

Monika RESTECKA
Politechnika Śląska
Instytut Spawalnictwa

Radosław WOLNIAK
Politechnika Śląska
Wydział Organizacji i Zarządzania
rwolniak@polsl.pl

CHARAKTERYSTYKA ORAZ SPOSOBY OBLICZANIA KOSZTÓW SPAWANIA

Streszczenie. W niniejszym artykule przedstawiono sposoby obniżania kosztów spawania oraz charakterystykę poszczególnych kosztów związanych ze spawaniem. Dodatkowo opisano sposoby obliczania kosztów spawania oraz wpływ poszczególnych czynników na te koszty. Najważniejszym aspektem w problematyce oszczędności kosztów jest konieczność kompleksowego spojrzenia na produkcję z uwzględnieniem wszystkich etapów wytwarzania konstrukcji i wyrobów spawanych.

Słowa kluczowe: spawanie, analiza kosztów, koszty spawania, produkcja, towar

CHARACTERISTICS AND METHODS OF CALCULATION OF WELDING COSTS

Abstract. This article outlines ways to reduce the cost of welding and the characteristics of the individual costs associated with welding. In addition, the methods of calculation of welding costs and the influence of individual factors on these costs are presented. The most important aspect in the cost savings issue is the need for a comprehensive look at production, taking into account all stages of manufacturing welded constructions and products.

Keywords: welding, cost analysis, welding costs, manufacturing, commodity

1. Wprowadzenie

Podstawowymi czynnikami, jakie wpływają na ekonomikę wytwarzania konstrukcji spawanych, są koszty wytwarzania, cena sprzedaży oraz zysk. Wiedza dotycząca tych czynników, a także poszczególnych składowych kosztów spawania jest podstawą do rozpoczęcia analizy kosztów i ich obniżenia. Aby obniżyć koszty produkcji, należy również mieć informacje o miejscach ich powstawania, a także poznać procentowy udział poszczególnych składników wydatków w ogólnym koszcie wytwarzania. Daje to możliwość określenia, na którym etapie procesu produkcyjnego można najwięcej zaoszczędzić. Koszty wytwarzania powiązane są przede wszystkim z samym procesem – należy jednak pamiętać, że etap, od którego w dużej mierze zależą całkowite koszty spawania, to projektowanie.

Często zdarza się, że menadżerowie firm do zagadnień związanych z kosztami podchodzą dosyć powierzchownie. Prowadzi to do szukania oszczędności w nieodpowiednim miejscu. Badania przeprowadzone wśród amerykańskich przedsiębiorców wskazują, że większość wytwórców konstrukcji spawanych nie wie dokładnie, jakie są poszczególne nakłady. Ponadto często stosuje się błędną metodykę obliczania kosztów spawania, co prowadzi do niewłaściwych wyników. Analiza wykazała, że menadżerowie dbający o koszty swojego zakładu są poważną konkurencją na rynkach światowych i odnoszą liczne sukcesy. Zyski firmy wskazują na prawidłowe zarządzanie, a zarazem są warunkiem istnienia i rozwoju¹.

2. Czynniki wpływające na koszty spawania

Koszty wytwarzania konstrukcji można podzielić na dwie grupy: koszty pośrednie i bezpośrednie. Czynniki mające wpływ na bezpośrednie koszty spawania to m.in.: koszty związane z projektowaniem połączeń spawanych, z przygotowaniem elementów do spawania, z organizacją produkcji, z techniczną normą czasu pracy ze szczególnym uwzględnieniem współczynnika czasu jarzenia się łuku, ze współczynnikiem stapienia i wydajności stapienia, z masą spoiny oraz ze wskaźnikiem uzysku stopiwa. Czynniki, które również wpływają na koszty spawania, ale nie są czynnikami bezpośrednimi, to m.in.: analiza dokumentacji projektowej (poprawność rozwiązań konstrukcyjnych i technologicznych), posiadanie przez firmę uprawnień, procedur technologicznych (konieczność uzupełniania dokumentacji tego

¹ Keane M.J., Siert A., Chen B.T., Stone S.G.: Profiling Mild Steel Welding Processes to Reduce Fume Emissions and Costs in the Workplace. Oxford Journal, December 2013; Miller K.D.: Determining the cost of welding. "Welding Design and Fabrication", No. 3, 2004; Pfeifer T.: Metody oceny efektywności wdrożeń stanowisk do spawania zrobotyzowanego. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 3, 2011; Rostecka M.: Obliczanie kosztów spawania z wykorzystaniem systemów informatycznych. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 5, 2016; Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. Poradnik inżyniera. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

typu wiąże się z dodatkowymi nakładami), nadzór nad pracami projektowymi, warunki umowy, możliwości produkcyjne firmy, park maszynowy, jakim dysponuje firma, możliwości oraz koszty kooperacji².

2.1. Redukcja kosztów podczas fazy projektowania konstrukcji

Projektant jest pierwszą szansą na redukcję kosztów spawania. To projektanci proponują m.in. gatunek materiału, z jakiego powinna być zrobiona konstrukcja, rodzaj połączeń, długość spoin, kształt rowka spawalniczego itp.

Projektowanie połączeń spawanych powinno uwzględniać możliwości obniżania kosztów przez zachowanie odpowiednich, podstawowych zasad:³

- unikanie przewymiarowania spoin pachwinowych,
- unikanie nadmiernych nadlewów,
- złącze i spoiny należy dobierać, uwzględniając minimalizację ilości wymaganego stopiwa,
- w miarę możliwości eliminacja złączy doczołowych, które wymagają ukosowania brzegów,
- eliminowanie zbędnych złączy z technicznego punktu widzenia,
- projektowanie złączy umożliwiające łatwy dostęp podczas spawania,
- stosowanie rowków spawalniczych o możliwie małym kącie ukosowania,
- podczas spawania grubych blach i wykonywania spoin doczołowych stosowanie głównie spoin dwustronnych zamiast jednostronnych,
- w miarę możliwości podział i wykonywanie konstrukcji w podzespołach,
- w przypadku braku przeciwwskazań stosowanie spoin przerywanych zamiast ciągłych.

2.2. Odpowiednie przygotowanie elementów do procesu spawania

Kolejnym istotnym czynnikiem w obniżaniu kosztów produkcji jest przygotowanie elementów do spawania. Błędy, jakie są popełniane podczas tego zabiegu, mają wpływ na wzrost kosztów spawania oraz na jakość wytwarzanych konstrukcji. Ich usunięcie jest trudne lub niemożliwe. Błędy te mogą również prowadzić do częstych napraw w dalszym etapie produkcji, dlatego ważne jest, aby starać się minimalizować niezgodności przez stosowanie kilku prostych zasad. Jedną z nich jest dokładne wykonanie czyszczenia blach lub elementów konstrukcji spawanych. Czyszczenie polega na usunięciu rdzy, oleju oraz różnego rodzaju

² Drucker P.F.: Innovation and Entrepreneurship. HarperCollins Publisher, Waszyngton 2002; Pfeifer T.: Metody oceny efektywności wdrożeń stanowisk do spawania zrobotyzowanego. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 3, 2011; Wińcza M., Zeman W.: Ekonomika produkcji spawanych konstrukcji stalowych. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 2-3, 2001; Zeman W.: Źródła obniżania kosztów w spawalnictwie. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 5, 2000.

³ Restecka M.: Obliczanie kosztów spawania z wykorzystaniem systemów informatycznych. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 5, 2016; Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. Poradnik inżyniera. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

zanieczyszczeń, które mogą pojawić się na powierzchni elementu przed spawaniem. Ważna jest także metoda cięcia adekwatna do wymagań klienta. Powinno się jednocześnie pamiętać, że niska jakość cięcia ręcznego może być przyczyną problemów i wzrostu kosztów w dalszym etapie produkcji. Należy także stosować odpowiednie urządzenia zapewniające powtarzalne składanie i ewentualne szczepienie elementów przed spawaniem (w razie konieczności). Należy przestrzegać założeń technologicznych dotyczących odstępów i punktów mocowania konstrukcji z uwzględnieniem racjonalnego zużycia stopiwa oraz ograniczeń odkształceń. Ważne jest także bardziej pod uwagę powtarzalnego pozycjonowania elementu oraz przeprowadzanie okresowej kontroli urządzeń i przymiarów⁴.

2.3. Efektywna organizacja produkcji

Bardzo ważnym elementem w obniżce kosztów jest odpowiednia organizacja produkcji. Jest to często niedoceniany czynnik wpływający na koszty. Różnica w wydatkach w poszczególnych przedsiębiorstwach na wyprodukowanie takiej samej konstrukcji spawanej może być spowodowana m.in. nieracjonalnym lub nieodpowiednim wykorzystaniem czasu pracy. Efektywne wykorzystanie czasu pracy w procesach spawania ułatwia stosowanie mechanizacji i automatyzacji, a także odpowiednie wyposażenie stanowisk spawalniczych w urządzenia pomocnicze do pozycjonowania spawanej konstrukcji. Dodatkowo stanowisko powinno być przygotowane tak, aby spawacz mógł skupić się na spawaniu, a nie na innych dodatkowych czynnościach, takich jak naprawy czy szukanie materiałów dodatkowych. Na wydajność wpływają także warunki pracy. Należy również pamiętać o zapewnieniu odpowiedniej wentylacji oraz odzieży ochronnej⁵.

Na koszty wpływ mają także: dostęp do miejsca wykonania spoiny, koszt gazów stosowanych do podgrzewania, czas potrzebny na usunięcie żużla (jeśli taka operacja jest wymagana), koszty gazów osłonowych, koszty energii elektrycznej (zwykle pomijane ze względu na ich minimalny udział) oraz czasy ujęte w technicznej normie czasu pracy⁶.

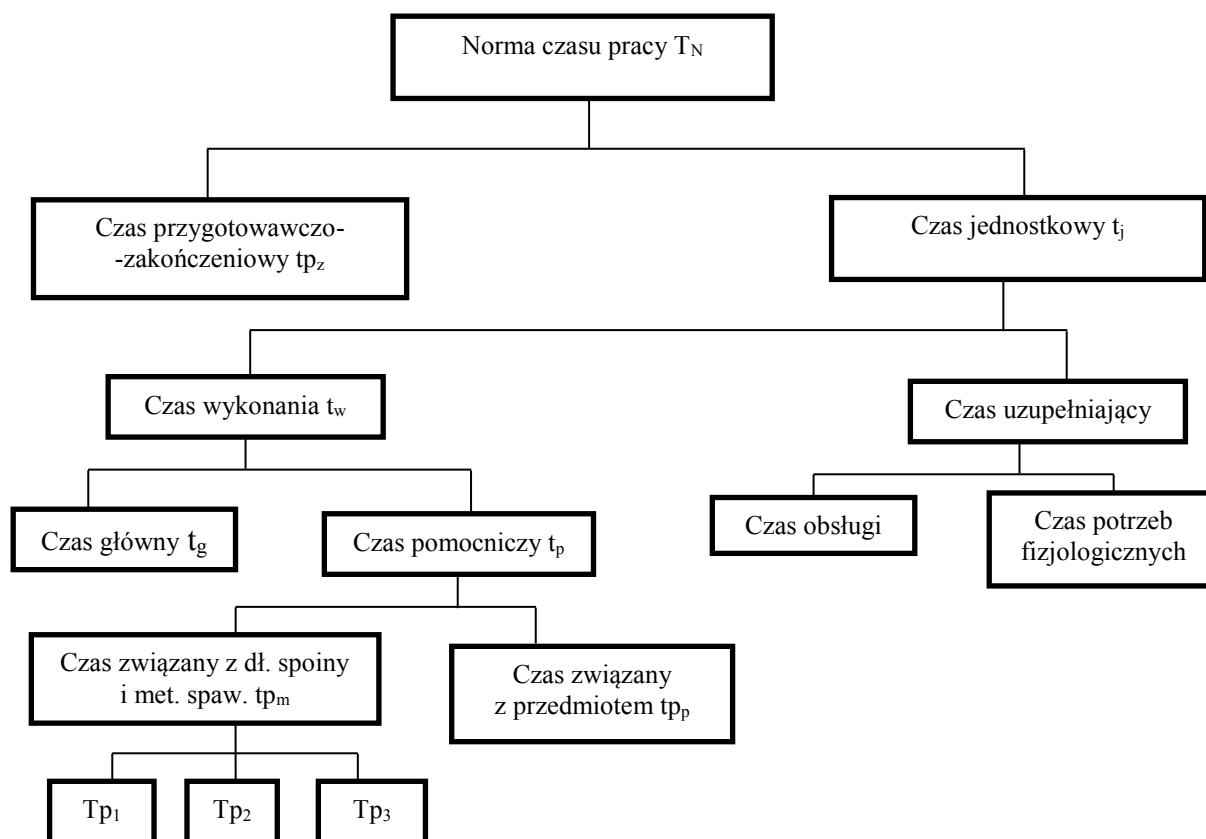
Techniczna norma czasu pracy (rys. 1), oznaczana jako T_n , to czas uznany za niezbędny na wykonanie operacji spawania przy założeniu standardowych i racjonalnych warunków pracy. Schemat T_n przedstawiono na rys. 1⁷.

⁴ Benway E.A.: Lowering the cost of orbital welding. *Pristine Processing*, January 2004; Nowacki J., Pakos R., Kosek S.: Komputerowe wspomaganie obliczeń kosztów spawania. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 4, 2007; Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. *Poradnik inżyniera*. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

⁵ Wińcza M., Zeman W.: Ekonomika produkcji spawanych konstrukcji stalowych. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 2-3, 2001; Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. *Poradnik inżyniera*. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

⁶ Miller K.D.: Determining the cost of welding. „Welding Design and Fabrication”, nr 3, 2004; Pfeifer T.: Metody oceny efektywności wdrożeń stanowisk do spawania zrobotyzowanego. *Biuletyn Instytutu Spawalnictwa*, 2011, nr 3.

⁷ Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. *Poradnik inżyniera*. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.



Rys. 1. Schemat technicznej normy czasu pracy

Source: Rostecka M.: Obliczanie kosztów spawania z wykorzystaniem systemów informatycznych. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 5, 2016.

W skład technicznej normy czasu pracy wchodzi⁸:

- czas przygotowawczo-zakończeniowy,
- czas główny spawania – zużyty na topienie się spoiwa i materiału rodzimego, w wyniku czego powstaje spoina,
- czasy pomocnicze związane ze spawaniem przedmiotem – przeznaczone na zamocowanie, obrócenie lub zdjęcie przedmiotu,
- czasy pomocnicze związane z długością spoiny oraz z metodą spawania – przeznaczone na nastawianie parametrów spawania, wymianę elektrody lub szpuli drutu, czyszczenie spoiny, założenie i odłożenie maski itp.,
- czas uzupełniający – poświęcony na obsługę stanowiska,
- czas na potrzeby fizjologiczne.

Innym istotnym czynnikiem wpływającym na koszty spawania jest tzw. współczynnik jarzenia się łuku, czyli stosunek czasu jarzenia się łuku do całkowitego czasu niezbędnego do wykonania operacji spawania (współczynnik ten wyraża się w procentach):

⁸ Pilarczyk J. (red.): Poradnik Inżyniera. „Spawalnictwo”, tom 1. WNT, Warszawa 2003; Zeman W.: Materiały wykładowe na kurs Europejskiego Inżyniera Spawalnika. Instytut Spawalnictwa, Gliwice 1998.

$$W_j = \frac{t_g}{T_n} \quad (1)$$

gdzie:

t_g – czas główny spawania,

T_N – czas niezbędny do wykonania całej operacji spawania.

Metoda spawania, dla której współczynnik W_j jest największy, to metoda najkorzystniejsza pod względem efektywności wykorzystania czasu pracy. Im bardziej zmechanizowany i zautomatyzowany jest proces, tym większy jest W_j . Zależności te zostały przedstawione w tabeli 1⁹.

Tabela 1

Zależność czasu jarzenia się łuku od stopnia zmechanizowania produkcji

Metoda spawania	Czas jarzenia się łuku										
Ręczne											
Zmechanizowane											
Zautomatyzowane											
Zrobotyzowane											
	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Źródło: Opracowanie własne.

Aby odpowiednio dobrać metodę spawania i ją zmechanizować, należy uwzględnić podatność konstrukcji na mechanizację oraz oszacować, czy wielkość produkcji sprzyja efektywnemu wykorzystaniu zmechanizowanego stanowiska spawalniczego (szczególnie jeśli chodzi o nowe inwestycje)¹⁰.

2.4. Jakość

Określone procedury postępowania (normy, uprawnienia) związane z organizacją produkcji mają na celu zapewnienie jakości procesu wytwarzania adekwatnej do wymagań klienta, zaczynając od etapu projektowania, a na sprzedaży kończąc.

Racjonalna organizacja produkcji najczęściej wymusza wdrożenie systemów jakości, uzyskania odpowiednich certyfikatów itp. Działania te wymagają nakładów w szczególności na początkowym etapie ich realizacji. W dłuższym okresie mogą pomóc przedsiębiorstwu w optymalizacji kosztów związanych z naprawami, odpowiedzialnością w kwestii awarii czy wypadków spowodowanych niską jakością konstrukcji. Udokumentowana, określona jakość umożliwi również podniesienie ceny danej konstrukcji.

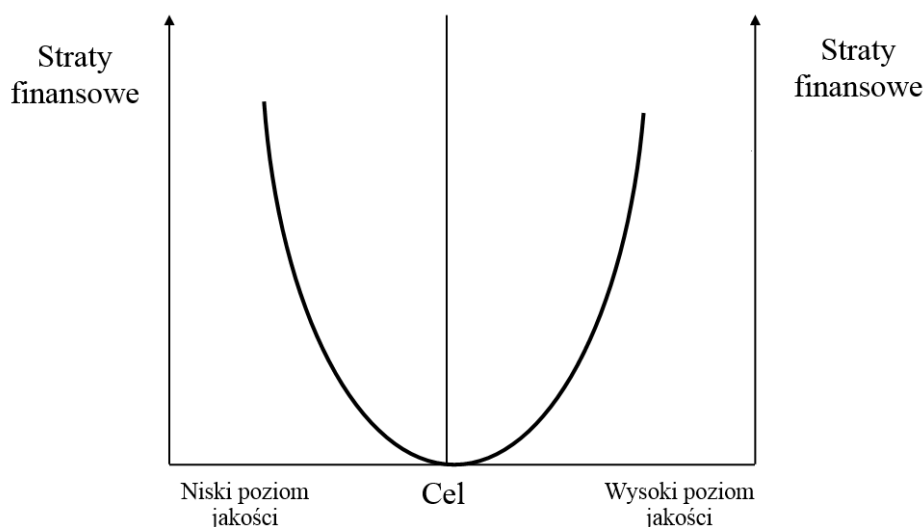
Wyznaczenie optymalnego poziomu jakości jest możliwe dzięki analizie relacji pomiędzy wymaganą jakością a najniższymi kosztami produkcji konstrukcji spawanej. Jak wynika

⁹ Zeman W., Kurpisz B.: *Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych*. Poradnik inżyniera. "Spawalnictwo", nr 1, 2003.

¹⁰ Ibidem.

z rys. 2, nie tylko niski poziom jakości w stosunku do wymagań klienta zwiększa koszty wykonania konstrukcji, lecz także zbyt wysoki poziom może wiązać się ze stratami.

Strategia jakości z uwzględnieniem czynnika ekonomicznego w spawalnictwie polega na poszukiwaniu takich metod i parametrów spawania oraz organizacji pracy, które optymalizują poziom jakości złącza spawanego i całej konstrukcji spawanej¹¹.



Rys. 2. Jakość w funkcji strat finansowych

Źródło: Restecka M.: Obliczanie kosztów spawania z wykorzystaniem systemów informatycznych. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 5, 2016.

Nowoczesne metody zarządzania jakością w spawalnictwie kładą nacisk na optymalizację projektowania procesu spawania oraz samej produkcji, a także na zapobieganie niezgodnościom oraz inspekcji jakości całego procesu zamiast kontroli spoiny czy wyrobu spawanego. Dzięki stosowaniu nowych metod kontroli jakości możliwa jest redukcja kosztów spawania¹².

2.5. Współczynnik stapiania oraz wydajność stapiania

W trakcie optymalizacji bezpośrednich kosztów spawania istotnymi czynnikami są także współczynnik stapiania oraz wydajność stapiania. Czynniki te mają wpływ zarówno na czas jarzenia się łuku, jak i na wydajność stapiania, a tym samym na koszty. Innymi słowy współczynnik stapiania jest ilością stopiwa uzyskaną na 1 amper i 1 godzinę, czyli g/Ah ¹³.

¹¹ Silva C., Ferraresi V., Scotti A.: A quality and cost approach for welding proces selection. “Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences”, nr 3, 2000; Zeman W.: Źródła obniżania kosztów w spawalnictwie. “Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 5, 2000.

¹² Pilarczyk J., Zeman W.: Ekonomika i jakość w spawalnictwie. VI Krajowa Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza – Jakość w spawalnictwie. Międzyzdroje, 8-10.05.2001.

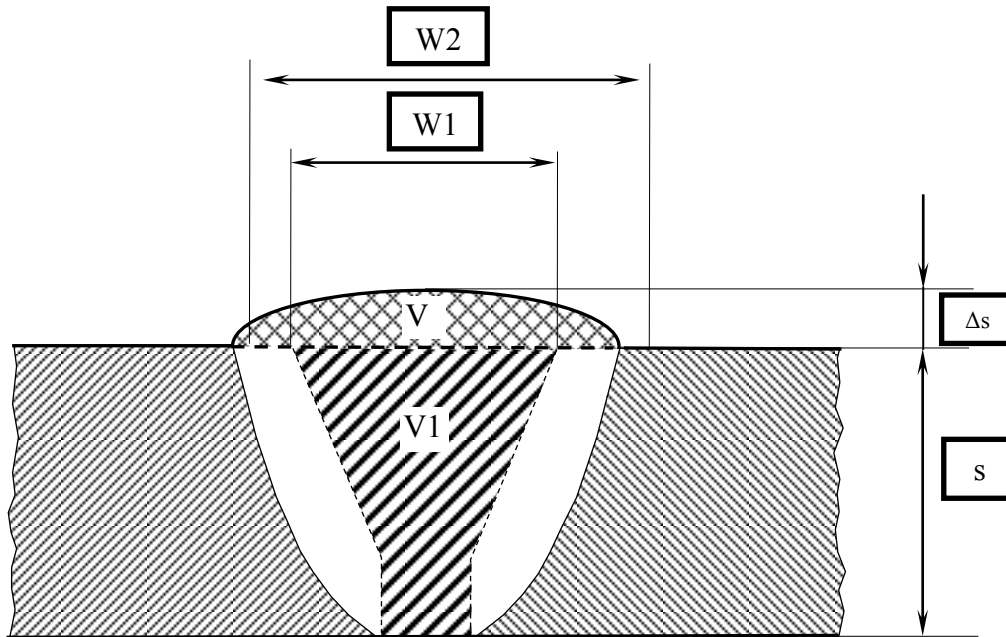
¹³ Wińcza M., Zeman W.: Ekonomika produkcji spawanych konstrukcji stalowych. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 2-3, 2001; Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. Poradnik inżyniera. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

2.6. Masa spoiny

W związku z obniżką kosztów ważna jest także masa spoiny, która stanowi podstawę do określenia czasu spawania oraz zużycia materiałów dodatkowych do spawania. Masę spoiny (rys. 3) oblicza się na podstawie kształtu oraz parametrów rowka spawalniczego¹⁴.

Objętość V jednego metra spoiny można podzielić na dwie składowe:

- objętość spoiny wewnątrz rowka spawalniczego V_1 , cm^3/m ,
- objętość spoiny w nadlewie V_2 , cm^3/m , a zatem: $V = V_1 + V_2 \text{ cm}^3/\text{m}$.



Rys. 3. Masa spoiny

Źródło: Zeman W., Kurpisz B.: *Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. Poradnik inżyniera*. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

Wzór na masę spoiny jest następujący:

$$G = \frac{V\gamma}{100} \left[\frac{\text{kg}}{\text{m}} \right] \quad (2)$$

gdzie:

V – objętość spoiny, cm^3/m ,

γ – gęstość właściwa, kg/dm^3 , np. dla stali wynosi ona $7,85 \text{ kg}/\text{dm}^3$.

¹⁴ Zeman W., Kurpisz B.: *Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. Poradnik inżyniera*. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

3. Koszty materiałów dodatkowych do spawania

Materiały dodatkowe do spawania to: elektrody, druty lite, druty z rdzeniem proszkowym, gazy osłonowe oraz topniki. Rodzaj materiałów oraz ich ilość dobiera się według metody spawania oraz masy spoin. Poniżej przedstawiono obliczanie kosztów zużycia materiałów dodatkowych dla poszczególnych metod spawania¹⁵:

- *spawanie ręczne elektrodami otulonymi [MMAW]*

Koszt elektrod:

$$K_E \text{ zł/m} = \frac{\text{masa stopiwa } G \text{ kg/m}}{\text{wskaźnik uzysku } U_c} \times \text{cena elektrody } C_E \text{ zł/kg} \quad (3)$$

- *spawanie elektryczne w osłonach gazowych – MIG/MAG, TIG, FCAW (drut + gaz osłonowy)*

$$\text{Koszt drutu } K_D \text{ zł/m} = \frac{\text{masa stopiwa } G \text{ kg/m}}{\text{wskaźnik uzysku } U_c} \times \text{współczynnik} \quad (4)$$

stosunek zużytego gazu do ilości zużytego drutu x cena gazu C_G zł/kg

$$E = 0,6-1,0 \text{ dla MIG/MAG, } 0,5 \text{ dla MIG, } 0,96 \text{ dla TIG} \quad (5)$$

lub

$$K_G = \text{szybkość przepływu gazu } V_g \text{ l/min} \times \text{czas główny spawania } t_g \text{ min/m} \\ \times \text{cena gazu } C_G \text{ zł/l} \quad (6)$$

- *spawanie łukiem krytym i elektrodozłowe*

Koszt drutu:

$$K_D \text{ zł/m} = \frac{\text{masa stopiwa } G \text{ kg/m}}{\text{wskaźnik uzysku } U_c} \times \text{cena drutu } C_D \text{ zł/kg} \quad (7)$$

Koszt topnika

$$K_T \text{ zł/m} = \frac{G}{U_c} \times \text{wskaźnik zużycia topnika } U_T \times \text{cena drutu } C_D \text{ zł/kg} \quad (8)$$

Zużycie topnika można orientacyjnie określić na podstawie ilości zużytego drutu. Wskaźnik ilości zużytego topnika U_T wynosi dla łuku krytego 1,2-2,0, natomiast dla spawania elektrodozłowego 0,017-0,125. Wraz ze wzrostem grubości blachy wskaźnik ten się zwiększa. Zależy także od systemu regeneracji topnika¹⁶.

Obniżka kosztów materiałów dodatkowych jest możliwa przez zastępowanie elektrod otulonych i drutów pełnych drutami proszkowymi, głównie w celu zwiększenia wydajności stapiania, ograniczenia liczby rozprysków oraz wyższego uzysku stopiwa. Dodatkowymi możliwościami obniżki są:¹⁷

¹⁵ Pfeifer T.: Metody oceny efektywności wdrożeń stanowisk do spawania zrobotyzowanego. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 3, 2011; Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. Poradnik inżyniera. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

¹⁶ Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. Poradnik inżyniera, „Spawalnictwo” nr 1, 2003.

¹⁷ Example of cost calculation in welding. Technical Sheets of EWF, 2007; Pilarczyk J., Zeman W.: Ekonomika i jakość w spawalnictwie. VI Krajowa Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza – Jakość w spawalnictwie. Międzyzdroje, 8-10.05.2001; Zeman W.: Źródła obniżania kosztów w spawalnictwie. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 5, 2000.

- dobór właściwego dostawcy (stosunku jakości do ceny),
- dobór spoin pod kątem optymalizacji ilości wymaganego stopiwa oraz unikanie przewymiarowania,
- wykonanie spoin szczepnych jako integralnej części spoin właściwych,
- unikanie nadmiernych nadlewów,
- zastępowanie spoin jednostronnych dwustronnymi,
- dbałość o szczelność instalacji gazowej itp.

4. Charakterystyka kosztów robocizny

Koszty robocizny z narzutami związane są przede wszystkim z czasem głównym spawania i stanowią największy udział procentowy w strukturze kosztów spawania. W niektórych przypadkach łączą się także z czasem przygotowania złącza i czyszczeniem elementów z odprysków. Koszty te można ustalić na podstawie pomiarów na stanowisku pracy lub danych z normatywów technologicznych. Dodatkowym sposobem ustalenia czasu spawania, w przypadku gdy nie dysponujemy odpowiednimi danymi, jest wykorzystanie danych dotyczących masy stopiwa, wskaźnika wydajności stapiania oraz współczynnika czasu jarzenia się łuku¹⁸:

$$t_g = \frac{G}{W_{st}}; T_n = \frac{t_g}{W_j} \quad (9)$$

Koszty robocizny to wynagrodzenie spawacza z wszystkimi dodatkami uzupełniającymi (np. premie, dodatek za warunki szkodliwe, trzynasta pensja itd.) [S_h zł/h] oraz koszty, jakie ponosi pracodawca z tytułu zatrudnienia spawacza [d_p zł/h].

Koszty robocizny obliczamy ze wzoru:¹⁹

$K_R = [\text{wynagrodzenie spawacza } S_h \text{ zł/h} + 0,20S_h] \times \text{całkowity czas spawania } T_n \text{ h/m}$
czyli

$$K_R = 1,2 S_h T_n \quad (10)$$

Redukcję tych kosztów można uzyskać przez zastosowanie mechanizacji lub robotyzacji procesu spawania oraz bardzo wydajnych metod spawania i materiałów dodatkowych o wysokim współczynniku stapiania. Istotne jest wyposażenie stanowisk spawalniczych w urządzenia pomocnicze, tj. manipulatory czy pozycjonery, ułatwiające dostęp do złącza

¹⁸ Pfeifer T.: Metody oceny efektywności wdrożeń stanowisk do spawania zrobotyzowanego. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 3, 2011; Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomia wytwarzania konstrukcji spawanych. Poradnik inżyniera. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

¹⁹ Ibidem.

spawanego. Unikanie odkształceń oraz wysoka jakość spawania wyeliminują konieczność prostowania wyrobu oraz wynikających z tego napraw po wykonanym procesie spawania²⁰.

5. Charakterystyka kosztów energii elektrycznej

Koszt energii elektrycznej jest związany z jej zużyciem. Wpływ na zużycie energii ma wymagana moc elektryczna do wykonania określonych prac spawalniczych. Moc jest natomiast zależna od napięcia łuku elektrycznego, natężenia prądu oraz sprawności danego urządzenia i mocy biegu jałowego. Zużycie energii elektrycznej wyraża się w kW x h/m:

$$Z_{EL} = \frac{\text{natężenie } I \times \text{napięcie } U \times \text{czas główny } t_g}{\text{sprawność źródła prądu} \times 1000\eta} + \text{moc biegu jałowego } P_o \quad (11)$$

x czas pomocniczy t_{pm} h/m

W przypadku brakujących danych na temat P_o oraz t_{pm} przyjmuje się, że zużycie energii związane z pracą źródła zasilania w czasie biegu jałowego wynosi ok. 2% zużycia energii podczas spawania. Koszt energii elektrycznej wyraża się w zł/m, a uproszczony wzór jest następujący:

$$K_{EL} = \text{zużycie energii } Z_{EL} \times \text{cena energii } C_{EL} \quad (12)$$

Dodatkowe zużycie energii podczas procesów spawania może wynikać z potrzeby podgrzewania spawanych elementów przed procesem lub w trakcie procesu bądź z konieczności obróbki cieplnej całej konstrukcji po spawaniu. Źródłem znacznej obniżki kosztów energii może być analiza możliwości wykorzystania materiałów podstawowych i dodatkowych, które nie wymagają obróbki cieplnej, lub możliwość zastosowania wyżarzania odprężającego stabilizacją wibracyjną²¹.

²⁰ Example of cost calculation in welding. Technical Sheets of EWF, 2007; Pilarczyk J., Zeman W.: *Ekonomika i jakość w spawalnictwie*. VI Krajowa Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza – Jakość w spawalnictwie, Międzyzdroje, 8-10.05.2001; Zeman W.: *Źródła obniżania kosztów w spawalnictwie*. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 5, 2000; Zeman W.: *Źródła obniżania kosztów w spawalnictwie*. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 5, 2000; Zeman W., Kurpisz B.: *Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych*. Poradnik inżyniera. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

²¹ Ciechacki K., Giętka T., Chudziński M.: *Analiza czasu i kosztów spawania zbiornika magazynowego*. „Inżynieria i Aparatura Chemiczna”, nr 5, 2012; Pfeifer T.: *Metody oceny efektywności wdrożeń stanowisk do spawania zrobotyzowanego*. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 3, 2011; Pilarczyk J., Zeman W.: *Ekonomika i jakość w spawalnictwie*. VI Krajowa Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza – Jakość w spawalnictwie. Międzyzdroje, 8-10.05.2001.

6. Charakterystyka kosztów związanych z urządzeniami

Koszty związane z urządzeniami to: koszt amortyzacji K_A , koszt remontów K_R oraz koszt powierzchni produkcyjnej K_P .

Do oszacowania kosztów amortyzacji konieczne jest obliczenie tzw. odpisu amortyzacyjnego, czyli wielkości określającej koszt pracy urządzenia w danej jednostce czasu²².

- *koszt amortyzacji*

Odpis amortyzacyjny

$$A \text{ zł/h} = \frac{\text{cena urządzenia } C_u \text{ zł} \times \text{stopa amortyzacji } a}{\text{nominalny roczny fundusz czasu pracy } F_n \text{ h/a}} \quad (13)$$

Stopy amortyzacji dla urządzeń spawalniczych wg D.U. Nr 54/00 mieszczą się między 10-18%. Nominalny roczny fundusz czasu pracy wynosi ok. 2000 h/a (godzin na rok).

Wzór na koszt amortyzacji danego urządzenia wyraża się następująco:²³

$$K_A \text{ zł/m} = \text{odpis amortyzacyjny } A \text{ zł/h} \times \text{czas wykonania spoiny } t_j \text{ h/m} \quad (14)$$

- *koszt remontów*

Nie istnieje ogólny wzór na obliczenie tego rodzaju wydatków. Koszt remontu danej maszyny musi być ustalony indywidualnie. Można przyjąć, że nakład ten stanowi 9% kosztów amortyzacji, czyli:²⁴

$$K_R \text{ zł/m} = 0,09 \times \text{koszt amortyzacji } K_A \text{ zł/m} \quad (15)$$

- *koszt powierzchni produkcyjnej*

Koszt ten obliczany jest jedynie wówczas, gdy porównywaniu poddajemy metody spawania o zdecydowanie różnych wymaganiach co do powierzchni użytkowej.

$$K_P \text{ zł/m} \times \frac{\text{koszt amortyzacji } 1 \text{ m}^2 \text{ powierzchni } K_{ap} \frac{\text{zł}}{\text{a}} \times \text{niezbędna powierzchnia } P \text{ m}^2}{\text{nominalny czas pracy } F_n \text{ h/a}} \quad (16)$$

x całkowity czas spawania T_n h/m

gdzie F_n – 2000 h/a²⁵.

Podczas kupna nowych urządzeń należy optymalnie, z punktu widzenia techniczno-ekonomicznego, dobrać technologię oraz metody spawania. W kolejnym kroku należy przeanalizować oferty pod kątem ceny urządzenia oraz uwzględnić obsługę serwisową, gwarancję i dostępność części zamiennych²⁶.

²² Kurpisz B.: *Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych*. Poradnik inżyniera. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

²³ Ibidem.

²⁴ Ibidem.

²⁵ Ibidem.

²⁶ Grundman J.: *Jakość, wydajność i wynikające stąd koszty spawania stali węglowych w osłonie gazów aktywnych*. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 5, 2005; Pilarczyk J., Zeman W.: *Ekonomika i jakość w spawalnictwie*. VI Krajowa Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza – Jakość w spawalnictwie, Międzyzdroje, 8-10.05.2001; Zeman W.: *Źródła obniżania kosztów w spawalnictwie*. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 5, 2000.

7. Obliczanie kosztów bezpośrednich spawania

W zależności od stosowanej metody spawania wzór na obliczanie kosztów bezpośrednich procesu może się różnić. Poniżej przedstawiono sposoby obliczania kosztów bezpośrednich spawania poszczególnymi metodami:²⁷

- koszty bezpośrednie spawania ręcznego elektrodami otulonymi MMAW

$$K_B = K_E + K_R + K_{EL} + K_U \quad (17)$$

- koszty bezpośrednie spawania elektrycznego w osłonach gazowych

$$K_B = K_D + K_G + K_R + K_U \quad (18)$$

- koszty bezpośrednie spawania łukiem krytym SAW

$$K_B = K_D + K_T + K_R + K_U \quad (19)$$

8. Podsumowanie

Podsumowując, należy przyjąć, że obniżenie kosztów spawania można uzyskać przez obniżkę kosztów robocizny, materiałów dodatkowych i energii, nakładów na wdrożenia technologii i stanowisk spawalniczych, wzrost zysku w wyniku zwiększenia wielkości produkcji. Z danych literaturowych wynika, że koszt robocizny stanowi największy procent wydatków związanych bezpośrednio ze spawaniem. Z tego powodu największe oszczędności można uzyskać przez stosowanie metod o dużej wydajności, unikanie odkształceń, odpowiednio wysoką jakość przygotowania elementu do spawania, dobrą jakość spawania zapewniającą eliminację napraw, optymalizację wymaganego stopiwa przy doborze spoin, w uzasadnionych przypadkach wykorzystywanie spawania wąskoszczelinowego, stosowanie materiałów dodatkowych o dużym współczynniku stapienia oraz takich, które eliminują rozpryski, używanie nowoczesnych urządzeń spawalniczych z gotowymi procedurami spawania oraz stosowanie mechanizacji i robotyzacji.

Koszty spawania można również obniżyć przez dobór właściwego dostawcy materiałów dodatkowych, zarówno pod względem jakości, jak i ceny.

Wydatki związane z energią można obniżyć przez optymalny dobór energii liniowej, stosowanie źródeł energii o dużej sprawności energetycznej, dobór materiałów zarówno podstawowych, jak i dodatkowych w taki sposób, aby nie wymagały one dodatkowej obróbki cieplnej (w miarę możliwości), oraz przez zastąpienie wyżarzania odprężającego stabilizacją wibracyjną.

²⁷ Kurpisz B.: *Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych*. Poradnik inżyniera. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.

Bibliografia

1. Benway E.A.: Lowering the cost of orbital welding. Pristine Processing, January 2004.
2. Ciechacki K., Giętka T., Chudziński M.: Analiza czasu i kosztów spawania zbiornika magazynowego. „Inżynieria i Aparatura Chemiczna”, nr 5, 2012.
3. Drucker P.F.: Innovation and Entrepreneurship. HarperCollins Publisher, Washington 2002.
4. Example of cost calculation in welding. Technical Sheets of EWF, 2007.
5. Grundman J.: Jakość, wydajność i wynikające stąd koszty spawania stali węglowych w osłonie gazów aktywnych. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 5, 2005.
6. Keane M.J., Siert A., Chen B.T., Stone S.G.: Profiling Mild Steel Welding Processes to Reduce Fume Emissions and Costs in the Workplace. Oxford Journal, December 2013.
7. Miller K.D.: Determining the cost of welding. “Welding Design and Fabrication”, No. 3, 2004.
8. Nowacki J., Pakos R., Kosek S.: Komputerowe wspomaganie obliczeń kosztów spawania. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 4, 2007.
9. Pfeifer T.: Metody oceny efektywności wdrożeń stanowisk do spawania zrobotyzowanego. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 3, 2011.
10. Pilarczyk J. (red.): Poradnik Inżyniera. Spawalnictwo, tom 1. WNT, Warszawa 2003.
11. Pilarczyk J., Zeman W.: Ekonomika i jakość w spawalnictwie. VI Krajowa Naukowo-Techniczna Konferencja Spawalnicza – Jakość w spawalnictwie. Międzyzdroje, 8-10.05.2001.
12. Rostecka M.: Obliczanie kosztów spawania z wykorzystaniem systemów informatycznych. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 5, 2016.
13. Silva C., Ferraresi V., Scotti A.: A quality and cost approach for welding process selection. “Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences”, No. 3, 2000.
14. Wińcza M., Zeman W.: Ekonomika produkcji spawanych konstrukcji stalowych. „Przegląd Spawalnictwa”, nr 2-3, 2001.
15. Zeman W., Kurpisz B.: Ekonomika wytwarzania konstrukcji spawanych. Poradnik inżyniera. „Spawalnictwo”, nr 1, 2003.
16. Zeman W.: Materiały wykładowe na kurs Europejskiego Inżyniera Spawalnika. „Instytut Spawalnictwa”, Gliwice 1998.
17. Zeman W.: Źródła obniżania kosztów w spawalnictwie. „Biuletyn Instytutu Spawalnictwa”, nr 5, 2000.
18. www.is.gliwice.pl.
19. <http://www.lincolnelectric.com/>.