

MONITOROVÁNÍ SVAŘOVACÍHO PROCESU, OVĚŘENÍ TEPLOT NUMERICKÉ SIMULACE SVAŘOVACÍHO PROCESU POMOCÍ WIS (WELDING INFORMATION SYSTEM)

Lukáš HOLUB^A, Drahoň NOVOSÁD^B

^A *Katedra strojírenské technologie, Fakulta strojní, ČVUT, Technická 4, 166 07
Praha 6, CZ, holubl@centrum.cz*

^B *TESYDO, s.r.o., Mariánské nám. 1, 617 00 Brno, CZ, novosad@tesydo.cz*

Abstrakt:

Článek se soustředí na obecný popis monitorování svařovacího procesu (hlavních svařovacích parametrů), problematikou zabezpečení průkaznosti monitorování svařovacího procesu a ověření pravosti údajů, možnosti jeho využití ve svařovací praxi (vhodnost k validaci numerické simulace svařovacího procesu).

Abstrakt anglicky:

The article focuses on a general description of the monitoring of the welding process (main welding parameters), security issues, evidence supporting the monitoring of the welding process and the authenticity of the data, the possibility of its use in welding experience (suitability to validate numerical simulation of welding process).

1. Úvod

Svařování je klasifikováno jako zvláštní proces, jehož výsledek nemůže být vždy ověřen zkoušením až po ukončení svařovacího procesu. Jakost provedeného svaru musí být proto zajišťována během jeho výroby, tedy nikoliv jen kontrolami a zkouškami hotového výrobku, ale vhodným řízením svařovacích procesů a zejména jejich monitorováním vhodnými nástroji. Řízení svařovacího procesu může být prováděno v souladu s EN ISO 3834, jež popisuje základní požadavky na zajištění jakosti svarů konečného výrobku a zároveň předepisuje požadavek na záznamy důležitých údajů a jeho celkové monitorování od fáze příjmu materiálu, provedení svařovacích prací, finálních úprav na svařenci či odevzdání hotového výrobku odběrateli.

Požadavky průmyslu na svařovací výrobu vyžadují permanentní zajištění kvalitních svarů při zvyšování produktivity výroby a snižování výrobních nákladů.



Obr.č.: 1 WIS - sestava

Dosažení těchto cílů je v zájmu všech částí výrobního podniku v celém výrobním procesu tedy i ve svařování. Pomocí přímého monitorování svařovacího procesu dokážeme přesně odečíst řadu svařovacích parametrů jako je velikost svařovacího proudu, svařovacího napětí za účelem představy stability oblouku, dále je možno zjišťovat rychlost průtoku ochranného plynu (jeho spotřebu), rychlost posuvu drátu (spotřeba přídatného materiálu), svařovací rychlost (umožňující spočítat velikost tepelného příkonu po zavaření svarové housenky). Neméně důležitou veličinou je teplota, kterou je možno monitorovat online, až několika termočlánky najednou (kontrola $t_{8/5}$, vstupní data k validaci tepelného zdroje při numerické simulaci). Všechny sledované veličiny a možnost jejich následného řízení umožňuje provést řadu opatření vedoucích nejen k významné úspoře nákladů, ale i velmi pomáhá s tvorbou a evidencí dnes životně důležitých záznamů průběhu svařovacího procesu (jako průkazného materiálu řízení zakázky a zajištění kvalitní svařovací výroby).

2. WIS – nástroj k monitorování

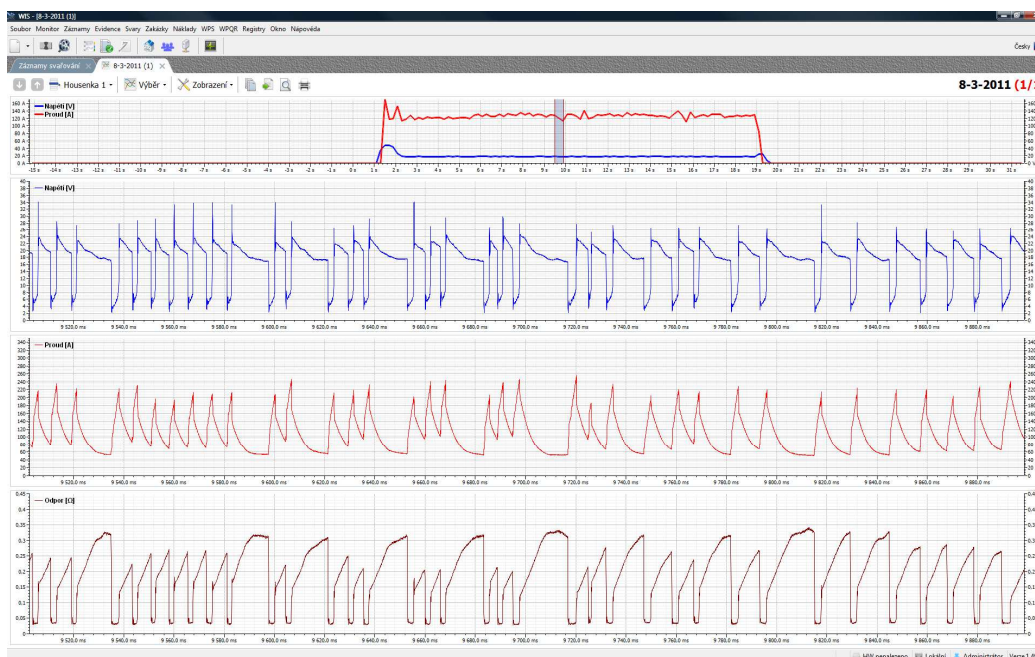
Monitorovací systém svařování vychází z požadavku normy řady EN ISO 3834:2005. V normě je stanoven požadavek na monitorování zvláštního technologického procesu za účelem ukládání dat, tj. parametrů svařování, které ovlivňují kvalitu provádění tohoto procesu ve výrobních i montážních podmínkách. Monitorovací systém WIS je tvořen centrální měřicí jednotkou napájenou napětím

20 V, která je propojena USB kabelem s počítačem uživatele. K centrální jednotce jsou připojovány specifické kabely vedoucí k jednotlivým snímačům měřící příslušné veličiny.

2.i Monitorování průběhu proudu a napětí a jeho využití

Detailní záznam průběh proudu a napětí poskytuje základní informace o svařovacím procesu. Měření napětí a proudu je prováděno s frekvencí 25 tis. odměrů za sekundu. Data jsou ukládána přímo do databáze, ať již lokální na PC uživatele nebo prostřednictvím počítačové sítě na vzdálený server.

Záznam je možné přiřadit konkrétnímu svářeči, základnímu materiálu, přídatnému materiálu, metodě a opatřit časovým razítkem kdy bylo svařování uskutečněno. Naměřené hodnoty je možné analyzovat v modulu vyhodnocení průběhu svařování, např. porovnat (graficky i číselně) se vzorovým průběhem daného typu spoje.



Obr.č.: 2 Monitoring veličin

2.ii Monitorování ostatních veličin

Posuv drátu – měření rychlosti posuvu svařovacího drátu. Možnost připojit až dva snímače s vyhodnocením směru posuvu (vpřed/vzad). Průtok plynu – možnost připojit až 3 snímače pro primární (svařovací hubice), sekundární (ochrana kořene) a terciární (vlečná ochrana svaru) ochranu. Teplota základního materiálu (předehřev) – možnost měřit až ? termočlánky, buď kontinuálně stabilně umístěnými, nebo dotykově v okamžicích zvolených obsluhou. Jednotka pro

měření teploty má vlastní displej pro rychlou orientaci. Rychlost svařování – je určována inkrementálním snímačem a následným přepočtem na mm/s.

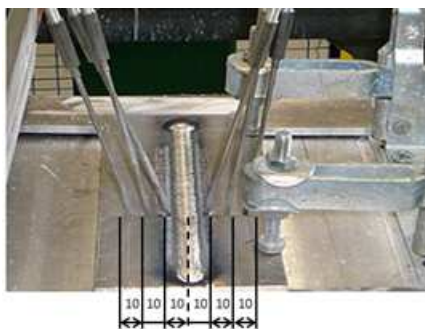
2.iii Modul monitorování pracovního bodu U/I:

Jde o softwarový modul navazující na modul monitorování U/I, který umožňuje jak on-line (přímo během svařování), tak dodatečně off-line vyhodnotit zda se rozsah hodnot U/I pohybuje v přípustné oblasti pracovního diagramu.

2.iv Modul vyhodnocení průběhu svařování

Modul slouží k dodatečnému „off-line“ vyhodnocení monitorovacích dat uložených v databázi. Jako základ pro vyhodnocení průběhu svařování se používají především grafické přehledy, ať již primárních, tak vypočtených dat. Data bude možné prezentovat i v tabulkové formě a exportovat je k případné další analýze v aplikacích třetích stran. Kromě práce s primárně naměřenými veličinami je možné pracovat i s vypočtenými veličinami, ke kterým patří zejména: Střední hodnota svařovacího proudu a napětí, minimální, maximální a průměrné hodnoty všech veličin, histogramy/četnost naměřených hodnot pro zvolené veličiny, tepelný příkon, počet zkratů za sekundu, spotřeba svařovacího drátu.

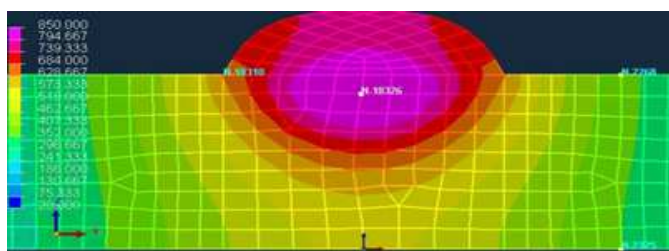
3. Monitorování teploty za účelem validace s numerickou simulací



Obr.č.: 3 Umístění termočlánků

Teplotní analýza za účelem validace teplotních hodnot na fyzickém vzorku a vzorku simulovaném. Pro validaci hodnot získaných z numerické simulace, byl proveden zkušební test návaru na Al deskách, kde byla fyzicky měřena teplota pro porovnání s výslednou teplotou z numerické simulace. Teplotní analýza ukáže, zda zkoumané hodnoty jsou odpovídající fyzickému experimentu. Při fyzickém experimentu byla zvolena technologie navařování metodou GMAW (svařování

elektrickým obloukem v ochranné inertní atmosféře). Experiment byl proveden na deskách o rozměrech 190 x 95 mm a tloušťce 6 mm. Termočlánky se umístily 55 mm od počátku desky. Na vzorku byla sledována teplota v šesti kontrolních bodech pomocí měřící stanice WIS (Welding Information System), která byla osazena termočlánky typu „K“ s připojeným vedením umožňující měření teploty v rozmezí od 0°C do 1200°C.



Za účelem konstrukce tepelného zdroje pro numerickou simulaci zdroje byl proveden výbrus vzorku. Metalografická analýza

Obr.č.: 4 Výbrus - simulace (57 mm)

byla provedena ve vzdálenosti 55 mm od začátku svařování, z výbrusu byly odečteny hodnoty, jako je hloubka závaru a převýšení, nejen ke konstrukci tepelného zdroje, ale i ke konstrukci vzniklé svarové housenky (návaru) na základním materiálu.

Pro získání dobrého rozptýlení teplotních přestupů, je důležité přenesení vzniklých rozměrů do numerické simulace, aby odpovídaly skutečnosti. Na základě provedené metalografické analýzy numerickou simulací (viz obr. č. 10 Simulace – výbrus (57mm) je patrné, že svarová housenka přesně kopíruje tvar fyzického vzorku. V oblasti závaru je možno odečíst teplotní pole a jejich odpovídající teploty, důležitým prvkem v simulaci bylo dosáhnout teplot natavení materiálu ve všech nutných bodech, jako je například pata svaru (dosaženo, obr. č.:11 Umístění termočlánků – simulace (57mm) viz níže bod - N-18310, 635 °C).

Pro porovnání výsledků byly odečteny výsledné hodnoty teplot v přibližně stejném souřadnicovém bodě (x,y), kde byly umístěny termočlánky. Odečet teplot na modelu se provedlo pouze v jednom směru, za předpokladu dodržení podmínek symetrie (model byl konstruován kopií zleva doprava přes osu svaru – je předpokládáno zachování stejné sítě na obou stranách – teplotní rozdíly, pokud jsou nějaké, jsou minimální).



Obr.č.: 5 Umístění termočlánků - simulace (57 mm)

Síťový model nedovolil provést řez přesně v délce 55 mm, varianty byly pouze 54 mm nebo 57 mm. Byla zvolena vzdálenost 57 mm, a proto je možné očekávat o něco větší teploty než na fyzickém vzorku.

Fyzický vzorek	Souřadnice [x,x]	Simulace	Souřadnice [x,x]	Označení NODE
Termočlánek č. 1	[10,55]	Termočlánek č. 1	[9.88,57]	N-33325
Termočlánek č. 2	[20,55]	Termočlánek č. 2	[19.26,57]	N-38077
Termočlánek č. 3	[30,55]	Termočlánek č. 3	[30.33,57]	N-41437
Termočlánek č. 4	[-10,55]	Termočlánek č. 4	[-9.88,57]	N-33325
Termočlánek č. 5	[-20,55]	Termočlánek č. 5	[-19.26,57]	N-38077
Termočlánek č. 6	[-30,55]	Termočlánek č. 6	[-30.33,57]	N-41437

Tab.č.: 1 Umístění termočlánků (zkušební kus/simulace)

Kontrolní body	Měření	Měření	Měření	Měření	Teplota dle výpočtu simulace [°C]
	č. 1	č. 2	č. 3	č. 4	
Termočlánek č. 1	261	252	264	268	279.246216
Termočlánek č. 2	146	142	152	149	125.384689
Termočlánek č. 3	86	86	87	86	64.756729
Termočlánek č. 4	258	241	243	257	279.246216
Termočlánek č. 5	127	140	133	142	125.384689
Termočlánek č. 6	77	83	80	86	64.756729

Tab.č.: 2 Naměřené teploty a validace s numerickou simulací

Zvýše uvedených výsledků a porovnání odchylek od provedeného měření bylo zjištěno, že maximální odchylka od skutečnosti byla u termočlánu č. 4 při druhém a třetím měření (+ 38 °C, -36 °C) a nejmenší rozdíly byly nalezeny na termočlánu č. 5 (+2°C, +8°C) při prvním a třetím měření.

Hlavní vliv na rozdílnost mezi skutečností a simulací má zásadní vliv přesné umístění termočlánu, jejich přesné souřadnice odečtu teplot, jelikož detailním rozbořem bylo zjištěno, že v simulačním programu vzdálenost 1 mm činí cca 10,7°C. Přesná lokalizace a přesné místo odečtu teploty se může pohybovat ±1 mm, což znamená vychýlení o 10,7°C. Samotné odečty teplot v rozdílných souřadnicových bodech na síťovém modelu nesou významný podíl na rozdílnosti výsledků, je proto nutné síťový model precizně navrhnout, aby se dokázaly tyto rozdílnosti eliminovat na minimum.

4. Závěr

Samotný proces svařování považujeme za velmi složitý, který je náročný na zaznamenání jednotlivých veličin a parametrů ovlivňující kvalitu svařování, monitorování a jeho reprodukovatelnost. Při spojení numerické simulace a možností online měření a monitorování důležitých veličin se nám otevírají možnosti významného snížení nákladů na výrobu a případné opravy. Při pozorování teplot na termočláncích a jejich srovnání se simulací je možné konstatovat, že vzniklé rozdíly výsledků mohou být tedy zapříčiněny, jak měřením termočlánu, návrhem síťového modelu tak i následnou simulací.

Přesněji, odchylky způsobené měřením pomocí WIS + termočlánu mohou být způsobeny: druhem termočlánu, polohou jejich umístění, metodikou měření. Odchylky způsobené simulací: hrubostí sítě, kterou byl rozdělen 3D model

v simulačním programu, místo odečítání hodnot teploty, stanovení tepelného zdroje, zadané hodnoty základního a přídavného materiálu.

Seznam použité literatury

- [1] SYSWELD 2010 : Reference Manual, [Paris] : ESI Group, leden 2010
- [2] BARTÁK, J.: Učební texty pro kurzy evropské svářečské specialisty, praktiky a inspektory, [Ostrava]: Zeross, 2002. 402-404 s., ISBN 80-85771-97-7.
- [3] KOVANDA, K a spol.: Praktické ověření počítačové simulace svařování při GMAW navařování, [Praha, ČVUT]: 2-3 s.
- [4] Kolektiv autorů: Výroba a aplikované inženýrství ve svařování, [Ostrava]: Zerros, 2000. 173-176 s., ISBN 80-85771-72-1
- [5] LEBLOND, J. B., PONT, D., DEVAUX, J., BERGHEAU, J. M.: Metallurgical and mechanical consequences of phase transformations in numerical simulations of welding processes
- [6] BONIFACE, R.: WELDING ENGINEERING, 141 – 147 s., Library of Congress Catalog Card Number: 52-12362
- [7] Katalog přídavných materiálů pro svařování, [ESAB Vamberk]: 2007. H, I, J s.
- [8] Macek, K., Zuna, P. a kol.: Nauka o materiálu: [Praha] :Vydavatelství ČVUT, 1996., ISBN 80-01-01507-6
- [9] SLOVÁČEK, M.: Svařování rotoru vřesová: [Brno]:MECAS ESI, 2007
- [10] KUDĚLKA, V.: Recenzní posudek - Monitoring parametrů při svařování komponent jaderných zařízení: [Brno]:TESYDO s.r.o. 2008
- [11] KUDĚLKA, V.: Sborník technické konference - Hustopeče 2012 [Brno]:TESYDO s.r.o. 2012
- [12] MARTANČÍKOVÁ, G.: Možnosti využitia počítačovej podpory oblúkových metód zvarania: [Trnava] : MTF-10906-33077

**WIS[®]****WELDING INFORMATION SYSTEM**

PROFESIONÁLNÍ SVAŘOVÁNÍ, MONITOROVÁNÍ A DOKUMENTACE SVAŘENCŮ

Tento systém umožňuje mít perfektní informaci o vaší svářečské výrobě nebo výuce svářečů.

Požadavek na monitorování zvláštních procesů stanovuje ČSN EN ISO 3834 za účelem ukládání dat, tj. parametrů svařování, které ovlivňují kvalitu provádění tohoto procesu ve výrobních i montážních podmínkách.

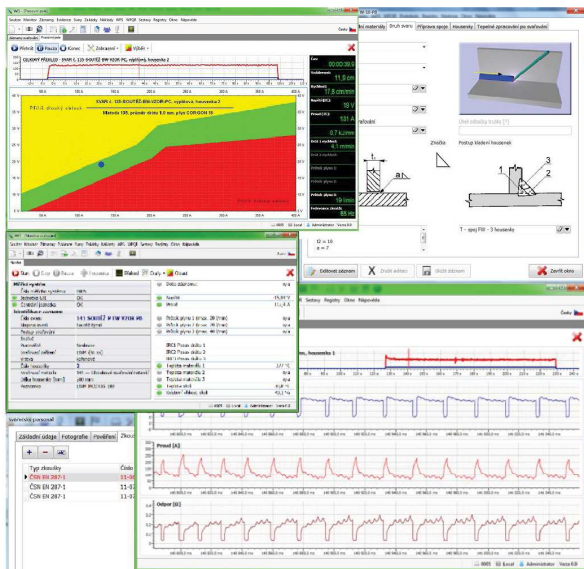
Garantem a spoluvůrcem tohoto systému je Zkušební organizace TESYDO, s.r.o. a Česká svářečská společnost ANB ve spolupráci s výrobcem svařovacích zdrojů ALFA IN a.s. a ENVINET a.s.**Dodáváme tři varianty informačního systému WIS[®] WELDING INFORMATION SYSTEM**

WIS[®] training – (základní verze) - snímá napětí a proud, je to ideální nástroj pro vytváření dokumentace svařování, usnadní navrhování postupů svařování (WPS), umožňuje vést přehled svářečů a jejich zkoušek, svarů, poskytne informace o problematice svařování a pracovním bodu svařovacího zdroje pro účastníky svářečských kurzů aj.

WIS[®] testing – (rozšířená verze) - navíc dává možnost monitorovat proces svařování i všech ostatních důležitých veličin, což umožňuje zobrazit a analyzovat svařovací parametry a tím snáze odhalovat a analyzovat vady svarů, zvýšit kvalitu výrobků, zajistit jejich dokonalé dokladování a reprodukovatelnost, provést technologickou a nákladovou optimalizaci výroby.

WIS[®] industry – (individuální verze) - systém je možno doplnit dle speciálních požadavků zákazníka. Pro orbitální svařování, mechanizované svařování, svařovací linky, robotizované pracoviště atd.

Systém je přizpůsoben pro tyto metody obloukového svařování: 111, 114, 121, 122, 123, 124, 131, 135, 136, 137, 141, 15

**Systém umožňuje současně monitorovat více svařovacích zdrojů bez ohledu na jejich typ a výrobce****Některé možnosti informačního systému WIS[®] WELDING INFORMATION SYSTEM**

- ▶ spuštění programu je možné ve volitelném jazyce
- ▶ tisk sestav je rovněž možný ve volitelném jazyce
- ▶ on-line zobrazení pracovního bodu pro MIG, MAG
- ▶ monitorování procesu svařování, zobrazení a záznam
- ▶ analýza parametrů svařování, tisk parametrů, grafů
- ▶ studie nákladů daného svaru (nákladová optimalizace)
- ▶ grafické porovnání parametrů jednotlivých housenek
- ▶ sdílení nasnímaných i ostatních dat do počítačové sítě pro další zpracování (robustní systém klient-server)

- ▶ předběžný postup svařování (protokol pWPS)
- ▶ postup svařování (protokol WPS)
- ▶ všechny protokoly NDT
- ▶ všechny protokoly DT

Další informace v systému:

- ▶ evidence svařovacích zařízení
- ▶ přehled svářečů včetně platnosti osvědčení
- ▶ protokol kvalifikace postupu svařování (WPQR)

ENVINET a.s.

Do systému lze snadno začlenit i jiné, než uvedené protokoly a databáze, a to podle potřeby zákazníků, event. dalších požadavků výroby nebo struktury svařovaných výrobků.

Kontakt : Drahoň Novosad	Tel. / fax / záznam : 545 129 470	IČ :	Bankovní spojení : ČS, a.s. Brno
TESYDO, s.r.o. Mariánské nám. 1 617 00 BRNO	Telefon : 545 129 471, 225, 207	26962969	č. účtu : 000000 – 2052325359/0800
	e - mail : info@tesydo.cz	DIČ :	Registrace u Krajského soudu v Brně
	Internet : www.tesydo.cz	CZ 26962969	v oddílu C, vožce č. 48253
TECHNICKÉ SYSTÉMOVÉ DOZORY - TECHNICAL SYSTEM INSPECTIONS			