

ZASTOSOWANIE METODY FMEA DO OCENY JAKOŚCI MONTAŻU NIEROZŁĄCZNEGO (LUTOWANIA) WYBRANYCH WYROBÓW

Implementation of FMEA method for quality assessment of inseparable assembly (brazing)

Katarzyna PETA, Jan ŻUREK, Marcin WIŚNIEWSKI, Arkadiusz PIETROWIAK

Streszczenie: W pracy omówiono sposoby doskonalenia jakości połączeń lutowanych w wybranych wyrobach. Szczególną uwagę zwrócono na metodę FMEA, zwaną analizą przyczyn i skutków potencjalnych niezgodności procesu lub wyrobu. Głównym celem jej stosowania jest systematyczna ocena ryzyka pojawiania się niezgodności procesu lub wyrobu, obejmująca identyfikację wad krytycznych, w tym źródeł ich występowania oraz planowanie działań prewencyjnych. W tym celu oblicza się liczby priorytetowe ryzyka RPN, uwzględniające: częstość, znaczenie i wykrywalność niezgodności, a następnie dokonuje się wyodrębnienia tych krytycznych, dla których podejmuje się działania zapobiegawcze. W celu oceny jakości połączeń lutowanych w wybranym wyrobie przedstawiono przykładową analizę FMEA oraz omówiono wady i zalety jej praktycznego zastosowania.

Słowa kluczowe: połączenia montażowe, FMEA, jakość montażu

Abstract: The paper describes methods for improve the quality of brazed joints in chosen products. Particular attention was paid to the FMEA method, called failure mode and effects analysis of potential product or process incompatibilities. The main purpose of its use is the systematic assessment of the risk of the appearance of incompatibilities of process or product, including the identification of critical defects, the sources of their occurrence and planning of preventive actions. For this purpose, is calculated risk priority number RPN, taking into account: the frequency, importance and detectability of incompatibilities. After selection of the most critical of them is planned to take preventive action. In order to assess the quality of brazed joints in a selected product an exemplary FMEA was presented. The paper also presents the advantages and disadvantages of its practical application.

Keywords: assembly joints, FMEA, assembly quality

Wprowadzenie

Jednym z ważniejszych celów przedsiębiorstw jest zminimalizowanie lub wyeliminowanie ryzyka wystąpienia wad wyrobu podczas procesu produkcyjnego oraz eksploatacji w okresie gwarancyjnym. Tematyką tą zajmuje się dziedzina nauki skoncentrowana na analizie ryzyka, która obejmuje: identyfikację, ocenę, działania prewencyjne oraz monitorowanie i kontrolę potencjalnego ryzyka [1]. W tym celu stosuje się metody jakościowe i ilościowe, które uzupełniają się wzajemnie. Te pierwsze ukierunkowane są na identyfikację, zdefiniowanie rodzajów, przyczyn i skutków ryzyka, natomiast drugie na określeniu jego poziomu w ujęciu ilościowym [2, 3]. Najczęściej stosowanymi, a zarazem uniwersalnymi metodami z zakresu analizy ryzyka są [4]:

- metoda „co, jeśli?” – SWIFT (Structured What-If Technique),
- analiza „drzewa błędów” – FTA (Fault Tree Analysis),
- analiza „drzewa zdarzeń” – ETA (Event Tree Analysis),
- analiza „przyczyn i skutków wad” – FMEA (Failure Mode and Effect Analysis).

Metoda FMEA

FMEA jest jedną z najskuteczniejszych i najczęściej stosowanych metod w przemyśle motoryzacyjnym, którą uwzględniono w specyfikacji technicznej ISO/TS 16949:2009, określającej standardy systemów jakości globalnego przemysłu motoryzacyjnego [5, 6].

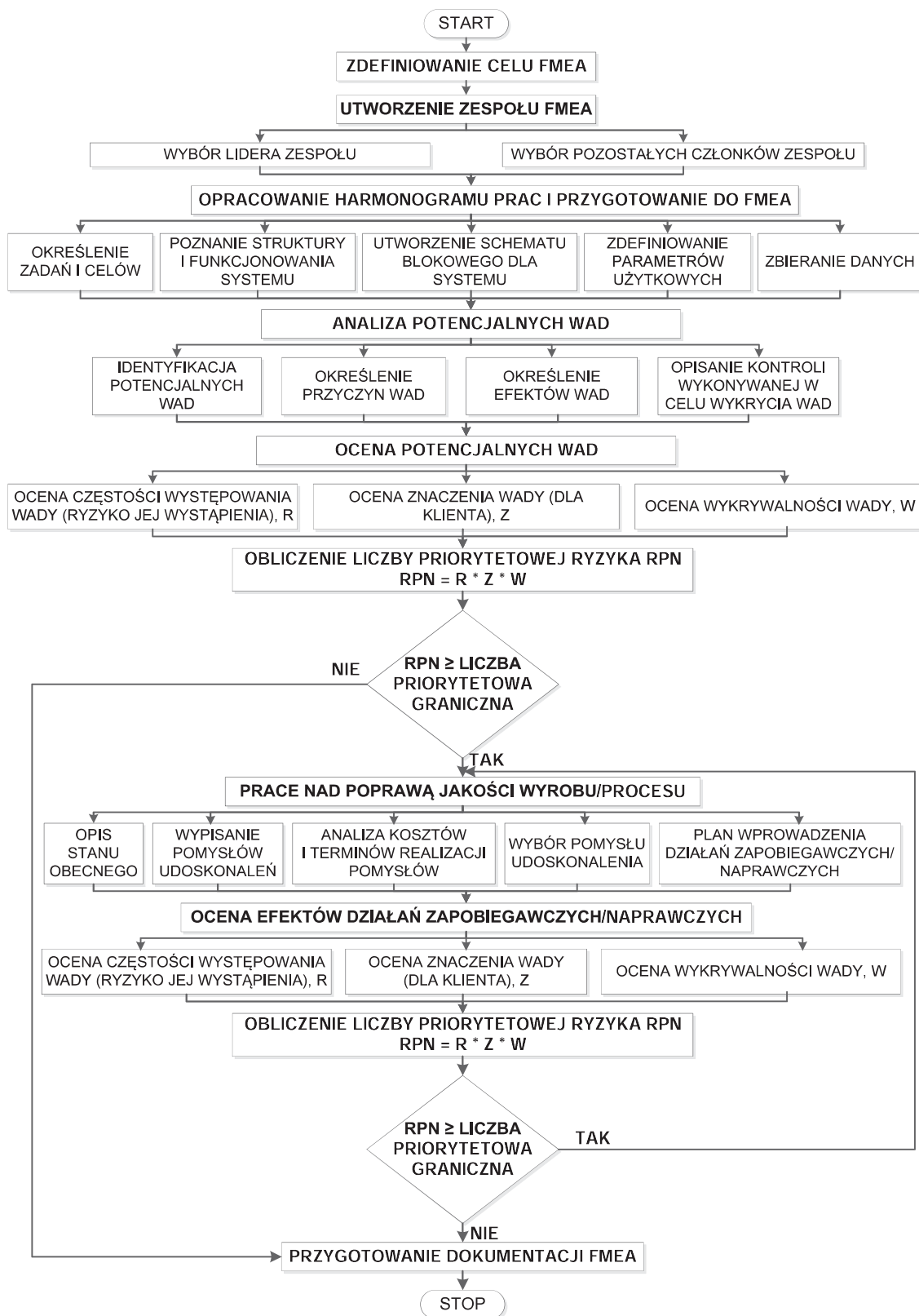
Metoda FMEA pozwala na wykrycie potencjalnych nieprawidłowości na etapie projektowania wyrobu lub procesu, a w konsekwencji na ograniczenie negatywnych skutków ich wystąpienia w procesie produkcyjnym lub w fazie eksploatacji. Głównymi jej etapami są: analiza jakościowa potencjalnych wad, ich ocena ilościowa oraz zaproponowanie działań korygujących lub naprawczych. Zadania w zasadniczej części FMEA polegają na identyfikacji potencjalnych nieprawidłowości wyrobu, podzespołu, elementu konstrukcyjnego, procesu technologicznego lub dowolnej operacji, a następnie określeniu ich potencjalnych przyczyn i skutków. Dodatkowo analizuje się sposoby kontroli stosowane w celu wykrycia ewentualnych wad. W kolejnym etapie przydziela się wartości liczbowe z zakresu 1-10 trzem współczynnikom ryzyka: częstości,

Tabela I. Kryteria oceny częstości, znaczenia i wykrywalności wad (opracowano na podstawie [1, 7])
 Table I. Criteria to evaluate the Occurrence, Detection and Severity of defects (prepared on the basis of [1, 7])

Ocena	Częstość wady, R	Znaczenie wady, Z	Wykrywalność wady, W
1	Rzadziej jak raz na 5 lat	Brak uszkodzeń / Wada nie ma wpływu na użytkowanie	Niezwykle duża / kontrola 100-procentowa i dodatkowe zabezpieczenia
2	Raz na 3-5 lat	Bardzo niewielkie uszkodzenie / nieznaczne pogorszenie właściwości wyrobu	Bardzo duża / kontrola 100-procentowa i dodatkowe zabezpieczenia
3	Raz na 1-3 lata	Niewielkie uszkodzenie / nieznaczne pogorszenie właściwości wyrobu	Duża / wada jest dobrze widoczna
4	Raz na rok	Bardzo małe uszkodzenie / umiarkowane niezadowolenie klienta	Więcej jak średnia / wada jest dobrze widoczna
5	Raz na 6 miesięcy	Małe uszkodzenie / umiarkowane niezadowolenie klienta	Średnia / kontrola jest utrudniona
6	Raz na 3 miesiące	Średnie uszkodzenie / umiarkowane niezadowolenie klienta	Mniej jak średnia / kontrola jest utrudniona
7	Raz na miesiąc	Duże uszkodzenie / niezadowolenie klienta	Mała / kontrola jest subiektywna
8	Raz na tydzień	Bardzo duże uszkodzenie / niezadowolenie klienta	Bardzo mała / kontrola jest subiektywna
9	Raz na 3-4 dni	Poważne uszkodzenie / duże niezadowolenie klienta	Prawie brak / wada jest niewidoczna
10	Częściej jak raz na dzień	Kompletna awaria / zagrażająca życiu lub naruszająca przepisy prawne wada	Brak / wada jest niewidoczna

znaczenia i wykrywalności wad (tab. I), aby następnie obliczyć ich iloczyn, nazywany wskaźnikiem priorytetowym ryzyka RPN, który nie powinien być większy od 100 [7–10].

Analizę przyczyn i skutków wad FMEA wykonuje się wg schematu przedstawionego na rys. 1.



Rys. 1. Schemat postępowania przy prowadzeniu analizy FMEA (opracowano na podstawie [11])
 Fig. 1. The scheme of steps in conducting an FMEA (prepared on the basis of [11])

Przykład analizy niezgodności połączeń lutowanych metodą FMEA

Metodę FMEA zastosowano do oceny ryzyka wystąpienia potencjalnych wad połączeń montażowych w samochodowych wymiennikach ciepła. Szczególną uwagę

zwrócono na połączenia lutowane, zasadniczo decydujące o jakości finalnej wyrobów. W tab. II przedstawiono fragment arkusza FMEA z identyfikacją czynników wpływających na powstawanie potencjalnych wad połączeń lutowanych w wymiennikach ciepła, określonych wg normy PN-EN ISO 18279:2008 (Lutowanie twarde

Tabela II. Fragment arkusza FMEA
Table II. Fragment of FMEA sheet

Nr	Potencjalna wada	Przyczyny wady	Skutki wady	Stosowana kontrola	R	Z	W	RPN
1	Pęknięcia	Uszkodzenia mechaniczne Niewłaściwe parametry operacji lutowania Niewłaściwe oprzyrządowanie mocujące (naprężenia rozciągające)	Nieszczelność (wyciek cieczy) Awaria układu Zmniejszona wytrzymałość	Wzrokowa Test szczelności Mikroskopia (SKO) Próba rozrywania (SKO)	2	8	4	64
2	Pustki	Niewłaściwe zwilżenie materiałów łączonych przez lut Wydzielanie się gazów z ciekłej lutowiny przy krzepnięciu Zanieczyszczenia, warstwy tlenkowe na powierzchni łączonych materiałów Miejscowe odparowanie topnika Niewłaściwe parametry operacji lutowania Niewłaściwa konstrukcja wyrobu (uniemożliwione wypchnięcie przez ciekły lut powietrza na zewnątrz szczeliny lutowniczej)	Zmniejszona wytrzymałość	Wzrokowa Mikroskopia (SKO)	2	6	4	48
3	Wtrącenia stałe, zabrudzenia, uwypuklenia, chropowatość	Niewłaściwe oczyszczenie powierzchni łączonych materiałów Niewłaściwe parametry operacji lutowania Nadmiar topnika Niewłaściwie przygotowane oprzyrządowanie mocujące Zanieczyszczenia	Pogorszona estetyka	Wzrokowa	2	6	4	48
4	Brak połączenia, nieciągłości	Niewłaściwe parametry operacji lutowania Niewłaściwe zwilżenie przez lut powierzchni łączonych Zanieczyszczenia, warstwy tlenkowe na powierzchni łączonych materiałów Zbyt mała ilość topnika Niewłaściwa konstrukcja wyrobu (zbyt mała szczelina lutownicza)	Nieszczelność (wyciek cieczy) Awaria układu Zmniejszona wytrzymałość	Wzrokowa Test szczelności Mikroskopia (SKO) Próba rozrywania (SKO)	2	8	4	64
5	Niezgodności kształtów i wymiarów (m.in. erozja, nadtopienia)	Niewłaściwe parametry operacji lutowania Niewłaściwe oprzyrządowanie mocujące (przemieszczenie elementów łączonych) Niewłaściwa konstrukcja wyrobu	Zmniejszona wytrzymałość	Wzrokowa Mikroskopia (SKO)	2	6	4	48
6	Ciepłe barwy nalotowe, przypalenia	Niewłaściwe parametry operacji lutowania Niewłaściwa atmosfera kontrolowana podczas lutowania Zanieczyszczenia	Pogorszona estetyka Zmniejszona wytrzymałość	Wzrokowa	2	6	4	48

R – częstość występowania wady, Z – znaczenie wady, W – wykrywalność wady, RPN – liczba priorytetowa ryzyka, SKO – statystyczna kontrola odbiorcza

– niezgodności w złączach lutowanych na twardo) oraz doświadczenia przemysłowego [12].

Zauważono, że krytycznymi wadami są pęknięcia i nieciągłości połączeń lutowanych. Ich skutki powodują poważne uszkodzenia wyrobu, a w konsekwencji awarię układów chłodzenia silnika i klimatyzacji samochodowej. Dlatego ważna jest identyfikacja czynników zwiększających ryzyko wystąpienia niezgodności połączeń, których należy poszukiwać w operacji lutowania. Analiza niezgodności połączeń lutowanych w wymiennikach ciepła nie wykazała przekroczenia granicznej liczby priorytetowej ryzyka RPN przez żadną z potencjalnych wad. Oznacza to znikome prawdopodobieństwo ich wystąpienia, a podjęcie działań naprawczych lub zapobiegawczych nie jest wymagane.

Wnioski

Metoda FMEA pozwala identyfikować krytyczne miejsca w procesie lub wyrobie, przewidzieć ryzyko pojawienia się wad oraz ocenić ich przyczyny i konsekwencje. Wykorzystując dane z arkusza FMEA możliwe jest poprawienie procesów realizowanych w firmie, minimalizując liczbę niezgodności w produkowanych wyrobach. Zwrócono uwagę, że rzetelne wykonanie FMEA wymaga doskonałej znajomości analizowanego procesu produkcyjnego oraz trafnego przydzielania wiarygodnych ocen R, Z, W, stosowanych do obliczeń wskaźnika priorytetowego ryzyka RPN.

LITERATURA

- [1] Ennouri W. 2013. "Risk Management: New Literature Review". *Polish Journal of Management Studies*, vol. 8: 288–297.
- [2] Povolotskaya E., P. Mach. 2012. "FMEA and FTA Analyses of the Adhesive Joining Process using Electrically Conductive Adhesives". *Acta Polytechnica*, vol. 52 (2): 48–55.
- [3] Harland C., R. Brenchley, H. Walker. 2003. "Risk in supply networks". *Journal of Purchasing & Supply Management*, vol. 9: 51–62.
- [4] Vose D. 2008. "Risk Analysis: A Quantitative Guide". England: 3rd edition John Wiley & Sons.
- [5] Omar M. 2011. „The Automotive Body Manufacturing Systems and Processes”. United Kingdom: John Wiley & Sons.
- [6] Kowalczyk A. 2012. „Ocena implementacji i skuteczności metod zarządzania jakością w opinii dostawców branży motoryzacyjnej”. Poznań: praca doktorska.
- [7] Stadnicka D., P. Jastrzębski. 2015. „Zastosowanie metody FMEA do poprawy konstrukcji mieszalnika”. *Technologia i Automatykacja Montażu* (4): 28–32.
- [8] Shafiee M., F. Dinmohammadi. 2014. "An FMEA-Based Risk Assessment Approach for Wind Turbine Systems: A Comparative Study of Onshore and Offshore". *Energies*, vol. 7: 619–642.
- [9] Xiao N. et. al. 2011. "Multiple failure modes analysis and weighted risk priority number evaluation in FMEA". *Engineering Failure Analysis*, vol. 11: 1162–1170.
- [10] Nedelcu A. et. al. 2009. "Risk Estimation Using Failure Mode and Effects Analyses Method". Cambridge: Proceedings of the 8th WSEAS International Conference on Signal Processing, Robotics and Automation.
- [11] Čatić D. et. al. 2011. "FMEA in product development phase". Kragujevac: 5th International Quality Conference.
- [12] Winiowski A. 2012. „Niezdgodności złączy lutowanych spoiwami twardymi i przyczyny ich powstawania”. *Przegląd Spawalnictwa* (6): 37–41.

Mgr inż. Katarzyna Peta – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: katarzyna.p.peta@doctorate.put.poznan.pl

Prof. dr hab. inż. Jan Żurek – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: jan.zurek@put.poznan.pl

Mgr inż. Marcin Wiśniewski – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: marcin.wisniewski@put.poznan.pl

Mgr inż. Arkadiusz Pietrowiak – Instytut Technologii Mechanicznej, Zakład Projektowania Technologii, ul. Piotrowo 3, 60-965 Poznań, e-mail: arkadiusz.pietrowiak@put.poznan.pl