 350 °C/2 h, průměr elektrod 2,5 mm, délku elektrod 350 mm, doporučený svařovací proud pro průměr 2,5 mm 80 – 100 A atd.

3.3 Svařené vzorky

Tab. 3.1 Číslování svařených vzorků

Číslo vzorku	1	2	3	4	5	6
Tloušťka zákl. materiálu	3 mm	3 mm	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm
Elektroda	EVB 47	Rutilen 13	EVB 47	Rutilen 13	Rutilen 13	E – B 121
Poloha	PA	PA	PA	PA	PF	PF

Vzorek číslo 1

Tento vzorek, je zhotoven ze dvou kusů připravených plechů o tloušťce 3 mm, pomocí bazické elektrody EVB 47 v poloze PA. Hodnota svařovacího proudu byla 80 až 90 A. Jedná se o svar typu I, provedený v jedné vrstvě s mezerou mezi svařovanými díly 1,5 mm. Jak je vidět na obr. 3.2, svar má jemnou pravidelnou kresbu, rozstřík svarového kovu je zanedbatelný a nejsou patrné žádné další vady. Na obr 3.3 je svar z druhé strany, kde můžeme vidět kořen svaru.



Obr. 3.2 Vzorek číslo 1



Obr. 3.3 Vzorek číslo 1 – kořen svaru

Vzorek číslo 2

Pro druhý vzorek je použit stejný základní materiál, ale jiná elektroda, konkrétně rutilová RUTILEN 13. Svar typu I je opět zhotoven v poloze PA jednou vrstvou s mezerou mezi svařovanými díly 2 mm. Během svařování byl svařovací proud kvůli stálosti oblouku plynule upravován v rozsahu 50 až 90 A. Povrch svaru je plochý, s ne úplně pravidelnou kresbou, a v jeho okolí je patrný rozstřík svarového kovu, což je vidět na obr. 3.4. Na obr 3.5 je pak pohled na kořen svaru, který je více provařený než u prvního vzorku, ale ne zcela pravidelný.



Obr. 3.4 Vzorek číslo 2



Obr. 3.5 Vzorek číslo 2 – kořen svaru

Vzorek číslo 3

Třetí vzorek je ze základního materiálu o tloušťce 6 mm svařený v poloze PA pomocí bazické elektrody EVB 47. V tomto případě se jedná o svar typu V s úkosem 30° a kořenovou mezerou 2,5 mm. Svar je proveden ze dvou vrstev, svařovací proud při svařování první i druhé vrstvy se pohyboval v rozmezí 70 až 90 A. Provedení svaru je vidět na obr. 3.6, kde je dobře vidět velký rozstřík svarového kovu. Provaření kořene je pak vidět na obr. 3.7.



Obr. 3.6 Vzorek číslo 3



Obr. 3.7 Vzorek číslo 3 – kořen svaru

Vzorek číslo 4

Základní materiál pro čtvrtý vzorek je stejný jako v předchozím případě, stejně tak i svařovací poloha, byla ovšem použita rutilová elektroda RUTILEN 13. Typ svaru a kořenová mezera je také stejná jako v předchozím případě. Při svařování první vrstvy svaru se proud pohyboval v rozmezí 90 – 120 A, druhá vrstva byla svařena proudem o intenzitě

těž 90 – 120 A. Výsledný svar je plochý a hladký s relativně pravidelnou kresbou, což je vidět na obr 3.8, kde je také patrný rozstřík svarového kovu. Na obr 3.9 je dobře vidět neprovařený kořen.



Obr. 3.8 Vzorek číslo 4



Obr. 3.9 Vzorek číslo 4 – kořen svaru

Vzorek číslo 5

Pátý vzorek je svařen v poloze PF rutilovou elektrodou RUTILEN 13, svařované díly jsou stejné jako v případě třetího a čtvrtého vzorku. Velikost kořenové mezery byla tentokrát 2 mm. Svar tvoří dvě vrstvy. Obě vrstvy byly svařeny při intenzitě svařovacího proudu 80 – 100 A. Na obr. 3.10 lze vidět výsledný svar s kresbou typickou pro svařování v poloze PF. Obr. 3.11 pak ukazuje kořen svaru, který není příliš dobře provařen.



Obr. 3.10 Vzorek číslo 5



Obr. 3.11 Vzorek číslo 5 – kořen svaru

Vzorek číslo 6

Poslední vzorek je svařený taktéž v poloze PF bazickou elektrodou E – B 121 ze stejných polotovarů jako předchozí tři vzorky. Svar typu V je tvořen dvěma vrstvami, obě vrstvy byly vytvořeny při intenzitě svařovacího proudu mezi 70 a 90 A. Vzniklý svar je vidět na obr. 3.12 a na obr. 3.13 je pak vidět provaření kořene tohoto svaru.



Obr. 3.12 Vzorek číslo 6



Obr. 3.13 Vzorek číslo 6 – kořen svaru

3.4 Zhodnocení svařování vzorků

Při svařování vzorků z materiálu o tloušťce 6 mm se ukázalo, že kombinace úkosu pod úhlem 30° , otupení 1,5 mm a elektrody o průměru 2,5 mm není v některých případech zcela ideální. Toto se projevilo zejména na hůře provařených kořenech svarů u vzorků číslo 4 a 5. Také se při svařování v poloze PF projevil rozdíl mezi bazickými elektrodami EVB 47 a E – B 121 a to zejména ve stabilitě hoření oblouku, kdy s elektrodou EVB 47 téměř nebylo možné tento svar zhotovit a musel být vytvořen elektrodou E – B 121. Z porovnání elektrod s rutilovým a bazickým obalem vychází z experimentu lépe bazická elektroda a to především proto, že má lepší rafinační schopnosti a při jejím použití nedochází k zavařování strusky do svaru, má větší závar a lépe se ovládá.

3.5 Stanovení WPS na základě experimentu [2], [12]

Z hlediska systémů řízení jakosti je na svařování pohlíženo jako na tzv. zvláštní proces. Ten je charakterizován tím, že u něj nelze následnou nedestruktivní zkouškou ověřit kvalitu jeho provedení. Například pevnost svarového spoje nelze ověřit jinak než jeho roztržením, což je ovšem kontrola destruktivní. Pro eliminaci vad ve svarových spojích je proto vhodné provádět svary podle předem stanovených a ověřených postupů svařování (podle WPS).

WPS jsou důležitou součástí certifikovaných systémů řízení jakosti, ať už obecných podle norem řady ISO 9000, tak těch přímo zaměřených na svařování. Zkratka WPS (Welding Procedure Specification) se do češtiny překládá jako specifikace postupu svařování. Což přesně vystihuje účel WPS, jedná se totiž o jakýsi návod, jak provést určitý svarový spoj. Pro stanovení a schvalování těchto postupů se v současnosti používá norma EN ISO 156xx, pro obloukové svařování je to konkrétně ČSN EN ISO 15609 – 1. Navržený postup svařování, který zaneseme do formuláře, je ale nutné ověřit a schválit. Schválení, neboli kvalifikace, se může provést několika způsoby. Nejčastěji se kvalifikace provádí na základě použití certifikovaného svařovacího materiálu, předchozích zkušeností svářeče, odkazu na normalizovaný postup svařování, předvýrobní zkoušky svařování, případně zkoušky postupu svařování. WPS vypracované na základě experimentu jsou v příloze 2 až 7.

4 NEJČASTĚJŠÍ VADY SVARŮ A POSTUPY JAK JIM PŘEDEJÍT [3], [4], [9], [10], [12]

Vady ve svarech jsou nebezpečné koncentrátoři napětí, které velice nepříznivě ovlivňují zejména velikost meze únavy. Za určitých podmínek mohou vady ve svaru vést ke vzniku křehkého lomu, což vede k okamžitému zničení součásti. V provozu se mohou používat pouze svary bez vad, případně lze připustit takové typy vad, o nichž víme, že při daném zatížení neohrozí bezpečnost svařované součásti či konstrukce.

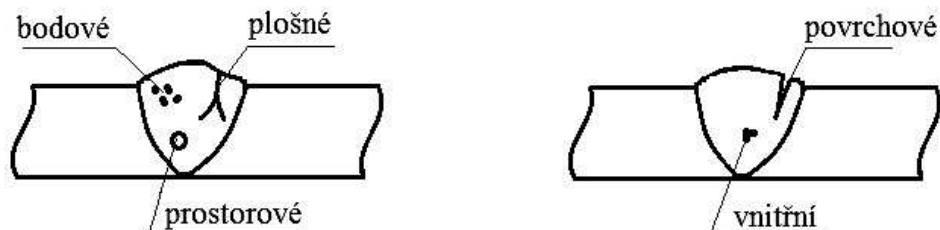
Podle polohy vady ve svaru rozdělujeme vady na:

- povrchové – trhliny, studené spoje, zápaly, neprovařený kořen, póry atd.
- vnitřní – plynové dutiny, staženiny, vměstky, studený spoj (mezi vrstvami housenek, ale i mezi základním materiálem a svarovým kovem), neprůvar v kořeni (u oboustranného nebo koutového svaru)

Podle tvaru rozdělujeme vady na:

- bodové – mikropóry, malé sférické vměstky
- plošné – trhliny, mikrotrhliny, studené spoje, neprůvary, nespojitosti návaru se základním materiálem (neprůvar v rovině souběžné s povrchem)
- prostorové – plynové dutiny (bubliny, póry), vměstky (struskové, tavidlové, oxidické, kovové), staženiny

Rozdělení vad podle tvaru a polohy ve svaru je dobře patrné z obr. 4.1.



Obr. 4.1 Vady ve svaru podle tvaru a polohy [12]

Podle charakteru se vady rozdělují na šest základních skupin:

- trhliny – podélné, příčné, kráterové, nespojité, rozvětvené
- dutiny – póry, bubliny, staženiny, které se vyskytují jednotlivé nebo ve shlucích a řádcích
- vměstky – struskové, tavidlové, oxidické, kovové
- studený spoj – nedošlo ke kovové vazbě, materiál nebyl nataven a je pouze „nalepen“, neprůvar – nedojde k provaření kořene
- vady tvaru a rozměru – zápaly, vruby v kořeni, vruby mezi jednotlivými housenkami, nadměrné převýšení svaru, přetečení krycí nebo kořenové vrstvy, lineární přesazení, neúplné vyplnění svaru, nepravidelná šířka, vadné napojení
- různé vady – stopa po hoření oblouku, rozstřík, vytržený povrch, vada stehu, brusné stopy atd.

4.1 Příčiny vzniku vad a jak jim předejít [3], [4], [9], [10], [12]

Trhliny se rozdělují podle okamžiku vzniku na trhliny za tepla, trhliny za studena, žíhací trhliny, lamelární trhliny a kráterové trhliny. Trhliny za tepla vznikají jak ve svarovém kovu, tak v tepelně ovlivněné oblasti, při ochlazování svarových spojů při vysokých teplotách

(nad 800 °C) a jsou závislé na metalurgické čistotě materiálů. Horké trhliny vznikají zejména kvůli vysokému obsahu uhlíku, manganu a dalších legur, případně vyššímu obsahu síry a fosforu, dalším faktorem způsobujícím trhliny za tepla je snížení tažnosti při teplotě solidu a s tím související poruchy na hranicích zrn při ochlazování. Abychom zamezili vzniku trhlín za tepla, je třeba snížit množství vneseného tepla do svaru, použít přídatný materiál vysoké čistoty a též základní materiál vyšší čistoty s dobrou svařitelností, omezit deformace a pnutí použitím vhodných technik svařování, tvaru svařovaného spoje a předehřevu.

Trhliny za studena vznikají při nízkých teplotách (okolo 200 °C) a jsou způsobeny přítomností vodíku ve svarovém kovu, přítomností struktur citlivých na vodík a tahových napětí. Vodík se do svaru dostává zejména prostřednictvím atmosférické vlhkosti a z vlhkých obalů elektrod. Studené trhliny se mohou vyskytovat v celé oblasti svarového spoje. Trhlinám za studena lze předejít snížením obsahu vodíku (důsledným sušením přídatného materiálu a zabránění jeho navlhnutí při skladování a manipulaci), dále pak aplikací předehřevu, dohřevu a zvýšením měrného příkonu při svařování. Důležité je také minimalizovat vznik zbytkových pnutí a deformací po svařování volbou vhodné svařovací techniky a vyvarovat se vadám jako jsou studené spoje, neprůvary, zápaly.

Lamelární trhliny vznikají v základním materiálu případně v tepelně ovlivněné oblasti v důsledku namáhání spoje ve směru tloušťky plechu, jejich tvar je stupňovitý a většinou rovnoběžný s povrchem plechu. Hlavními příčinami vzniku lamelárních trhlín jsou plastické vlastnosti základního materiálu ve směru jeho tloušťky, způsob svařování, svařovací parametry a konstrukce svařovaného uzlu. Vznik těchto trhlín nejčastěji probíhá v oblastech řádkových shluků nekovových vměstků, případně jiných trhlín vzniklých v průběhu svařování. Zamezit vzniku laminárních trhlín lze použitím základního materiálu se zaručenou kontrakcí alespoň 15 %, zlepšením čistoty oceli, snížením obsahu difuzního vodíku, přesměrovat působení tahových napětí změnou tvaru spoje.

Žíhací trhliny vznikají při tepelném zpracování svarů, např. při rychlém ohřevu na žíhací teplotu, při kterém je velký rozdíl teplot mezi povrchem a jádrem svaru nebo u vícevrstevných svarů. Tyto trhliny vznikají buď v nízkoteplotní oblasti 200 – 300 °C, v průběhu ohřevu na teplotu žíhání, nebo v dolní oblasti žíhacích teplot (500 – 600 °C), především u ocelí na bázi chromu a vanadu. Omezení vzniku žíhacích trhlín souvisí většinou s úpravou a kontrolou žíhacích režimů. Zamezení vzniku žíhacích trhlín za nízkých teplot je možné snížením rychlosti ohřevu v teplotní oblasti do 400 °C, rychlost ohřevu by se měla pohybovat mezi 15 až 20 °C/h. Dalším vhodným opatřením je dohřev po svařování na 300 °C, uplatnit lze i překování a v případě, že je materiál náchylnější na žíhací trhliny, používá se dvoustupňové žíhání.

Kráterové trhliny jsou specifickým druhem trhlín za tepla, vznikají při náhlém a příliš rychlém ukončení svařování. Trhliny začínají v dutině kráteru a jsou způsobeny smršťováním při tuhnutí svarového kovu. Předejdeme jim dostatečným vyplněním kráteru při ukončování svaru.

Plynové dutiny ve formě pórů a bublin jsou objemové vady kulovitého nebo protáhlého tvaru, vyplněné plynem. Tyto vady vznikají z několika příčin, jako např. špatně vysušený nebo poškozený obal elektrody, nečistoty na svarových plochách (barva, mastnota včetně vody a vlhkosti), příliš dlouhý oblouk, vysoká rychlost svařování, kdy vznikající plyny nestačí uniknout ven ze svarové lázně, nebo rychlé tuhnutí lázně v důsledku nízkého svařovacího proudu a vysoké rychlosti svařování, případně chybná polarita. Zamezit vzniku dutin lze použitím dobře vysušených elektrod, důkladným očištěním svarových ploch od nátěrů, nečistot, koroze a vysušením vlhkosti na svarových plochách, dále pak snížením rychlosti svařování, zkrácením délky oblouku a zvýšením intenzity svařovacího proudu.

Struskové vměstky jsou zejména nepravidelné útvary strusky zavařené ve svarovém kovu. Příčinou vzniku může být excentrický obal nebo nadměrné foukání oblouku, což způsobuje nerovnoměrné odtavování obalu elektrody, který se pak odlomí a zůstane ve svarové lázni.

Struskové vměstky vznikají také při nevhodném sklonu elektrody, nadměrné délce oblouku a pomalé postupové rychlosti, kdy struska předběhne lázeň a je zalita svarovým kovem. Také nedostatečné odstranění strusky z předcházejících svařovacích vrstev je příčinou vzniku struskových vměstků. Zabránit vzniku struskových vměstků, je možné pečlivým odstraněním strusky a to i broušením, pokud je to nezbytné. Důležitá je také správná rychlost svařování, vhodný úhel sklonu elektrody a volba správného postupu svařování.

Studený spoj je nedokonale natavený a nespojený základní materiál a přídavný kov elektrody. Vznik této vady mohou způsobovat hrubé nečistoty na svarových plochách, příliš nízká postupová rychlost, kdy se utvoří velká svarová lázeň a zalije nenatavené plochy, případně předchodzí housenky, nebo naopak příliš velká postupová rychlost, při níž může též dojít k nedokonalému natavení svarových ploch. K nesprávnému natavení svarových ploch nebo předchodzích housenek může také dojít vlivem excentrického obalu elektrody, foukání oblouku, nízkého svařovacího proudu a také nesprávným sklonem a vedením elektrody. Aby ke studeným spojům nedocházelo, je třeba zvýšit hodnotu svařovacího proudu, změnit úhel sklonu elektrody, tak aby došlo ke spolehlivému natavení svarových ploch, snížit rychlost svařování, použít elektrodu většího průměru.

Neprůvary jsou vady vznikající v důsledku neúplného natavení základního materiálu nebo přilehlých svarových housenek. Nejčastěji se jedná o neprovařený kořen, který vzniká v důsledku malé svarové mezery, velkého otupení, malého úhlu rozevření, příliš přesazeného materiálu a také nevhodných svařovacích parametrů, jako jsou malá intenzita svařovacího proudu, velká postupová rychlost a velký průměr elektrody. Nepříznivý vliv na provaření kořene má i excentrický obal elektrody a foukání oblouku. Především neprůvaru kořene lze snížením rychlosti svařování, použitím menšího průměru elektrody pro svarovou housenku, zajištěním správné velikosti a tvaru mezery mezi svařovanými díly.

Vady tvaru a rozměru svaru mohou mít mnoho podob, patří mezi ně např. zápalý, což jsou ostré prohloubeniny na hranici svarové housenky a základního materiálu, vznikající vytavením základního materiálu. Vyskytují se častěji u koutových svarů. Mezi hlavní příčiny jejich vzniku patří velký svařovací proud, příliš dlouhý oblouk, nevhodný průměr elektrody vzhledem k tloušťce materiálu, nebo její špatné vedení. Pro zamezení vzniku zápalů je třeba nastavení vhodné intenzity svařovacího proudu, zvolení správného úhlu vedení elektrody a jejího vhodného průměru, dodržování vhodné délky oblouku. Nadměrné převýšení svaru je přebytek svarového kovu na povrchu svaru, vzniká při použití elektrody o velkém průměru nebo malé postupové rychlosti. S nadměrným převýšením svaru souvisí přeteklý povrch svaru, který se nejčastěji vyskytuje u svařování v poloze vodorovné na svislé stěně při použití elektrody velkého průměru. Další vadou patřící do této skupiny vad jsou krápníky, které vznikají tehdy, je-li svarová mezera příliš velká, případně je-li malé otupení, malá postupová rychlost, velký svařovací proud, případně příliš velký průměr elektrody. Chceme-li se vyhnout krápníkům, je nutné dodržet správnou kořenovou mezeru, úpravu svarových ploch a použít elektrodu o průměru odpovídajícímu tloušťce svařovaného materiálu. Nepravidelná šířka svaru je způsobena nepravidelným příčným kýváním elektrody, nepravidelný povrch svaru způsobuje především nepravidelná postupová rychlost. Vadné napojení je důsledkem toho, že se svářeč při napojení vrátí až na povrch předešlého svaru, nebo naopak napojení provede jen v okraji koncového kráteru předešlého svaru.

Velký rozstřík svarového kovu může být zapříčiněn příliš velkým svařovacím proudem, dlouhým obloukem, nesprávnou polaritou nebo vlhkostí a nečistotami na svarových hranách. Rozstřík lze omezit snížením svařovacího proudu, zmenšením délky oblouku, dodržováním správné polarit, důkladným očištěním a osušením místa svaru. K vadám označovaným jako různé řadíme kromě rozstříku, také dotek elektrodou, vytrhnutý povrch, dotyk brusku atd.

5 ZHODNOCENÍ SVAŘOVACÍHO ZDROJE OMICRON GAMA 160

Invertorové zdroje se vyrábějí v širokém výkonovém spektru, schopné poskytovat svařovací proud od 85 do zhruba 500 A. Svařovací zdroj Omicron Gama 160 se svým proudovým rozsahem 10 – 160 A řadí do spodní třetiny výkonového spektra, což ho předurčuje pro méně náročné svařovací práce, například na montážích a nebo pro svařovací práce při údržbě domu, drobné opravy zemědělských strojů atd. Výhodou tohoto zdroje jsou velice kompaktní rozměry a nízká hmotnost, které umožňují snadné přenášení zdroje. Navíc je zdroj opatřen popruhem, díky kterému je možné mít zdroj zavěšený na rameni, to je výhodné zejména při montážích a přenášení zdroje. Na rozdíl od některých konkurenčních svařovacích zdrojů stejné kategorie má Gama 160 všechny kryty kovové, což jistě přispívá k celkové mechanické odolnosti a zdroj tak není příliš náchylný na nechtěné poškození.

Ze svařovacích parametrů můžeme na zdroji nastavovat pouze hodnotu svařovacího proudu a to pomocí otočného regulátoru. Protože zde není digitální ukazatel nastaveného svařovacího proudu, jenom kruhová nepravidelně cejchovaná stupnice, lze svařovací proud nastavit pouze přibližně. Jediné, co je ještě možné ovlivnit je funkce HOTSTART, která se dá přepnutím svařovacího zdroje do režimu TIG vypnout, což je vhodné při svařování tenkých plechů, jinak by vlivem navýšení svařovacího proudu touto funkcí, při zapálení oblouku, došlo k jejich propálení. Funkce HOTSTART a ANTISTICK fungují spolehlivě, to nejvíce ocení zejména ne příliš zkušený svářeč. Svařovací vlastnosti zdroje Gama 160 jsou dobré, ovšem chování řídicí elektroniky není úplně ideální. Zřejmě kvůli tomu, že voltampérová charakteristika nemá tak strmý průběh, jak by bylo vhodné, není oblouk během svařování tak stabilní, jako u některých jiných invertorů této výkonové kategorie s vyspělejší řídicí elektronikou. V rámci experimentální části této bakalářské práce byly použity pouze elektrody o průměru 2,5 mm, mimo rámec této práce bylo ověřeno, že lze bez problémů používat i elektrody o průměru 1,6; 2 a 3,15 mm. Při hodnocení tohoto zdroje je třeba zmínit i pořizovací cenu cca 3500 Kč, která při jeho výběru sehrála nemalou roli. Za tuto cenu se mnohdy neprodávají ani méně výkonné značkové svařovací invertory v hobbymarketech. Poměr cena/výkon je tedy opravdu velmi dobrý, obzvláště vezmeme-li v úvahu, že byl zdroj zakoupen pro amatérské svařování začínajícího svářeče.

6 Závěr

Tato bakalářská práce se zabývá svařovacími vlastnostmi invertorového zdroje Omicron Gama 160, volbou svařovacích parametrů a výběrem vhodné elektrody.

Práce je rozdělena na část teoretickou a experimentální. Teoretická část se věnuje popisu částí elektrického obvodu, rozdělení a základnímu popisu svařovacích zdrojů, zejména pak invertorovému zdroji Omicron Gama 160. Dále je zde část věnovaná obalovaným elektrodám. V této části je popsána funkce jejich obalu, rozdělení elektrod, vlastnosti základních typů obalů elektrod a také jsou zde zmíněna kritéria zohledňovaná při volbě vhodné elektrody a nároky na skladování a sušení elektrod. Do teoretické části patří také popis základních svařovacích parametrů a svařovacích poloh. Součástí teoretické části práce je i popis nejčastějších vad svarů, příčiny jejich vzniku a způsoby jak jim předejít.

Úkolem experimentální části práce bylo ověření volby vhodné elektrody a svařovacích parametrů. Tato část spočívala ve svaření šesti vzorků, v různých svařovacích polohách při použití různých elektrod. Svařované vzorky byly z materiálu 11 373 tloušťky 3 a 6 mm, svařovány byly v polohách PA a PF elektrodami rutilovými a bazickými. Svařování vzorků se uskutečnilo ve firmě Fronius Česká republika. Při porovnání průběhu a výsledku svařování vzorků rutilovými a bazickými elektrodami svařovacím zdrojem Omicron Gama 160, byly jako vhodnější pro tuto aplikaci shledány elektrody s bazickým obalem. Na základě experimentu byly vypracovány specifikace svařovacího postupu WPS. Experimentem bylo ověřeno, že v případě svařovacího zdroje Omicron Gama 160 se jedná o stroj s velmi dobrým poměrem cena výkon, vhodným například pro montáže a svařovací práce v domácí dílně.

Seznam použitých zdrojů

1. OMICRON, s.r.o. *Gama 160 návod*. Třebíč, 2009, 21 s.
2. *Svarinfo: Magazín praktického svařování* [online]. [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.svarbazar.cz/phprs/index.php>
3. FOLDYNA, Václav. *Materiály a jejich svařitelnost: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 1999, 296 s. Svařování. ISBN 80-214-2683-7.
4. ESAB VAMBERK, s.r.o. *Problémy při obloukovém svařování: Příčiny vad a jejich odstranění* [online]. 7 s. Dostupné z: http://products.esab.com/ESABIImages/def_cz.pdf
5. LEINVEBER, Jan. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3. dopl. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006, xiv, 914 s. ISBN 80-736-1033-7.
6. Svářecí stroje OMICRON. [online]. [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://www.omc.cz/svareci-invertor-gama160>
7. KUBÍČEK, Jaroslav. *Technologie II - část svařování: Díl 1 základní metody tavného svařování* [online]. Brno, 2006, 118 s. [cit. 2013-05-09]. Dostupné z: <http://ust.fme.vutbr.cz/svarovani/opory.htm>
8. KANDUS, Bohumil, Jaroslav KUBÍČEK a Oldřich AMBROŽ. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-857-7181-0
9. KUNCIPÁL, Josef. *Teorie svařování*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1986, 265 s.
10. KUČERA, Jan. *Teorie svařování - část 1*. Ostrava: VŠB, 1994, 206 s.
11. BARTOŠ, Jaroslav. *Učebnice pro kurz svařování metodou III: (ruční obloukové svařování obalenou elektrodou)*. Ostrava: ZEROSS, 2006, 154 s. Svařování. ISBN 80-857-7177-2.
12. BARTÁK, Jiří. *Výroba a aplikované inženýrství ve svařování: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. 1. vyd. Ostrava: ZEROSS, 2000, 213 s. ISBN 80-857-7172-1.

Seznam použitých symbolů a zkratek

Označení	Legenda	Jednotka
D	celkový průměr elektrody	[mm]
d	průměr jádra elektrody	[mm]
I	svařovací proud	[A]
U	svařovací napětí	[V]
U ₀	napětí naprázdno	[V]
Ø	průměr	[mm]
APT	svařování pod tavidlem	
MAG	obloukové svařování tavící se elektrodou v aktivním plynu	
MIG	obloukové svařování tavící se elektrodou v inertním plynu	
MMA	ruční svařování obalenou elektrodou	
PA	poloha vodorovná shora	
PF	poloha svislá nahoru	
TIG	obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu	
WIG	obloukové svařování wolframovou elektrodou v inertním plynu	
WPS	specifikace svařovacího postupu	

Seznam obrázků

Obr. 1.1 Části elektrického oblouku.....	11
Obr. 1.2 Strmá voltampérová charakteristika.....	12
Obr. 1.3 Popis svařovacího zdroje Gama 160.....	15
Obr. 2.1 Obalená elektroda	16
Obr. 3.1 Základní materiál připravený ke svařování.....	22
Obr. 3.2 Vzorek číslo 1	23
Obr. 3.3 Vzorek číslo 1 – kořen svaru.....	23
Obr. 3.4 Vzorek číslo 2	24
Obr. 3.5 Vzorek číslo 2 – kořen svaru.....	24
Obr. 3.6 Vzorek číslo 3	24
Obr. 3.7 Vzorek číslo 3 – kořen svaru.....	24
Obr. 3.8 Vzorek číslo 4	25
Obr. 3.9 Vzorek číslo 4 – kořen svaru.....	25
Obr. 3.10 Vzorek číslo 5	25
Obr. 3.11 Vzorek číslo 5 – kořen svaru.....	25
Obr. 3.12 Vzorek číslo 6	26
Obr. 3.13 Vzorek číslo 6 – kořen svaru.....	26
Obr. 4.1 Vady ve svaru podle tvaru a polohy.....	27

Seznam tabulek

Tab. 1.1 Technická data zdroje Gama 160.....	15
Tab. 2.1 Sušení elektrod	19
Tab. 2.2 Pojmenování a symboly hlavních svařovacích poloh	20
Tab. 2.3 Hodnoty proudu a napětí podle \varnothing elektrody	21
Tab. 3.1 Číslování svařených vzorků	23

Seznam příloh

Příloha 1 – Označování elektrod podle normy EN ISO 2560 – A

Příloha 2 – Specifikace svařovacího postupu (WPS) 01

Příloha 3 – Specifikace svařovacího postupu (WPS) 02

Příloha 4 – Specifikace svařovacího postupu (WPS) 03

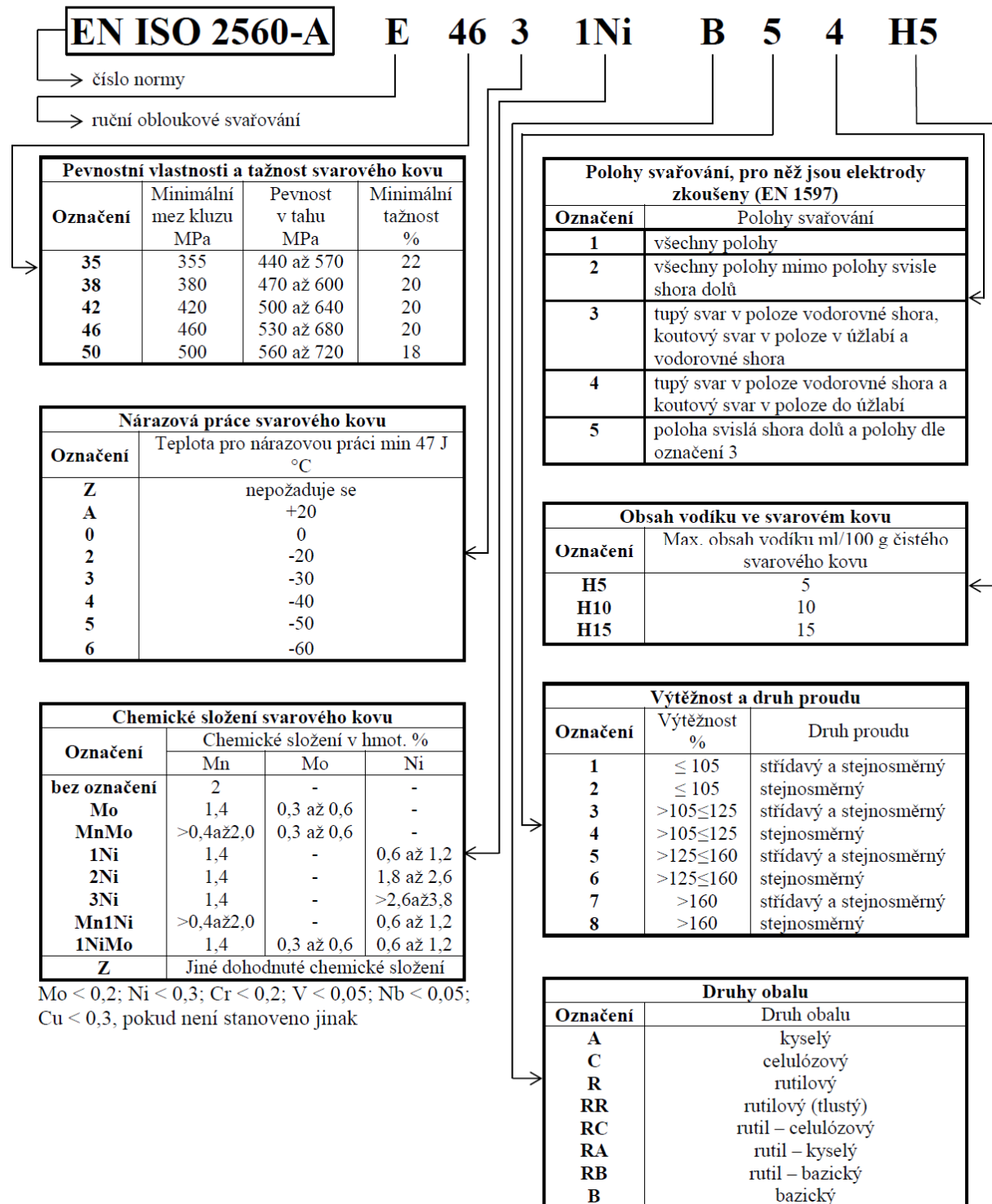
Příloha 5 – Specifikace svařovacího postupu (WPS) 04

Příloha 6 – Specifikace svařovacího postupu (WPS) 05

Příloha 7 – Specifikace svařovacího postupu (WPS) 06

Příloha 1

Obalené elektrody pro ruční obloukové svařování nelegovaných a jemnozrnných ocelí



Příloha 2

VUT FSI Brno	SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU (WPS)	Norma ČSN EN ISO 15609-1	Rev. 0
		Strana 1 z 1	

Postup svařování - WPS

Místo: Jihlava

Postup svařování výrobce:

Číslo dokladu WPS: 000 – 01

Číslo dokladu WPQR:

Výrobce: Michal Koudela

Metoda svařování: 111

Druh svaru: BW

Údaje o přípravě úkosu – výkres / náčrt:

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

Druh přípravy a čištění: mechanicky

Skupina zákl. materiálu: Skup. 1 (11 373)

Tloušťka materiálu [mm]: 3

Vnější průměr [mm]:

Poloha svařování: PA

Tvar spoje	Postup svařování

Svařovací parametry:

Vrstva	Metoda	Průměr přídavných materiálů	Svářecí proud [A]	Svářecí napětí [V]	Druh proudu, polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost posuvu pojezdu	Tepelný příkon
1	111	2,5 mm	80 – 90	21 – 26	DC +			

Přídavný materiál: ELEKTRODE JESENICE EVB 47, dle EN ISO 2560 – A: E 38 2 B 32 H5

Zvláštní předpis pro sušení: 400 °C / 1 h

Ochranný plyn/tavidlo: --

- ochranný plyn: --

- ochrana kořene: --

Průtočné množství plynu: --

Druh /průměr wolframové elektrody: --

Údaje o drážkování/podložení kořene: --

Teplota předehřevu: --

Interpass teplota: --

Tepelné po svařování nebo stárnutí: --

- doba, teplota metoda: --

- rychlost ohřevu a ochlazování: --

Další informace

Rozkyv (max. šířka housenky): --

Rozkyv: amplituda --

frekvence --

doba prodlevy --

Údaje pro pulsní svařování: --

Vzdálenost kontaktních dýz: --

Údaje pro plazmové svařování: --

Úhel nastavení hořáku: --

Výrobce:

Michal Koudela

24. 5. 2013

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

24. 5. 2013

Jméno, datum, podpis

Jméno, datum podpis

Příloha 3

VUT FSI Brno	SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU (WPS)	Norma	Rev.
		ČSN EN ISO 15609-1	0
		Strana 1 z 1	

Postup svařování - WPS

Místo: Jihlava

Postup svařování výrobce:

Číslo dokladu WPS: 000 – 02

Číslo dokladu WPQR:

Výrobce: Michal Koudela

Metoda svařování: 111

Druh svaru: BW

Údaje o přípravě úkosu – výkres / náčrt:

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

Druh přípravy a čištění: mechanicky

Skupina zákl. materiálu: Skup. 1 (11 373)

Tloušťka materiálu [mm]: 3

Vnější průměr [mm]:

Poloha svařování: PA

Tvar spoje	Postup svařování

Svařovací parametry:

Vrstva	Metoda	Průměr přídavných materiálů	Svářecí proud [A]	Svářecí napětí [V]	Druh proudu, polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost posuvu pojezdu	Tepelný příkon
1	111	2,5 mm	50 – 90	21 – 26	DC -			

Přídavný materiál: ELEKTORDE JESENICE RUTILEN 13, dle EN ISO 2560 – A: E 42 0 RR 12

Zvláštní předpis pro sušení: 140 °C / 1 h

Ochranný plyn/tavidlo: --

- ochranný plyn: --

- ochrana kořene: --

Průtočné množství plynu: --

Druh /průměr wolframové elektrody: --

Údaje o drážkování/podložení kořene: --

Teplota předehřevu: --

Interpass teplota: --

Tepelné po svařování nebo stárnutí: --

- doba, teplota metoda: --

- rychlost ohřevu a ochlazování: --

Další informace

Rozkvy (max. šířka housenky): --

Rozkvy: amplituda --

frekvence --

doba prodlevy --

Údaje pro pulsní svařování: --

Vzdálenost kontaktních dýz: --

Údaje pro plazmové svařování: --

Úhel nastavení hořáku: --

Výrobce:

Michal Koudela

24. 5. 2013

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

24. 5. 2013

Jméno, datum, podpis

Jméno, datum podpis

Příloha 4

VUT FSI Brno	SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU (WPS)	Norma	Rev.
		ČSN EN ISO 15609-1	0
		Strana 1 z 1	

Postup svařování - WPS

Místo: Jihlava

Postup svařování výrobce:

Číslo dokladu WPS: 000 – 03

Číslo dokladu WPQR:

Výrobce: Michal Koudela

Metoda svařování: 111

Druh svaru: BW

Údaje o přípravě úkosu – výkres / náčrt:

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

Druh přípravy a čištění: mechanicky

Skupina zákl. materiálu: Skup. 1 (11 373)

TLoušťka materiálu [mm]: 6

Vnější průměr [mm]:

Poloha svařování: PA

Tvar spoje	Postup svařování

Svařovací parametry:

Vrstva	Metoda	Průměr přídavných materiálů	Svářecí proud [A]	Svářecí napětí [V]	Druh proudu, polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost posuvu pojezdu	Tepelný příkon
1	111	2,5 mm	70 – 90	21 – 26	DC +			
2	111	2,5 mm	70 – 90	21 – 26	DC +			

Přídavný materiál: ELEKTRODE JESENICE EVB 47, dle EN ISO 2560 – A: E 38 2 B 32 H5

Zvláštní předpis pro sušení: 400 °C / 1 h

Ochranný plyn/tavidlo: --

- ochranný plyn: --

- ochrana kořene: --

Průtočné množství plynu: --

Druh /průměr wolframové elektrody: --

Údaje o drážkování/podložení kořene: --

Teplota předehřevu: --

Interpass teplota: --

Tepelné po svařování nebo stárnutí: --

- doba, teplota metoda: --

- rychlost ohřevu a ochlazování: --

Další informace

Rozkvy (max. šířka housenky): --

Rozkvy: amplituda --

frekvence --

doba prodlevy --

Údaje pro pulsní svařování: --

Vzdálenost kontaktních dýz: --

Údaje pro plazmové svařování: --

Úhel nastavení hořáku: --

Výrobce:

Michal Koudela

24. 5. 2013

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

24. 5. 2013

Jméno, datum, podpis

Jméno, datum podpis

Příloha 5

VUT FSI Brno	SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU (WPS)	Norma	Rev.
		ČSN EN ISO 15609-1	0
		Strana 1 z 1	

Postup svařování - WPS

Místo: Jihlava

Postup svařování výrobce:

Číslo dokladu WPS: 000 – 04

Číslo dokladu WPQR:

Výrobce: Michal Koudela

Metoda svařování: 111

Druh svaru: BW

Údaje o přípravě úkosu – výkres / náčrt:

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

Druh přípravy a čištění: mechanicky

Skupina zákl. materiálu: Skup. 1 (11 373)

Tloušťka materiálu [mm]: 6

Vnější průměr [mm]:

Poloha svařování: PA

Tvar spoje	Postup svařování

Svařovací parametry:

Vrstva	Metoda	Průměr přídavných materiálů	Svářecí proud [A]	Svářecí napětí [V]	Druh proudu, polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlos t posuvu pojezdu	Tepelný příkon
1	111	2,5 mm	90 – 120	21 – 26	DC -			
2	111	2,5 mm	90 – 120	21 – 26	DC -			

Přídavný materiál: ELEKTORDE JESENICE RUTILEN 13, dle EN ISO 2560 – A: E 42 0 RR 12

Zvláštní předpis pro sušení: 140 °C / 1 h

Ochranný plyn/tavidlo: --

- ochranný plyn: --

- ochrana kořene: --

Průtočné množství plynu: --

Druh /průměr wolframové elektrody: --

Údaje o drážkování/podložení kořene: --

Teplota předehřevu: --

Interpass teplota: --

Tepelné po svařování nebo stárnutí: --

- doba, teplota metoda: --

- rychlost ohřevu a ochlazování: --

Další informace

Rozkvy (max. šířka housenky): --

Rozkvy: amplituda --

frekvence --

doba prodlevy --

Údaje pro pulsní svařování: --

Vzdálenost kontaktních dýz: --

Údaje pro plazmové svařování: --

Úhel nastavení hořáku: --

Výrobce:

Michal Koudela

24. 5. 2013

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

24. 5. 2013

Jméno, datum, podpis

Jméno, datum podpis

Příloha 6

VUT FSI Brno	SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU (WPS)	Norma	Rev.
		ČSN EN ISO 15609-1	0
		Strana 1 z 1	

Postup svařování - WPS

Místo: Jihlava

Postup svařování výrobce:

Číslo dokladu WPS: 000 – 05

Číslo dokladu WPQR:

Výrobce: Michal Koudela

Metoda svařování: 111

Druh svaru: BW

Údaje o přípravě úkosu – výkres / náčrt:

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

Druh přípravy a čištění: mechanicky

Skupina zákl. materiálu: Skup. 1 (11 373)

Tloušťka materiálu [mm]: 6

Vnější průměr [mm]:

Poloha svařování: PF

Tvar spoje	Postup svařování

Svařovací parametry:

Vrstva	Metoda	Průměr přídavných materiálů	Svářecí proud [A]	Svářecí napětí [V]	Druh proudu, polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost posuvu pojezdu	Tepelný příkon
1	111	2,5 mm	80 – 100	21 – 26	DC -			
2	111	2,5 mm	80 – 100	21 – 26	DC -			

Přídavný materiál: ELEKTORDE JESENICE RUTILEN 13, dle EN ISO 2560 – A: E 42 0 RR 12

Zvláštní předpis pro sušení: 140 °C / 1 h

Ochranný plyn/tavidlo: --

- ochranný plyn: --

- ochrana kořene: --

Průtočné množství plynu: --

Druh /průměr wolframové elektrody: --

Údaje o drážkování/podložení kořene: --

Teplota předehřevu: --

Interpass teplota: --

Tepelné po svařování nebo stárnutí: --

- doba, teplota metoda: --

- rychlost ohřevu a ochlazování: --

Další informace

Rozkvy (max. šířka housenky): --

Rozkvy: amplituda --

frekvence --

doba prodlevy --

Údaje pro pulsní svařování: --

Vzdálenost kontaktních dýz: --

Údaje pro plazmové svařování: --

Úhel nastavení hořáku: --

Výrobce:

Michal Koudela

24. 5. 2013

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

24. 5. 2013

Jméno, datum, podpis

Jméno, datum podpis

Příloha 7

VUT FSI Brno	SPECIFIKACE SVAŘOVACÍHO POSTUPU (WPS)	Norma	Rev.
		ČSN EN ISO 15609-1	0
		Strana 1 z 1	

Postup svařování - WPS

Místo: Jihlava

Postup svařování výrobce:

Číslo dokladu WPS: 000 – 06

Číslo dokladu WPQR:

Výrobce: Michal Koudela

Metoda svařování: 111

Druh svaru: BW

Údaje o přípravě úkosu – výkres / náčrt:

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

Druh přípravy a čištění: mechanicky

Skupina zákl. materiálu: Skup. 1 (11 373)

Tloušťka materiálu [mm]: 6

Vnější průměr [mm]:

Poloha svařování: PF

Tvar spoje	Postup svařování

Svařovací parametry:

Vrstva	Metoda	Průměr přídavných materiálů	Svářecí proud [A]	Svářecí napětí [V]	Druh proudu, polarita	Rychlost podávání drátu	Rychlost posuvu pojezdu	Tepelný příkon
1	111	2,5 mm	70 – 90	21 – 26	DC +			
2	111	2,5 mm	70 – 90	21 – 26	DC +			

Přídavný materiál: ESAB E – B 121, dle EN ISO 2560 – A: E 38 3 B 42 H10

Zvláštní předpis pro sušení: 350 °C / 2 h

Ochranný plyn/tavidlo: --

- ochranný plyn: --

- ochrana kořene: --

Průtočné množství plynu: --

Druh /průměr wolframové elektrody: --

Údaje o drážkování/podložení kořene: --

Teplota předehřevu: --

Interpass teplota: --

Tepelné po svařování nebo stárnutí: --

- doba, teplota metoda: --

- rychlost ohřevu a ochlazování: --

Další informace

Rozkvy (max. šířka housenky): --

Rozkvy: amplituda --

frekvence --

doba prodlevy --

Údaje pro pulsní svařování: --

Vzdálenost kontaktních dýz: --

Údaje pro plazmové svařování: --

Úhel nastavení hořáku: --

Výrobce:

Michal Koudela

24. 5. 2013

Zkušební orgán nebo organizace:

Ing. Jaroslav Kubíček

24. 5. 2013

Jméno, datum, podpis

Jméno, datum podpis