



METODA AKUSTICKÉ EMISE V HODNOCENÍ KVALITY ODPOROVÉHO BODOVÉHO SVAŘOVÁNÍ ACOUSTIC EMISSION TESTING IN QUALITY CONTROL OF RESISTANCE SPOT WELDING

Libor NOHÁL, Pavel MAZAL, Libor TOPOLÁŘ, Luboš PAZDERA
Vysoké učení technické v Brně, FSI, Ústav konstruování
Contact e-mail: nohal@fme.vutbr.cz

Abstrakt

Cílem monitorování výrobních procesů je zaručit maximální kvalitu vyráběných produktů. Při řízení těchto procesů, jako je například bodové odporové svařování, je třeba zajistit zpětnou vazbu. Pro monitorování a řízení těchto procesů proto nachází uplatnění metoda akustické emise, jejíž parametry reagují na změny v charakteristických fázích svařovacího procesu a mohou predikovat vlastnosti svaru. Tento článek shrnuje dosavadní poznatky publikované různými autory a prezentuje poslední výsledky experimentů provedené na Ústavu konstruování Vysokého učení technického v Brně.

Klíčová slova: odporové bodové svařování, akustická emise, hodnocení kvality svarů

Abstract

The goal of manufacturing process monitoring is to ensure the highest quality of manufactured products. During the control and monitoring of these processes, such as spot resistance welding, it is necessary to provide the feedback control. The acoustic emission method is suitable for a monitoring and feedback control of these processes; the acoustic emission parameters respond to changes in characteristic phases of the welding process and can predict the properties of the weld. This article summarizes the current knowledge published by various authors and presents the latest results of the experiments carried out at the Institute of Machine and Industrial Design of Brno University of Technology.

Key words: resistance spot welding, acoustic emission, welding quality control

1. Úvod

Odporové bodové svařování (RSW) patří do skupiny metod tlakového svařování. U tohoto typu svařování dochází ke spojení materiálů v důsledku tlakového silového působení za současného působení tepla v místě vznikajícího svaru. Materiál se v místě styku kontaktních ploch ohřeje odporovým teplem, generovaným při průchodu elektrického proudu přechodovým odporem. Vzniklé teplo můžeme pomocí Joule-Lenzova zákona kvantifikovat dle rovnice (1). Z důvodu snižování nákladů a zvyšování efektivnosti výroby je obecně do výrobních procesů zaváděna automatizace a robotizace. Díky možnosti uplatnit odporové bodové

svařování v automatickém svařovacím procesu, nachází tato metoda největší uplatnění zejména v automobilovém průmyslu při svařování karosérií. Další oblasti využití najdeme v dopravní technice (vagony, letecký průmysl), vzduchotechnice, při výrobě krytování strojů, domácích spotřebičů apod. Jak již bylo zmíněno výše, množství tepla daného přechodovým odporem je dáno Joule-Lenzovým zákonem:

$$Q = R \cdot I_w^2 \cdot t_w \quad (1)$$

kde:

Q – vzniklé teplo (J);

R – elektrický odpor (Ω) – celkový odpor: je součtem několika složek;

I_w – elektrický proud (A);

t_w – doba průchodu proudu (s).

Z hlediska kvality svaru hrají důležitou úlohu při všech způsobech odporového svařování základní parametry svařování. U odporového bodového svařování můžeme tyto parametry odvodit z rovnice (1). Charakteristické základními parametry svařovacího procesu pro tuto metodu jsou tedy **svařovací proud I_w** ; **přítlačná síla F_w** a **svařovací čas t_w** .

Pro hodnocení kvality bodového odporového svařování se používá celá řada destruktivních (sekáčová zkouška, odlupovací zkouška atd.) a nedestruktivních metod zkoušení. Nedestruktivní metody zkoušení snižují náklady, zvyšují rychlost a spolehlivost zkoušení. Mezi nedestruktivní metody užívané pro hodnocení kvality bodových svarů patří vizuální kontrola, měření tepelné vodivosti a nejrozšířenější zkoušení hotových svarů ultrazvukovou metodou. Nicméně každá defektoskopická metoda má své omezení vyplývající z fyzikální podstaty, proto se v praxi při hodnocení kvality svarů tyto metody vhodně kombinují [1,2].

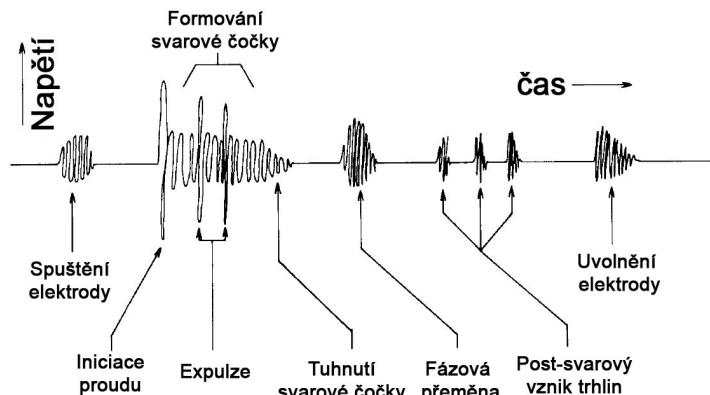
Pro monitorování samotného procesu odporového svařování je využíváno: monitorování hraničních elektrických parametrů (zejména svařovacího proudu); monitorování dynamických elektrických parametrů (snímání napětí, nebo el. proudu a následně dopočet elektrického výkonu, či el. odporu – robustní pouze při ideálních podmínkách); sledování rozšíření svarových čoček a v neposlední řadě využitím metody akustické emise (AE) [2-5, 7].

2. Aplikace akustické emise v monitorování kvality bodových svarů

Metoda akustické emise je dynamická pasivní metoda nedestruktivního zkoušení. Výhodou této metody při monitorování procesu bodového odporového svařování je možnost umístění snímačů AE mimo oblast ovlivněnou svařovacím procesem, jelikož emitované vlny AE se šíří materiálem přes elektrodu až k snímačům. Odporové bodové svařování se sestává z několika fází: spuštění elektrody, sevření, průtoku proudu, kování (zpracování svaru), výdrže a uvolnění elektrod. Během těchto částí svařovacího procesu jsou generovány různé typy signálu akustické emise, viz obr. 1 [3, 4].

Tyto jednotlivé části signálu akustické emise mohou chybět, nebo naopak získat na intenzitě v závislosti na materiálu, tloušťce atp. Pro hodnocení kvality svaru jsou nejpodstatnější informace získané z AE emitované během formace svarové

čočky, jejího rozšíření, fázové transformace (při velké rychlosti ohřevu a chlazení dochází v místě svaru u ocelí s dostatečným množstvím uhlíku k martenzitické přeměně), případně může být detekován post-svarový vznik trhlin [4,6-8].



Obr. 1 Typický signál AE během RSW [4]

Fig. 1 Typical AE signal during RSW

Během průtoku elektrického proudu je zdrojem akustické emise plastická deformace, expanze svarové čočky, tření, natavení materiálu a expulze. V oblasti formování svarové čočky signály AE způsobené expulzí mají obecně větší amplitudu a jsou rozlišitelné od zbytku signálu AE v této fázi [3, 4].

3. Experimentální část

Tato část prezentuje metodiku měření a shrnuje prvotní výsledky provedených experimentů.

3.1 Metodika měření a použitá aparatura

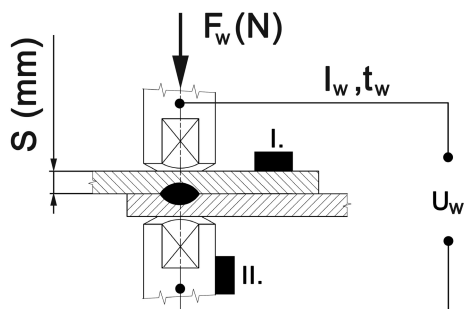
Pro experimenty byly použity vzorky ocelového plechu o rozměrech ($\text{\AA} \times \text{dxs}$) ($30 \times 360 \times 1$) mm. Materiálem všech vzorků byla ocel určená pro svařované konstrukce ČSN 41 1523. Byly provedeny dvě série experimentů, první série (značeno A, B) s novými a druhá série (značeno C, D) s opotřebovanými čepičkami elektrod. Ze základních parametrů se měnil pouze proud I_w , přitlačná síla F_w a doba proudového impulsu t_w zůstaly ve všech experimentech konstantní, viz tab. 1. Na každém vzorku bylo provedeno šest svarů, po třech na každé straně, ve vzdálenosti 10 mm od kraje vzorku a s roztečí 50 mm.

Tabulka 1. Přehled podmínek experimentů
Table 1. Overview of experimental conditions

	Proud (kA)	Přítlačná síla (N)	Doba proudového impulzu (mS)
A)	8	4060	200
B)	10	4060	200
C)	8	4060	200
D)	10	4060	200

Všechny experimentální svary byly provedeny na stojanové odporové svařečce VARSTROJ VST 40. Svařovací elektrody byly osazeny pro první sérii experimentů novými čepičkami typu B dle DIN 44750. V druhé sérii bylo užito opotřebovaných elektrod téhož typu.

Pro snímání signálu akustické emise byly v experimentech použity dva piezoelektrické snímače umístěné na spodní nepohyblivé elektrodě (typ MIDI a typ MDK 17 s užítým předzesilovačem 35 dB, na obr. 2 místo označeno jako II.) a jeden piezoelektrický snímač na horní části svařovaného materiálu (typ MDK 17 AS s integrovaným předzesilovačem, místo na obr. 2 označeno jako I.). Snímač MIDI byl ke spodní elektrodě přilepen kyanoakrylátovým lepidlem a snímač MDK 17 byl upevněn pomocí svorky. Snímač MDK 17 AS, umístění do středu vorku, byl upevněn k horní části vzorku magneticky. Signál AE byl zaznamenáván čtyřkanálovým analyzátozem DAKEL IPL umožňující 12-bitové synchronní kontinuální vzorkování 4 kanálů frekvencí 2 MSample/s a data byla souběžně ukládána do paměti PC.

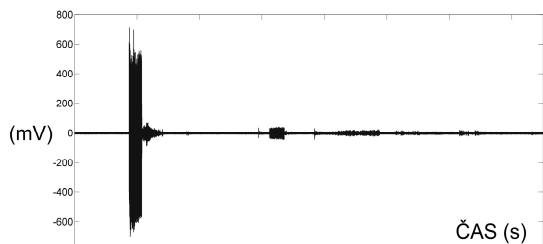


Obr. 2 Schéma uspořádání experimentu
Fig. 2 Scheme of the experiment layout

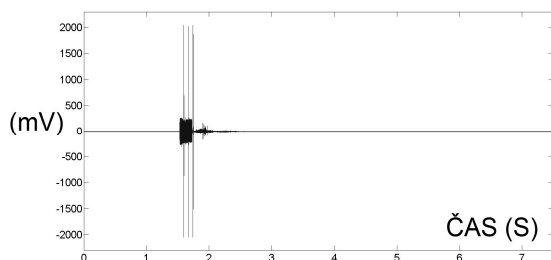
3.2 Výsledky experimentů

Z naměřených experimentů jsou zde prezentovány dva příklady záznamu signálu akustické emise a odpovídající frekvenční charakteristiky vypočítané pomocí Krátkodobé Fourierovy transformace (STFT). Obrázky označené jako a) reprezentují záznam signálu AE svaru provedeného elektrodou s novou čepičkou a obrázky označené jako b) reprezentují záznam signálu AE ze svaru

provedeního opotřebenou elektrodu. Je patrné, že i při stejných parametrech svařování – A), C), viz Tab. 1, jsou patrné rozdíly, jak v časové, tak frekvenční oblasti. V časové oblasti můžeme rozeznat bod iniciace elektrického proudu i formování svarové čočky.

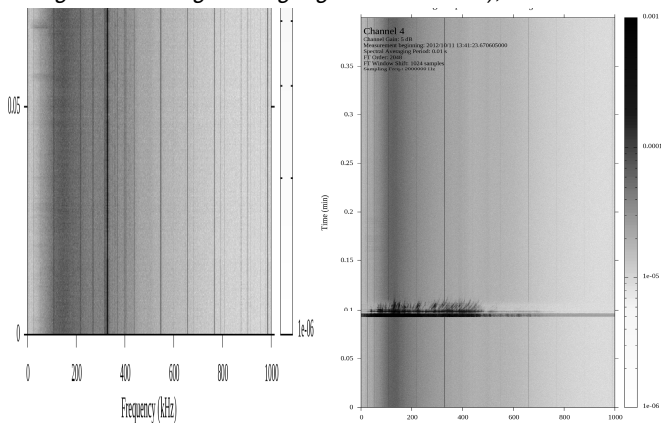


a)



b)

Obr. 3 Signál AE během svařování – dobrá elektroda a); opotřebená elektroda b)
 Fig. 3 Signal AE during welding – good electrode a); worn electrode b)



a)

b)

Obr. 4 STFT spektrogram – dobrá elektroda a); opotřebená elektroda b)
 Fig. 4 STFT spektrogram – good electrode a); worn electrode b)

4. Závěr

Můžeme obecně říci, že metody nedestruktivního zkoušení minimalizují náklady v průmyslové výrobě a umožňují zvýšit spolehlivost produkce i samotného procesu zkoušení. V tomto článku je přiblížena problematika hodnocení kvality bodových svarů při řízení a monitorování procesu odporového bodového svařování. Dále je představena metodika provedených experimentů a prezentovány prvotní výsledky, jejichž hlubší analýza bude publikována v následující práci. Z předchozích prací se jeví jako dobrý parametr pro hodnocení kvality záznam signálu akustické emise z oblasti formování svarové čočky, což naznačují i předběžné výsledky experimentů. Nicméně pro hlubší závěry bude třeba provést detailnější analýzy.

Poděkování

Práce, představené v tomto příspěvku, vznikly v rámci řešení projektu MŠMT MEB091114 „Monitorování kvality bodového svařování s využitím metody akustické emise“ a projektu NETME Centre - Nové technologie pro strojírenství.

Literatura

- [1] KOPEC, B. *Nedestruktivní zkoušení materiálů a konstrukcí*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2008. str. 571. ISBN 978-807-2045-914.
- [2] MILLER, R. K., HILL, E. K. a MOORE, P. O. Acoustic emission testing. 3rd ed. Columbus: American Society for Nondestructive Testing, 2005, *Nondestructive Testing Handbook*, 446 s. ISBN 1-57117-106-1.
- [3] KEK, T.; POLAJNAR, I.; GRUM, J. Monitoring of Resistance Spot Welding by AE. In *10th European Conference on Non-destructive Testing*, Part 1. první. Moscow: Russian Society for NDT, 2010. s. 298-302. ISBN: 978-5-904270-26- 1.
- [4] ASTM E751-01. *Standard practice for acoustic emission monitoring during resistance spot welding*. ASTM International, West Conshohocken, PA, 2001.
- [5] XU G.; WEN J.; WANG C.; ZHANG X. Quality monitoring for resistance spot welding using dynamic signals, *Mechatronics and Automation*, 2009. ICMA 2009. In *International Conference on Mechatronics and Automation*, pp.2495-2499, 9-12 Aug. 2009.
- [6] POLAJNAR, I. a ESMAIL, E. A. Sources of acoustic emission in resistance spot welding. *Strojnický Vestník-Journal of Mechanical Engineering*, 1999, 45(4), 147-153s. ISSN: 0039-2480.
- [7] DENNISON, A. V.; TONCICH, D. J.; MASOOD S. Control and Process-Based Optimisation of Spot-Welding in Manufacturing Systems. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 1997, vol. 13, p. 256-263.
- [8] SENKARA, J.; ZHANG, H.; Hu S.J. Expulsion prediction in resistance spot welding; *Welding Journal*, Vol. 83/4, 2004, pp. 123-132.