

Krzysztof CIECHACKI<sup>1</sup>, Tomasz GIĘTKA<sup>1</sup>, Marcin CHUDZIŃSKI<sup>2</sup>

e-mail: krzysztofciechacki@utp.edu.pl

<sup>1</sup> Zakład Inżynierii Materiałowej, Wydział Inżynierii Mechanicznej, Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy, Bydgoszcz<sup>2</sup> MEKRO Sp. z o.o., 86-105 Świecie

## Analiza czasu i kosztów spawania zbiornika magazynowego

### Wprowadzenie

Na koszty wytwarzania zbiorników magazynowych największy wpływ mają robocizna i wyposażenie w sprzęt. Podczas wytwarzania zbiorników magazynowych ważne jest zatem dobranie odpowiedniej metody spawania: ręcznej lub automatycznej. Złe dobranie metody może doprowadzić do nieobliczalnych strat [Balasubramanian i in., 2009].

Przygotowanie krawędzi do spawania ma duże znaczenie z punktu widzenia ekonomiki. Problematyka ekonomiczno-techniczna obróbki krawędzi do spawania była omawiana w wielu opracowaniach, lecz przeważnie porównywano wady i zalety oraz koszty poszczególnych metod przy wykonaniu 1 mb cięcia. Na podstawie analiz można jednoznacznie określić, które metody i przy jakich grubościach są najtańsze i zalecane do stosowania. Z reguły rozpatruje się głębokość strefy wpływu ciepła, gładkość ciętych powierzchni, zmiany strukturalne, tolerancje pochylenia krawędzi, itp. Wszystkie te składowe mają wpływ na wynik ekonomiczny całego dalszego montażu i prac spawalniczych.

Najtańszą, ale zarazem najmniej dokładną metodą cięcia jest obróbka ręczna palnikami gazowymi lub plazmowymi. Jakość tych prac jest niska i ma zdecydowany wpływ na pracochłonność. Powoduje to zwiększenie kosztów w dalszych operacjach [Balasubramanian i in., 2009; Wińcza i Zeman, 2001; Urzysnik i Słania, 2011]. Jakość elementów ciętych tą metodą można polepszyć poprzez zastosowanie różnego rodzaju oprzyrządowania np. prowadnic.

Podczas cięcia laserem deformacje są najmniejsze, a jakość ciętych krawędzi jest wysoka. Stosowanie lasera ograniczają jednak:

- wysokie koszty urządzenia,
- wyższe koszty eksploatacyjne w porównaniu z innymi metodami,
- grubości ciętych elementów.

Podstawę do odrzucenia tej metody cięcia może stanowić jednostkowa analiza ekonomiczna. Jednak coraz szersze zastosowanie laserów i zautomatyzowanego cięcia plazmą powoduje obniżenie kosztów w kolejnych operacjach (montaż i spawanie).

Obecnie bardzo popularną metodą cięcia jest cięcie plazmą pod lustrem wody, które zapobiega powstawaniu deformacji ciętych elementów (nie tylko stalowych) oraz eliminuje szereg niedogodności jak hałas i zapylenie.

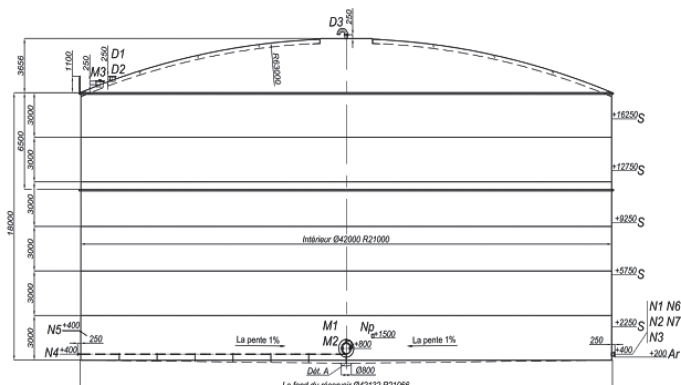
Od jakości przygotowania materiałów do spawania zależy koszt związany z pracami montażowymi przed spawaniem. Na tym etapie zaczyna się kumulacja błędów i zaniechań powstałych w poprzednich procesach przygotowania materiałów do montażu, które mają wpływ na jakość i koszt montażu oraz spawania. Im większe odchyłki dopuszczalne na etapie trasowania i obróbki (w przemyśle okrętowym dochodzą do 4÷6 mm/10 m, co powoduje pracochłonność montażu rzędu 50÷80 h/t), tym bardziej kłopotliwe i bardziej pracochłonne jest składanie elementów do spawania (podwyższenie dokładności do 2 mm /10 m, zmniejszyło pracochłonność do 25 h/t) [Wińcza i Zeman, 2001; Teng i Lin, 2005].

W niniejszej pracy przedmiotem analizy jest spawanie zbiornika magazynowego na paliwo płynne. Do analizy przyjęto różne metody spawania: ręczną – MMA (*Manual Metal Arc*), półautomatyczną – MAG (*Metal Active Gas*) i automatyczną – SAW (*Submerged Arc Welding*).

### Opis techniczny zbiornika

Analizowany zbiornik, ma objętość 25 000 m<sup>3</sup> oraz 21 656 mm wysokości i 42 000 mm średnicy (Rys. 1).

Zbiornik ten ma służyć do przechowywania produktów naftowych. Materiałem na wszystkie elementy zbiornika stykające się z medium jest stal niestopowa konstrukcyjna w gatunku S355J2+AR. Pozostały materiał – to niskostopowa stal konstrukcyjna w gatunku S235J2+AR.



Rys. 1. Zbiornik magazynowy poddany analizie

W zbiorniku można wyróżnić spoiny czołowe i pachwinowe, które zostały przyjęte do obliczeń kosztów spawania. Długości spoin w metrach bieżących dla poszczególnych części zbiornika przedstawiono w tab. 1.

Tab. 1. Zestawienie długości spoin do wykonania na zbiorniku [mb]

Rodzaj spoiny	Dno		Płaszcz				Dach	Suma
	PB	PA	PD	PB	PC	PF	PB	
BW czołowa	-	125	-	-	660	324	-	1109
FW pachwinowa	600	-	250	450	-	-	600	1900
Suma	725		1684				600	3009

Do obliczeń przyjęto podział na rodzaje spoin i pozycje spawania wymienione w tab. 1. W związku z tym dla każdej z metod spawania (spawanie ręczne, półautomatyczne i automatyczne) przeprowadzono pięć odrębnych analiz obliczeniowych przyjmując jako dane bazowe informacje zawarte w tab. 2.

Tab. 2. Oznaczenie spoin oraz pole przekroju poprzecznego spoiny

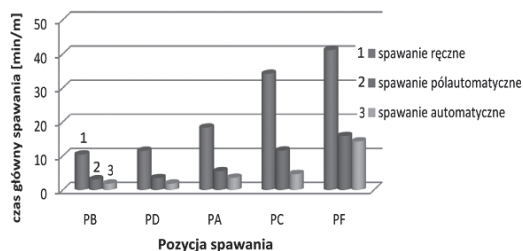
Oznaczenie typu złącza	Rodzaj spoiny	Pozycja spawania	Szkic złącza	ilość		
				N	Pp	G
				mb	mm <sup>2</sup>	kg/m
1	FW	PB		1650	19,2	0,15
2	FW	PD		250	19,2	0,15
3	BW	PA		125	36,8	0,29
4	BW	PC		660	68,4	0,54
5	BW	PF		324	68,4	0,54

### Analiza czasów spawania

W zależności od metody spawania (spawanie ręczne, spawanie półautomatyczne i spawanie automatyczne) w ramach analizy czasów dokonano porównania:

- czasu głównego spawania [min/m],
- całkowitego czasu spawania [min/m],
- czasu głównego spawania całego zbiornika [h],
- całkowitego czasu spawania całego zbiornika [h].

Analizując wyniki przedstawione na rys. 2 należy stwierdzić, że czas główny spawania jest najdłuższy dla spawania ręcznego niezależnie od pozycji spawania, przy czym spoiny pachwinowe zarówno w pozycji PB jak i PD (o tym samym wymiarze) mają porównywalny czas główny spawania, wynoszący około 10 min/m spoiny.

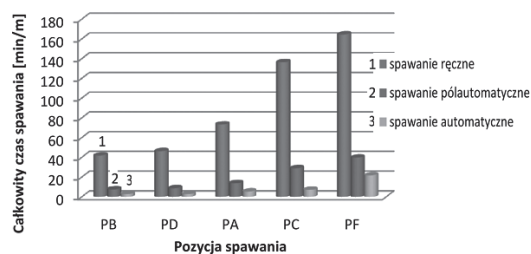


Rys. 2. Porównanie czasu głównego w zależności od metody spawania

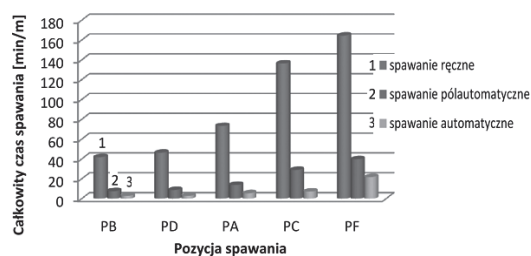
Czas główny ręcznego wykonania spoiny czołowej w pozycji PA (o grubości 6 mm) wynosi około 15 min/m, spoin o grubości 10 mm w pozycji PC nieco ponad 30 min/m, a w pozycji PF 40 min/m.

Czas główny spawania metodami półautomatycznymi jest około 3 razy krótszy niż czas spawania metodami ręcznymi.

Czas główny spawania metodami automatycznymi z wyjątkiem pozycji PF jest ponad 5 razy krótszy w porównaniu z czasem spawania metodami ręcznymi. Należy zauważyć, że czas główny spawania w pozycji PF jest porównywalny dla metod półautomatycznych i automatycznych.



Rys. 3. Porównanie czasu całkowitego w zależności od metody spawania



Rys. 4. Porównanie czasów spawania dla przyjętych metod spawania

Porównując całkowity czas spawania można zauważyć, że generalnie istnieje podobieństwo do wyżej przedstawionego porównania głównego czasu spawania. Porównanie to wypada jednak jeszcze bardziej niekorzystne dla spawania ręcznego, z uwagi na współczynnik czasu jarzenia się łuku. Całkowity czas spawania metodami półautomatycznymi, w zależności od pozycji, jest od 4–5 razy krótszy od czasu w metodach ręcznych.

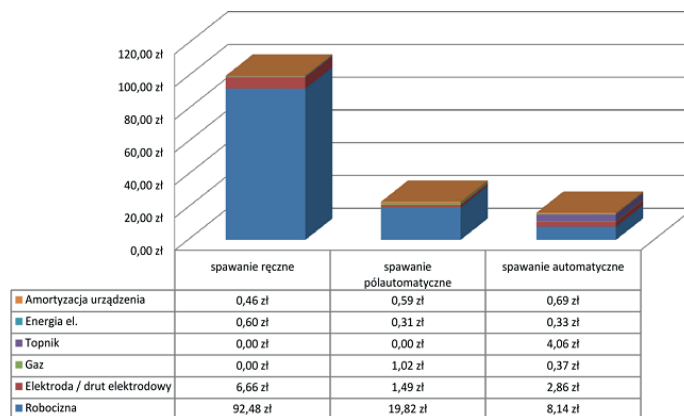
### Struktura kosztów spawania i ich analiza

W ramach analizy kosztów przeprowadzono porównanie:

- struktur kosztów spawania jednego metra spoiny,

- kosztów bezpośrednich spawania w zł/m dla metod spawania,
- struktur kosztów spawania całego zbiornika dla metod spawania,
- łącznego kosztu bezpośredniego wykonania zbiornika przyjętymi metodami.

W strukturze kosztów spawania jednego metra spoiny (Rys. 5), dominującym składnikiem jest robocizna. Koszt robocizny stanowi, aż 92% całkowitego kosztu bezpośredniego spawania metodami ręcznymi, około 85% metodami półautomatycznymi i około 50% metodami automatycznymi. Dodatkowo koszt ten dla spawania ręcznego (92,48 zł/m) jest ponad 4 razy większy niż dla spawania półautomatycznego (19,82 zł/m) i ponad 11 razy większy niż koszt robocizny przy spawaniu automatycznym (8,14 zł/m).

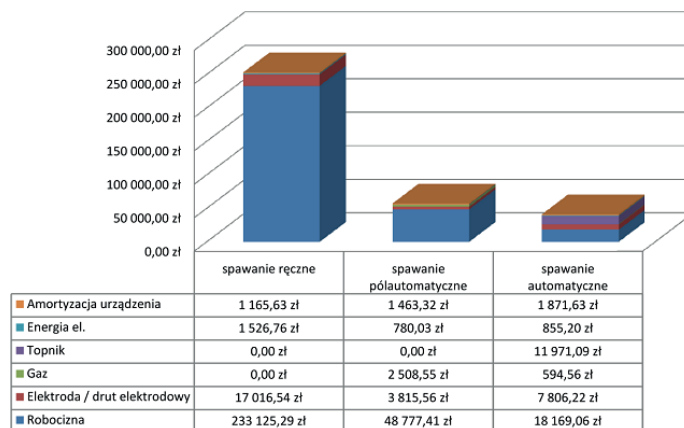


Rys. 5. Struktura kosztów spawania 1 mb przyjętymi metodami

### Wnioski

Stwierdzono, że spawanie automatyczne daje wymierne efekty w postaci znacznie krótszego całkowitego czasu spawania zbiornika, a co za tym idzie, znaczne obniżenie kosztów.

Spawanie automatyczne wymaga jednak zastosowania specjalistycznych, kosztownych urządzeń oraz specjalnych technologii spawania.



Rys. 6. Struktura kosztów wykonania całego zbiornika przyjętymi metodami

### LITERATURA

- Balasubramanian V., Varahamoorthy R., Ramachandran C. S., Muralidharan C., 2009. Selection of welding process for hardfacing on carbon steels based on quantitative and qualitative factors. The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, nr 40, 887-897. DOI: 10.1007/s00170-008-1406-8
- Wińcza M., Zeman W., 2001. Ekonomia produkcji konstrukcji spawanych, Przegląd Spawalnictwa, nr 2-3, 1-7
- Urzyńcok M., Słania J., 2011. Analiza kosztów spawania kotłowych konstrukcji spawanych, Przegląd Spawalnictwa, nr 2, 10-15
- Teng J. G., Lin X., 2005. Fabrication of small models of large cylinders with extensive welding for buckling experiments. Thin-Walled Structures, nr 43, 1091-1114. DOI: 10.1016/j.tws.2004.11.006