

Analiza niezgodności spawalniczych w konstrukcjach stalowych

Analysis of welding nonconformities in steel structures

Michał Sadulak¹, Krzysztof Knop²

¹ student, członek koła naukowego "Promotor jakości", Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska, Al. Armii Krajowej 19b, 42-200 Częstochowa, e-mail: ebe-1983@wp.pl

² dr inż., Katedra Inżynierii Produkcji i Bezpieczeństwa, Wydział Zarządzania, Politechnika Częstochowska, Al. Armii Krajowej 19b, 42-200 Częstochowa, e-mail: krzysztof.knop@wz.pcz.pl

Streszczenie: W artykule przedstawiono wyniki w zakresie wykorzystania wybranych metod i narzędzi zarządzania jakością – klasycznych i nowoczesnych – w celu analizy niezgodności spawalniczych w konstrukcjach stalowych na przykładzie wybranego elementu – członu powtarzalnego B=2250. Artykuł wykazuje potencjał wykorzystania metod i narzędzi zarządzania jakością w służbie analizy i doskonalenia jakości. Przeprowadzono analizy ilościowe, ilościowo-jakościowe oraz jakościowe (opisowe) w celu udoskonalenia jakości konstrukcji stalowych. Wykazano, że dwie główne niezgodności spawalnicze, które najczęściej występują w spoinach w badanej konstrukcji stalowej to pory i pęcherze. Zidentyfikowano potencjalne przyczyny źródłowe problemów z jakością oraz zaproponowano działania doskonalące. Wykazano, że takie czynniki, jak wysoka jakość materiałów podstawowych i dodatkowych do spawania oraz odpowiedni ich dobór, optymalna temperatura spawanego elementu, napięcie łuku, natężenie prądu spawania, jakość przygotowanych powierzchni przeznaczonych do spawania, wykwalifikowany i kompetentny personel, mają duży wpływ na przeprowadzenie procesu spawania w sposób prawidłowy w przypadku badanej konstrukcji stalowej. Określono, że działania usprawniające pracę spawaczy powinny polegać na zatrudnianiu spawaczy o wysokich kwalifikacjach i uprawnieniach, zwróceniu uwagi na poziom szkolenia przyszłych spawaczy oraz lepszym motywowaniu pracowników.

Abstract: The article presents the results of the use of selected methods and quality management tools - classic and new - in order to analyze welding nonconformities in steel structures on the example of a selected element - the repeating element B = 2250. The article shows the potential of using quality management methods and tools in the service of quality analysis and improvement. Quantitative, quantitative-qualitative and qualitative (descriptive) analyzes were carried out in order to improve the quality of steel structures. It has been shown that the two main welding nonconformities that most often occur in the welds in the tested steel structure are pores and bubbles. Potential root causes of quality problems were identified and improvement actions were proposed. It has been shown that factors such as high quality of basic and additional materials for welding and their appropriate selection, optimal temperature of the welded element, arc voltage, welding current, quality of the prepared surfaces to be welded, qualified and competent personnel, have a large impact on the process correctly welding in the case of the tested steel structure. It was determined that actions to improve the work of welders should consist of employing welders with high qualifications and qualifications, paying attention to the level of training of future welders and better motivating employees.

Słowa kluczowe: niezgodności spawalnicze, konstrukcje stalowe, metody i narzędzia zarządzania jakością, doskonalenie

Key words: welding nonconformities, steel structures, quality management methods and tools, improvement

1. Wstęp

Spawalnictwo ma długie tradycje i osiągnięcia. Jest to bardzo ważny dział technologii, który obecnie znajduje zastosowanie we wszystkich dziedzinach przemysłu. Spawanie to proces polegający na łączeniu materiałów przez ich nagrzanie i stopienie w miejscu łączenia. Powierzchnie metali rozgrzewa się tak, że ulegają nadtopieniu, po czym łączy się ze sobą. Po usunięciu źródła ciepła metale stygną i zespalają się. Podczas spawania dodaje się zwykle spoiwo (dodatki metal) stapiające się wraz z materiałem podstawowym, w celu wzmocnienia spoiny. Wszystko odbywa się według założonej technologii. Wszelkie odstępstwa od ustalonej technologii spawania mogą prowadzić do powstawania wad i nie-

zgodności, które mają niekorzystny wpływ na właściwości użytkowe konstrukcji, a nawet spowodować całkowitą jej dyskwalifikację [1-3].

Wysoki poziom jakości wyrobów jest bardzo ważny, aby zatrzymać klientów lub pozyskać nowych. Jakość wyrobu zależy w dużej mierze od jakości materiałów, jak również od zaangażowania i umiejętności pracownika wykonującego operacje. Aby zachować wysoki poziom jakości preferuje się ciągłą obserwację, analizy, a także doskonalenie. Stosuje się liczne metody, narzędzia i techniki zarządzania jakością, które pozwalają identyfikować przyczyny występowania problemów oraz szukać rozwiązań, które poprawiają jakość [1-6].

W wyniku powstawania wad i niezgodności pojawiają się dodatkowe koszty. Istotne jest zatem ustalenie przyczyn powstawania takiego zjawiska. Na podstawie metod i narzędzi jakości można przedstawić najczęstsze wady i niezgodności, a także stwierdzić, że zła jakość wyrobu, błędy na etapie projektowania wyrobu czy podczas cyklu produkcyjnego są powodem powstawania dodatkowych, nieprzewidzianych strat finansowych [7-9]. Umiejętnie wykorzystane metod i narzędzia zarządzania jakością pozwala skutecznie przeanalizować dane dotyczące krytycznych kwestii problemowych związanych z jakością, usystematyzować tą wiedzę i ukierunkować ją na tematy najbardziej istotne oraz określić działania, które pozwalają wyeliminować problemy zagrażające jakości [7]. Artykuł przedstawia przykład wykorzystania wybranych metod i narzędzi zarządzania jakością w celu analizy, oceny i doskonalenia jakości konstrukcji stalowych na przykładzie wybranego elementu.

2. Metodyka badawcza

Badane przedsiębiorstwo to spółka, która należy do jednej z największych grup energetycznych w Polsce. Przedsiębiorstwo jest spółką produkcyjno-usługową. Na przestrzeni lat Spółka wyspecjalizowała się w robotach towarzyszących branży górnictwa odkrywkowego, w szczególności w zabezpieczeniach antykorozyjnych, wykonawstwie i montażu konstrukcji stalowych a także robotach ogólnobudowlanych i elektrycznych. Firma wyspecjalizowała się m.in. w wytwarzaniu ciężkich konstrukcji stalowych przeznaczonych głównie dla górnictwa odkrywkowego oraz konstrukcji budownictwa ogólnego. Wytwarza się również konstrukcje specjalistyczne jednostkowe zgodnie z dokumentacją projektową i wymaganiami Zleceniodawcy. Zajmuje się także kompleksowym remontem pomp głębinowych, zatapialnych i stacjonarnych, jak również wykonywaniem robót ogólnobudowlanych i specjalistycznych z zakresu budownictwa i prac inżynierii lądowej i wodnej, polegających na budowie, przebudowie, remoncie, rozbiórce lub montażu obiektów budowlanych. Kolejnym rodzajem działalności firmy są również remonty i eksploatacja obiektów z zakresu konserwacji i eksploatacji min. sieci ciepłowniczych, wodociągowych, oczyszczalni ścieków. Zajmuje się również montażem konstrukcji stalowych przeznaczonych dla budownictwa ogólnego i przemysłowego. W firmie obecnie zatrudnionych jest około 1350 osób.

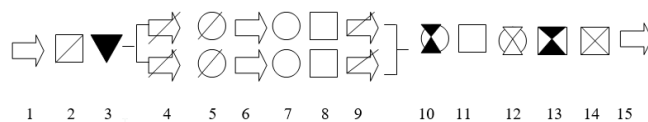
Analizowany wyrób w przedsiębiorstwie to spawania konstrukcja stalowa w postaci członu powtarzalnego B=2250, który jest częścią przenośnika układu KTZ (układ koparka wielonaczyniowa – taśmociąg – zwałowarka taśmowa). Zwałowarka to podstawowa maszyna w górnictwie odkrywkowym przeznaczona do zwałowania, o ruchu ciągłym [6].

Celem badań jest analiza niezgodności spawalniczych na przykładzie wybranego elementu konstrukcji stalowych, ich przyczyn z wykorzystaniem wybranych metod i narzędzi zarządzania jakością dla celów doskonalenia procesu spawania.

Artykuł dotyczy analizy i oceny niezgodności spawalniczych w konstrukcjach stalowych. Posłużono się tutaj różnymi narzędziami i metodami analizy jakości i doskonalenia, tj. diagram Pareto-Lorenza, diagram Ishikawy, metoda WHY-WHY, metoda ABCD-Suzuki, metoda FMEA, diagram pokrewieństwa [8,9], ukazującymi m.in. rodzaje i częstotliwość występowania poszczególnych niezgodności, ryzyko z nimi związane oraz działania, które należy podjąć, aby te niezgodności wyeliminować.

3. Wyniki badań i ich omówienie

Na rys. 1 przedstawiono schemat procesu produkcyjnego spawanej konstrukcji stalowej członu powtarzalnego B = 2250 w ujęciu technologicznym.



Rys. 1. Schemat procesu produkcyjnego spawanej konstrukcji stalowej członu powtarzalnego B=2250 w ujęciu technologicznym

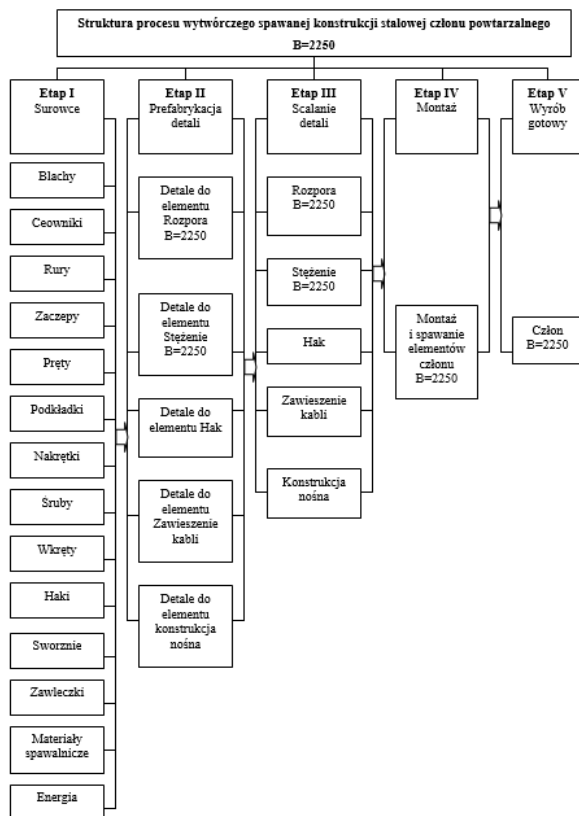
Legenda:

- 1) Dostarczenie wyrobów hutniczych (blach, kształtowników) do magazynu.
 - 2) Kontrola dostarczonych wyrobów hutniczych przeprowadzana jest w oparciu o normę PN-EN-10034 i dzieli się na:
 - kontrolę wymiarów – grubości, długości, szerokości za pomocą taśm mierniczych, suwmiarek,
 - sprawdzenie dokumentacji dostawy – ocechowania gatunku stali, numeru wytopu na materiale na zgodności z dostarczonym atestem hutniczym i dowodem dostawy dostarczonym przez dostawcę, oraz zamówieniem,
 - oznaczenie wyrobu hutniczego wewnętrznym oznaczeniem np.:
 - symbol wewnętrzny- H 125,
 - gatunek- S355J2N,
 - ceownik 160,
 - numer projektu – Z6AN/01977.
 - 3) Operacja magazynowania. Pracownik magazynu po otrzymaniu od technologa prowadzącego rezerwacji - rozchodu wewnętrznego wydaje materiał do działu przygotowania produkcji.
 - 4) Operacja transportu międzydziałowego przy pomocy suwnic o udźwigu od 8 do 32 ton, a także wózków jezdniowych do transportu między stanowiskowego drobnych elementów.
 - 5) Operacje obróbki wstępnej, w której skład wchodzi następujące operacje technologiczne:
 - cięcie tlenowe pozycji rysunkowych na przecinarce
 - cięcie kształtowników na piłach
 - cięcie blach nożycami max grubość 15mm
 - 6) Transport między stanowiskowy realizowany za pomocą suwnic, wózków jezdniowych i platformowych.
 - 7) Operacje obróbki właściwej, na którą składają się następujące operacje technologiczne:
 - gratowanie pozostałości po cięciu,
 - fazowanie- krawędziowanie,
 - szlifowanie ciętych i fazowanych krawędzi,
 - wyginanie blach max grubość 15 mm,
 - wiercenie.
 - 8) Kontrola prefabrykowanych detali. Kontrola jakości wykonania detali rysunkowych odbywa się w oparciu o normę PN-B 06200: 2002 i polega na sprawdzeniu:
 - wymiarów wykonanych pozycji rysunkowych na zgodność z rysunkiem,
 - kontroli wizualnej wykonanych detali np.: czy zostały stępione ostre krawędzie, czy na fazowanych brzegach nie ma wżerów po cięciu,
 - kontroli przenoszenia oznaczeń pozycji rysunkowych na wykonane detale.
- Przyrządy stosowane do kontroli: taśma stalowa, kątownik, liniał krawędziowy, suwmiarka.
- 9) Transport międzydziałowy - nawowy realizowany za pomocą wózka szynowego przewożącego elementy z działu przygotowania produkcji na poszczególne nawy. Załadunek i rozładunek wózka szynowego odbywa się przy użyciu suwnicy. Mniejsze elementy przewożone są na paletach wózkami jezdniowymi.
 - 10) Scalanie elementów i przygotowanie elementów do spawania. Elementy dostarczone przez dział przygotowania produkcji są

scalane zgodnie z rysunkiem technicznym i obowiązującymi procedurami.

- 11) Kontrola scalenia elementów składająca się:
 - kontroli pomiarowej scalonych elementów,
 - kontroli wizualnej przygotowanych elementów pod spawanie - należy zwrócić uwagę na kąt ukosowania brzegów i szczeliny pomiędzy nimi, ponadto powierzchnia powinna być wolna od rdzy, zendry, tłuszczu na szerokości min 15 mm od połączenia.
- 12) Proces spawania i czyszczenia konstrukcji stalowej.
- 13) Pomiary i badania nieniszczące wykonanej konstrukcji. Wykonana konstrukcja poddawana jest kontroli pomiarowej na zgodność z rysunkiem i normami branżowymi PN-B 06200:2002.
- 14) Kontrola końcowa spawanej konstrukcji stalowej polegająca na oględzinach zewnętrznych wykonanej konstrukcji sprawdzeniu czy montowane do konstrukcji elementy są zmontowane zgodnie z dokumentacją techniczną np. czy zastosowano takie śruby, sworznie jak w dokumentacji technicznej. Kontrola końcowa ma na celu stwierdzenia zgodności oznaczenia konstrukcji z dokumentacją techniczną.
- 15) Proces załadunku i wysyłki wykonanej konstrukcji. Proces załadunku odbywa się przy użyciu suwnicy.
- 16) Proces montażu poszczególnych elementów w gotowy wyrób jakim jest człon powtarzalny B = 2250.
- 17) Proces załadunku i wysyłki wykonanej konstrukcji stalowej z zabezpieczeniem antykorozyjnym. Proces odbywa się przy użyciu suwnicy i wózków widłowych.

Na rys. 2 przedstawiono schemat procesu produkcyjnego spawanej konstrukcji stalowej członu powtarzalnego B = 2250 w ujęciu przedmiotowym.



Rys. 2. Struktura procesu wytwórczego spawanej konstrukcji stalowej członu powtarzalnego B=2250 w ujęciu przedmiotowym

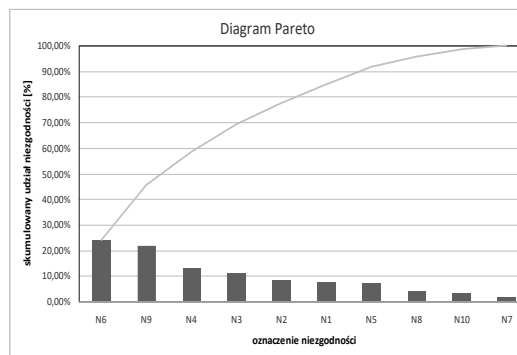
Proces wytwórczy spawanej konstrukcji stalowej członu powtarzalnego B=2250 w ujęciu przedmiotowym składa się z pięciu

etapów. Początek procesu stanowi magazynowanie materiałów i wyrobów hutniczych, które zamawiane są zgodnie z dokumentacją technologiczną. Pobrane na podstawie rozchodu wewnętrznego trafiają do działu przygotowania produkcji. Kolejny etap to operacja obróbki wstępnej, czyli cięcie tlenowe, cięcie kształtowników, cięcie blach nożycami max grubość 15 mm, a także skompletowanie elementów gotowych (haki, zawleczki, itd.). Następną fazą jest operacja obróbki właściwej, czyli gratowanie, fazowanie-krawędziowanie, szlifowanie, wyginanie i wiercenie. Kolejną operacją etapu trzeciego jest scalanie elementów za pomocą spoin szczepnych oraz montażu połączonych pozycji w jeden element - konstrukcję członu powtarzalnego B=2250. Dalej następuje proces spawania i czyszczenia konstrukcji stalowej. Gotowa konstrukcja zabezpieczona antykorozyjnie transportowana jest do miejsca docelowego, gdzie następuje montaż i ustawienie konstrukcji członu powtarzalnego B=2250, który jest częścią przenośnika układu KTZ.

Dokonano analizy niezgodności spawalniczych konstrukcji stalowej członu powtarzalnego B=2250 z wykorzystaniem diagramu Pareto-Lorenza [10-17]. Znając negatywny skutek określono przyczyny, jakie do niego prowadzą. Aby dokładnie to przedstawić uwzględniono dane z dwóch okresów:

- I okres – 1 miesiąc,
- II okres – 2 miesiąc.

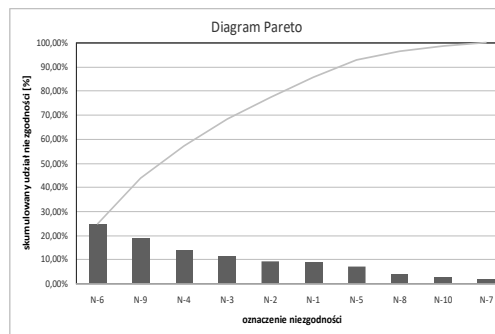
Wynik analizy w postaci ilości występujących niezgodności za I okres – 1 miesiąc przedstawiono w formie diagramu Pareto-Lorenza na rys. 3.



Rys. 3. Diagram Pareto-Lorenza dla analizy niezgodności spawalniczych - I okres

Z rys. 3 wynika, że za 45,45% wszystkich niezgodności występujących w spoinach odpowiada dwiema niezgodnościami. 20% przyczyn powoduje 45,45% skutków, pozostałe 8 niezgodności odpowiada za 54,55% skutków.

Wynik analizy w postaci ilości występujących niezgodności za II okres – 2 miesiąc w postaci diagramu Pareto-Lorenza przedstawia rys. 4.



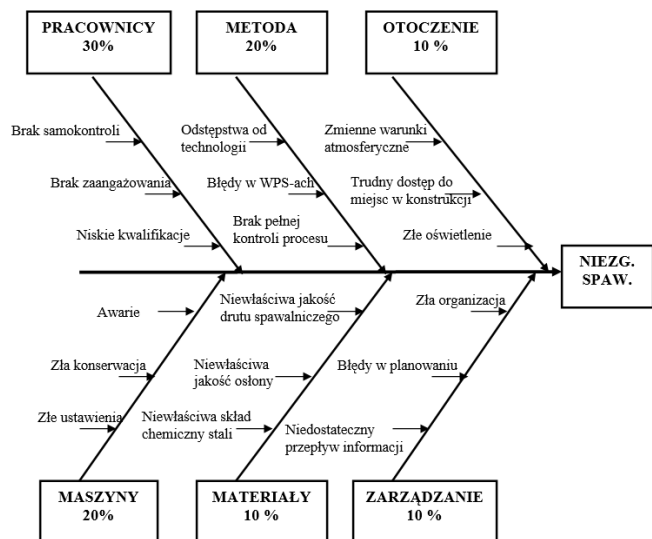
Rys. 4. Diagram Pareto-Lorenza dla analizy niezgodności spawalniczych - 2 okres

Z rys. 4 wynika, że za 43,54% wszystkich niezgodności występujących w spoinach odpowiada dwie niezgodności. 20% przyczyn powoduje 43,54% skutków, pozostałe 8 niezgodności odpowiada za 57,20% skutków.

Analiza Pareto-Lorenza pokazała, że dwie główne niezgodności spawalnicze, które najczęściej występują w spoinach to: W-6 – pory i W-9 – pęcherze. Stanowią one odpowiednio dla badanych okresów: okres I – 1 miesiąc – 45,45%, okres II – 2 miesiąc – 43,54%. Analiza Pareto-Lorenza pozwoliła na określenie najistotniejszych przyczyn powodujących występowanie niezgodności w spoinach. Na tej podstawie można skonkretyzować działania, które należałoby podjąć w pierwszej kolejności i pozwalają wyeliminować główne niezgodności. Aby wyeliminować te niezgodności należy podjąć działania pozwalające na zminimalizowanie przyczyn, które mają istotny wpływ na występowanie głównych niezgodności spawalniczych: Do działań tych należą:

- zamawianie gazów ochronnych o lepszej jakości (czystości),
- poprawienie stanu złączy przewodów doprowadzających gazy ochronne,
- prawidłowe przygotowanie materiałów do spawania,
- prawidłowe ustawienie parametrów do spawania.

Dokonano analizy przyczyn powstania niezgodności spawalniczych z wykorzystaniem diagramu Ishikawy [15, 16] (rys. 5). Główne kategorie przyczyn oddziałujące na niezgodności spawalnicze pogrupowano według zasady 5M + E [9].



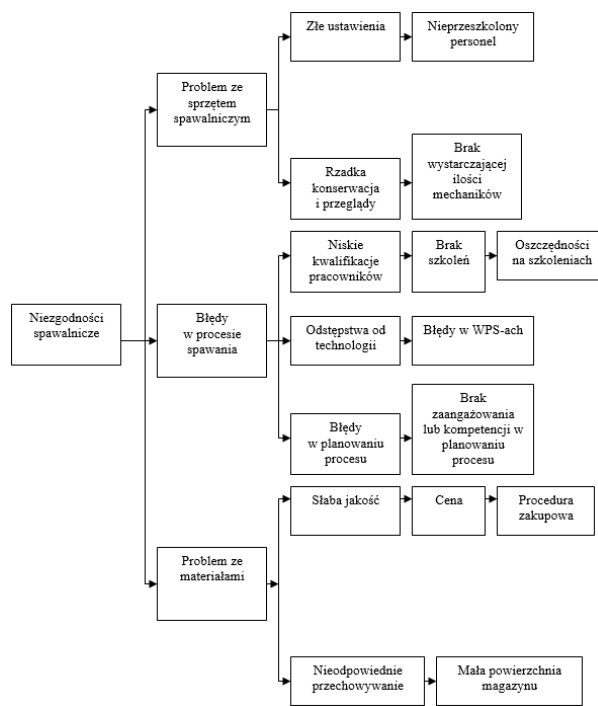
Rys. 5. Diagram Ishikawy dla analizy przyczyn niezgodności spawalniczych

By zapobiec w przyszłości wykonywaniu wadliwych spoin należy zwrócić uwagę na przyczyny, które w szczególny sposób wpływają na ich występowanie. Należy zatem prowadzić należyte działania takie jak:

- zatrudniać spawaczy o wysokich kwalifikacjach i uprawnieniach,
- zwrócić uwagę na poziom szkolenia przyszłych spawaczy,
- poprawić dyscyplinę pracy,
- motywować pracowników,
- być przygotowanym na zmianę warunków atmosferycznych,
- sprawdzać stan techniczny sprzętu spawalniczego,
- przeprowadzać częste przeglądy i konserwacje sprzętu spawalniczego,
- zakupić nowy wysokiej jakości sprzęt spawalniczy,
- ściśle przestrzegać technologii spawania,
- stosować wysokiej jakości materiały,

- przechowywać materiałów spawalniczych w odpowiednich warunkach,
- usprawnić organizację pracy,
- unikać błędów podczas planowania produkcji,
- zwiększyć środki finansowe na zakup nowych maszyn i urządzeń.

Wykorzystano metodę 5WHY w postaci diagramu WHY-WHY w celu analizy przyczyn niezgodności spawalniczych [5]. Metoda 5WHY opiera się na naukowym podejściu systemu produkcyjnego Toyoty. W podstawowej wersji polega ona na zadaniu pięciu pytań „dlaczego?” w celu poznania przyczyny wystąpienia problemu. Odpowiadając na każde z pytań „dlaczego?” można dojść do sedna problemu. Metodę 5WHY można przedstawić przy pomocy drzewka WHY-WHY, które ma przewagę nad klasyczną analizą, że problem można rozpatrywać wieloaspektowo (z punktu widzenia różnych przyczyn) [5]. Wynik analizy WHY-WHY przedstawia rys. 6.



Rys. 6. Diagram WHY-WHY dla analizy przyczyn niezgodności spawalniczych

W wyniku analizy WHY-WHY zidentyfikowano potencjalne przyczyny źródłowe problemu, które następnie zweryfikowano. W efekcie weryfikacji znaleziono kilka przyczyn powstawania niezgodności spawalniczych. Pierwsza weryfikacja dotyczy sprzętu spawalniczego, procesu spawania, a także materiałów. Powstanie niezgodności może wynikać z niewłaściwego ustawienia sprzętu spawalniczego. Powodem błędnego ustawienia jest niewiedza pracownika. Przeanalizowano także przeglądy i konserwacje, które mógł być rzadko przeprowadzane przez brak wystarczającej liczby mechaników. Następnie przyjrano się procesowi spawania. Błędy popełniane podczas spawania mogą wynikać z niskich kwalifikacji pracownika, który bez odpowiednich szkoleń jest kierowany do zadań. Brak warsztatów wynika z oszczędności. Istotnym czynnikiem mogącym mieć wpływ na powstawanie problemu są błędy w planowaniu procesu spawania. Nieodpowiednie opracowanie może wynikać ze zbyt małego zaangażowania lub kompetencji. Kolejną kwestią, która może mieć wpływ na powstawanie niezgodności są materiały. Słaba jakość materiału znaczącą może wpłynąć na jakość

spoin. Przy obowiązującej w firmie procedurze zakupowej zawierającej kryterium „najniższa cena” istnieje prawdopodobieństwo nabycia produktu o niezadowalających właściwościach. Innym czynnikiem dotyczącym materiałów jest ich nienależyte przechowywanie wynikające choćby ze zbyt małej powierzchni magazynu.

Aby nadać ważność poszczególnym przyczynom powstawania niezgodności spawalniczych zastosowano metodę ABCD Suzuki. Owa metoda pozwala określić ważność i rangę poszczególnych czynników (np. przyczyn problemu), a także pozwala na zidentyfikowanie najistotniejszych czynników [4, 10]. Na podstawie wcześniej przeprowadzonej analizy WHY-WHY zidentyfikowano przyczyny, tj.: nieprzeszkolony personel, brak wystarczającej ilości mechaników, oszczędności na szkoleniach, błędy w WPS-ach, brak zaangażowania lub kompetencji w planowaniu procesu, procedura zakupowa, mała powierzchnia magazynu. W kolejnym etapie grupa 10 osób związanych ze spawalnictwem miała za zadanie nadać ważność powyższym przyczynom powstawania niezgodności z wykorzystaniem skali 1-10. W tym celu skorzystano z ankiety w formie tabel indywidualnych wyborów rangi. Ocena 1 wskazywała na przyczynę najważniejszą, natomiast ocena 10 na najmniej ważną. Następnie przeniesiono wyniki ocen do tabeli zbiorczej oraz wyeliminowano po jednej odpowiedzi skrajnej (łącznie 2 odpowiedzi). W dalszej kolejności dokonano kalkulacji skorygowanej sumy znaczeń, czyli sumy iloczynów liczby wskazań na daną ocenę oraz wartości rangi. Poprzez podzielenie skorygowanej sumy znaczeń przez liczbę odpowiedzi nieskreślonych otrzymano wartość wskaźnika rangi, którą zaokrąglono do trzech miejsc po przecinku. Ostatni etap analizy to ustalenie wartości rangi. Najmniejszej wartości wskaźnika rangi przydzielono wartość „1”, a kolejnym większym wartościom wskaźnika kolejne liczby całkowite. W przypadku wartości powtarzających się wskaźnika rangi przyznano tym czynnikom (nie te same, ale) kolejne wartości liczbowe. Podsumowanie wyników metody ABCD Suzuki przedstawia tabela 1.

Tabela 1. Analiza ważności przyczyn niezgodności spawalniczych wg metody ABCD-Suzuki

Przyczyny niezgodności spawalniczych		Ranga (znaczenie) przyczyny										SSZ	L	O	N	WR	R
Symb.	Nazwa przyczyny	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10						
A	Nieprzeszkolony personel	4	4									12	8	1,500			2
B	Brak wystarczającej ilości mechaników					2	1		2	3	0	59	8	7,375			6
C	Oszczędności na szkoleniach	1		1		1	3	2			0	41	8	5,125			5
D	Błędy w WPS-ach	5	3									11	8	1,375			1
E	Brak zaangażowania lub kompetencji w planowaniu procesu	1	2	3	2							22	8	2,750			3
F	Procedura zakupowa	0	2	4	1	1	0					25	8	3,125			4
G	Mała powierzchnia magazynu								1	5	2	73	8	9,125			7

Dzięki metodzie ABCD Suzuki udało się zidentyfikować najważniejsze przyczyny powstawania niezgodności spawalniczych. Są nimi: błędy w WPS-ach, nieprzeszkolony personel, a także brak zaangażowania lub kompetencji w planowaniu procesu. Wykonana analiza wskazująca problem oraz jego rangę może być cennym źródłem informacji dla osób biorących udział w procesie spawania. Wyniki takich czy podobnych analiz pozwalają lepiej zaplanować i przeprowadzić wszelkie operacje, po to by zminimalizować powstawanie nieprawidłowości.

Wykorzystano metodę FMEA do analizy ryzyka [14,17] związanymi z błędami powstającymi w procesie wytwórczym konstrukcji stalowych. FMEA to skrót angielskiej nazwy metody Failure Mode and Effects Analysis – Analiza Przyczyn i Skutków Niezgodności [14,16,17]. Wynik analizy FMEA dla procesu wytwórczego

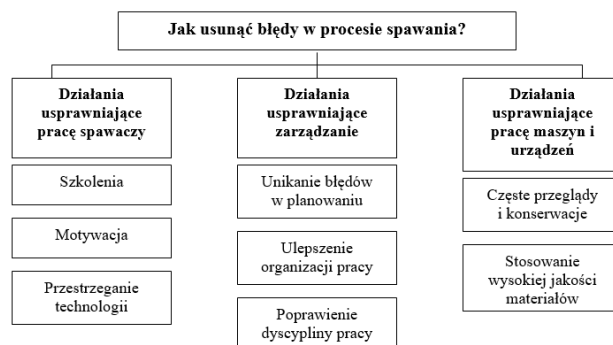
spawanej konstrukcji członu powtarzalnego B = 2250 przedstawia tabela 2.

Tabela 2. Analiza FMEA dla procesu wytwórczego spawanej konstrukcji członu powtarzalnego B=2250

Lp.	Operacja	Rodzaj błędu	Skutek błędu	Przyczyna błędu	L P O	L P W	L P Z	L P R	Działania naprawcze
1	Ukosowanie brzegów	Zły kąt ukosowania	Przyklejenia brzegowe	Błąd ślusarza	5	3	7	105	Postępowanie zgodnie z technologią
2	Scalanie elementów do spawania	Zbyt mała szczelina pomiędzy elementami	Brak przetopu	Błąd monterka	4	4	7	112	Postępowanie zgodnie z technologią
3	Podgrzewanie wstępne przed spawaniem	Za niska, bądź za wysoka temperatura	Przyklejenia brzegowe	Błąd spawacza	5	4	6	120	Postępowanie zgodnie z WPS
4	Wykonywane spoiny	Złe parametry procesu	Powstanie niezgodności spawalniczych	Błąd spawacza	5	4	7	140	Postępowanie zgodnie z WPS

Analizując wyniki można stwierdzić, iż akceptowalnym poziomem liczby priorytetowej ryzyka jest LPR = 115. Gdy nastąpi osiągnięcia lub przekroczenie tej liczby należy natychmiast podjąć działania korygujące. Największe ryzyko LPR = 140 mogą stanowić nieodpowiednie parametry procesu spawania. Wysoki stopień ryzyka LPR = 120, przekraczający akceptowalny poziom liczby priorytetowej ryzyka można zaobserwować przy operacji podgrzewania wstępnego. Powoduje to powstawanie niezgodności spawalniczych wewnętrznych i zewnętrznych. Można zatem uznać, że za powstałe błędy odpowiedzialny jest pracownik (spawacz).

Wykorzystano diagram pokrewieństwa do przedstawienia i pogrupowania pomysłów na uniknięcie błędów w procesie spawania i tym samym poprawy jakości konstrukcji stalowych, co jest elementem doskonalenia jakości procesu spawania [11]. Diagram pokrewieństwa stosowany jest najczęściej m.in. gdy konieczne jest wsparcie rozwiązań w celu ich wdrożenia [11]. Efekt zastosowania diagramu pokrewieństwa przedstawia rys. 7.



Rys. 7. Diagram pokrewieństwa dla pogrupowania sposobów uniknięcia błędów w procesie spawania

Zaprezentowany diagram pokrewieństwa dostarczył informacji, które pozwalają określić sposoby na uniknięcie powstawania niezgodności spawalniczych w trakcie procesu produkcyjnego spawanej konstrukcji stalowej członu powtarzalnego B = 2250. Analizując powyższy diagram stwierdzono, że odpowiednie działania usprawniające pracę spawaczy przyczynią się w dużym stopniu do eliminacji niezgodności. Szkolenia, motywowanie pracowników, a także bezwzględne przestrzeganie wytycznych procesu spawania to kluczowe kwestie. Ważnym elementem, który znacznie może

przyczynić się do ograniczenia powstawania niezgodności spawalniczych są działania usprawniające zarządzanie procesem produkcyjnym oraz pracownikami. Niezbędne jest zatem prawidłowe planowanie, a także poprawienie organizacji i dyscypliny pracy. Kolejnym czynnikiem mającym wpływ na ulepszenie procesu spawania są działania usprawniające pracę maszyn i urządzeń. Właściwe przygotowanie urządzeń produkcyjnych i spawalniczych powinno obejmować przede wszystkim częste przeglądy i konserwacje. Istotne jest również stosowanie wysokiej jakości materiałów.

Zastosowanie się do powyższych działań doprowadzi do udoskonalenia procesu wytwórczego spawanych konstrukcji stalowych, a tym samym pozwoli wyeliminować ewentualne niezgodności spawalnicze i wpłynię na poprawę poziomu jakości wyrobu

4. Podsumowanie

Celem niniejszego artykułu była analiza niezgodności spawalniczych wybranego elementu konstrukcji stalowych, ich przyczyn z wykorzystaniem wybranych metod i narzędzi zarządzania jakością dla celów doskonalenia procesu spawania. Badania empiryczne przeprowadzone w badanym przedsiębiorstwie pozwoliły zrealizować cel pracy oraz określić działania doskonalące proces spawania elementów konstrukcji stalowych.

Z treści pracy wynika, że spawanie to proces specjalny, który opiera się na łączeniu materiałów przez ich nagrzanie i stopienie w miejscu łączenia. By zminimalizować powstawanie wszelkich nieprawidłowości wymagany jest stały nadzór nad prawidłowym przebiegiem wykonywania złącza spawanego. Takie kwestie takie jak: solidna jakość materiałów podstawowych i dodatkowych do spawania oraz odpowiedni ich dobór, optymalna temperatura spawanego elementu, napięcie łuku, natężenie prądu spawania, jakość przygotowanych powierzchni przeznaczonych do spawania, wykwalifikowany i kompetentny personel, mają niewątpliwie wpływ na przeprowadzenie procesu spawania w sposób prawidłowy. Nieprzestrzeganie powyższych oraz odstępstwa od przyjętej technologii spawania mogą mieć wpływ na powstawanie wad i niezgodności, które osłabiają właściwości użytkowe konstrukcji, a nawet mogą ją nie dopuścić do użytku. To zaś przyczyni się do wzrostu kosztów związanych z naprawą połączenia niespełniającego wymaganych kryteriów odbiorczych.

Aby zachować wysoki poziom jakości zaleca się nieustanną obserwację, analizy, a także doskonalenie, stosując rozmaite metody i narzędzia zarządzania jakością, które pozwalają identyfikować przyczyny występowania problemów oraz szukać rozwiązań, które skutecznie ograniczają ich występowanie. Analizy empiryczne przeprowadzone na przykładzie przedsiębiorstwa należącego do jednej z największych grup energetycznych w Polsce wykazały, że potrzebne są działania doskonalące proces spawania, przy jednoczesnym minimalizowaniu przyczyn powodujących powstawanie błędów.

W wyniku przeprowadzonych analiz obejmujących wykorzystanie metod i narzędzi jakościowych do analizy niezgodności spawalniczych wyciągnięto określone wnioski odnośnie sposobów doskonalenia procesu spawania w badanym przedsiębiorstwie. Działania usprawniające pracę spawaczy powinny polegać na zatrudnianiu spawaczy o wysokich kwalifikacjach i uprawnieniach, zwróceniu uwagi na poziom szkolenia przyszłych spawaczy oraz lepszym motywowaniu pracowników. Działania usprawniające zarządzanie powinny polegać na unikaniu błędów podczas planowania produkcji, ulepszeniu organizacji pracy, podniesieniu dyscypliny pracy, zwiększeniu środków finansowych na zakup nowych maszyn i urządzeń, kupnie wysokiej jakości sprzętu spawalniczego oraz ścisłym przestrzeganiu technologii spawania. Działania usprawniające

pracę maszyn i urządzeń powinny polegać na sprawdzaniu stanu technicznego sprzętu spawalniczego, przeprowadzaniu częstych przeglądów i konserwacji sprzętu spawalniczego oraz stosowaniu wysokiej jakości materiałów.

Podsumowując, zastosowanie metod i narzędzi jakości do obszaru analizy niezgodności spawanych konstrukcji stalowych może przyczynić się do zapobiegania w przyszłości wykonaniu niezgodnych spoin poprzez zwrócenie uwagi na ich przyczyny, które w szczególności wpływają na ich występowanie. Należy zatem prowadzić odpowiednie analizy jakościowe ukierunkowane na badania przyczyn niezgodności i na bazie nich wprowadzać skuteczne działania korygujące i zapobiegawcze.

Literatura

- [1] Fraś J., Siwkowski M. 2011. Metody i techniki zarządzania jakością, Zeszyty Naukowe Uniwersytetu Szczecińskiego, 685, 369-380.
- [2] Kardas E. 2017. Wykorzystywanie narzędzi jakości do oceny jakościowej wybranego produktu, Zarządzanie Przedsiębiorstwem, 1, 11.
- [3] Klimpel A., 1999. Spawanie, zgrzewanie i ciecie metali, Wyd. Naukowo-Techniczne, Warszawa.
- [4] Knop K., Krynke M., Rosak-Szyrocka J. 2017. Doskonalenie przedsiębiorstw w aspekcie czystszej produkcji i zrównoważonego rozwoju. Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menadżerów Jakości i Produkcji, Częstochowa.
- [5] Kowalik K., Klimecka-Tatar D. 2017. Doskonalenie jakości procesu obsługi klienta z wykorzystaniem metod 5W2H i 5Why, Archiwum wiedzy inżynierskiej, 2(2), 24-26.
- [6] Kasztelewicz Z. 2012. Koparki wielonaczyniowe i zwałowarki taśmowe, Technologia pracy, Kraków.
- [7] Ładoński W., Szoltysek K. (red.) 2008. Zarządzanie jakością, Wydawnictwo Uniwersytetu Ekonomicznego, Wrocław.
- [8] Łuczak J., Matuszak-Flejszman A. 2007. Metody i techniki zarządzania jakością. Kompendium wiedzy. Poznań: Quality Progress.
- [9] Mazur A., Gołaś H. 2010. Zasady, metody i techniki wykorzystywane w zarządzaniu jakością, Wydawnictwo Politechniki Poznańskiej, Poznań.
- [10] Orlik M., Knop K. 2019. Wykorzystanie metody ABCD-Suzuki do rangowania potrzeb i wymagań klientów w odniesieniu do wybranego wyrobu elektronicznego, Archiwum Wiedzy Inżynierskiej, 4(1), 22-25.
- [11] Rostecka M., Wołniak R. 2017. Doskonalenie jakości procesów spawalniczych w wyniku wdrożenia robotyzacji, Oficyna Wydawnicza Stowarzyszenia Menedżerów Produkcji i Jakości, Częstochowa.
- [12] Skotnicka-Zasadzień B. 2011. Wykorzystanie narzędzi zarządzania jakością w zakresie analizy niezgodności wyrobu w przedsiębiorstwie przemysłowym. Studia i Materiały Polskiego Stowarzyszenia Zarządzania Wiedzą, 45, 251-259.
- [13] Skotnicka-Zasadzień B., Biały W. 2011. Analiza możliwości wykorzystania narzędzia Pareto-Lorenza do oceny awaryjności urządzeń górniczych, Eksploatacja i Niezawodność.
- [14] Skotnicka-Zasadzień B. 2012. Analiza efektywności zastosowania metody FMEA w małym przedsiębiorstwie przemysłowym, Systems Supporting Production Engineering, 2(2), 142-153.
- [15] Szczęśniak B., Zasadzień M., Wapieniak Ł. 2012. Zastosowanie analizy pareto oraz diagramu Ishikawy do analizy przyczyn odrzutów w procesie produkcji silników elektrycznych, Zeszyty Naukowe Politechniki Śląskiej, S: Organizacja i Zarządzanie, 63a, 125-147.
- [16] Ujda-Dyńska B., Janocha S. 2017. Zastosowanie narzędzi zarządzania jakością do analizy wadliwości wyrobu, Prace naukowo-dydaktyczne, Krosno, 72, 255-274.
- [17] Zasadzień M. 2014. Wykorzystanie analizy Pareto i FMEA do identyfikacji kluczowych wad w produkcji, Management Systems in Production Engineering, 4(16), 153-156.