

OPTIMALIZACJA PARAMETRÓW ZGRZEWANIA TARCIOWEGO ZA POMOCĄ ALGORYTMÓW GENETYCZNYCH

Radosław Winiczenko

Katedra Podstaw Inżynierii, Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego

Streszczenie. Celem pracy było zastosowanie algorytmów genetycznych do optymalizacji parametrów zgrzewania tarciowego. Do znalezienia funkcji celu użyto programu do optymalizacji FlexCI z modułem FlexGA. Wyniki badań wytrzymałościowych na rozciąganie przeprowadzonych na próbkach stalowych są zgodne z prognozowanymi. Największą wytrzymałość złącza równą $Re_{max}=609$ MPa osiągnięto dla następujących parametrów zgrzewania: siły tarcia $P_t=25$ kN, czasu tarcia $T_t=3$ s, siły spęczania $P_s=34$ kN oraz czasu spęczania $T_s=3$ s.

Słowa kluczowe: algorytmy genetyczne, zgrzewanie tarciove, wytrzymałość połączenia

Wstęp i cel pracy

Zgrzewanie tarciove konwencjonalne dzieli się na dwie podstawowe fazy: tarcie i spęczanie. Podczas pierwszej fazy na granicy zgrzewanych elementów w czasie wzajemnego tarcia wydziela się ciepło. W drugiej fazie, zwaną fazą spęczania rozgrzane powierzchnie czołowe obu elementów łączą się i wzajemnie chłodzą, tworząc trwałe złącze [Brochure-Manufacturing Technology, INC(MTI), 1999].

Efekt zastosowanej tutaj technologii zależy od prawidłowego doboru parametrów technicznych do zgrzewania. Do parametrów tych należą: prędkość obrotowa, siła tarcia, czas tarcia, siła spęczania i czas spęczania. Prędkość obrotowa decyduje o szybkości nagrzania w obszarze styku, siła tarcia wpływa na szybkości nagrzewania w strefie wpływu ciepła, od czasu tarcia zależy prawidłowe nagrzanie w obszarze strefy łączenia oraz wytrzymałość połączenia, siła i czas spęczania decyduje o jakości połączenia metalicznego nagranych do stanu plastycznego powierzchni stykowych elementów zgrzewanych.

Wielu naukowców badało wpływ parametrów zgrzewania na jakość połączeń zgrzewanych tarciovo [Dette i in. 1990]. Przede wszystkim autorzy dokonywali optymalizacji parametrów zgrzewania posługując się konwencjonalnymi technikami [Kaczorowski i in. 1999], chociaż literatura na temat doboru i optymalizacji jest wyjątkowo skromna. Parametry zgrzewania dobiera się także w zależności od rodzaju i gatunku zgrzewanych materiałów, rodzaju i wielkości przekrojów elementów w miejscu tarcia, wymagań technicznych i wytrzymałościowych stawianych złączu, charakterystyki technicznej zgrzewarki

oraz rodzaju produkcji. Parametry zgrzewania tarcioowego najczęściej dobiera się eksperymentalnie metodą prób i błędów. [Shinoda i in. 1999].

Zastosowanie niekonwencjonalnych algorytmów genetycznych do optymalizacji parametrów zgrzewania jest stosunkowo nową ideą. Autorzy publikacji [Murti., K.G.K. i in. 1983; Markelj F i in. 2001] zastosowali algorytmy genetyczne do optymalizacji parametrów spawania metodą GMAW (z ang. Gas Metal Arc Welding) w celu uzyskania optymalnej geometrii połączeń spawanych.

W niniejszej pracy zgrzewano tarcioowo stal austenityczną 1H18N9T. Optymalizowanymi parametrami były parametry procesu zgrzewania: siła tarcia, czas tarcia, siła spęczenia oraz czas spęczenia.

Celem pracy było przez znalezienie optymalnych parametrów zgrzewania, w wyniku których uzyskano by maksymalną wytrzymałość połączenia.

Funkcją celu niezbędną do zastosowania algorytmów genetycznych była funkcja regresji uzyskana w wyniku przeprowadzonych wcześniejszych prób zgrzewania.

Celem pracy było również określenie mechanicznych właściwości połączeń zgrzanych tarcioowo. Do tego celu wykorzystano algorytmy genetyczne jako statystyczną metodę poszukiwań optymalnych parametrów zgrzewania w celu uzyskania pożądaných właściwości mechanicznych połączenia.

Metodyka badań

Materiałem do badań była stal austenityczna 1H18N9T o następującym składzie chemicznym przedstawionym w tabeli 1.

Próbki stalowe wycięto z walcowanego pręta a następnie po wstępnym przygotowaniu ich kształtu zgrzano tarcioowo.

Tabela 1. Skład chemiczny stali austenitycznej wg normy PN-71/H-86020
Table 1. Composition of the stainless steel due to PN-71/H-86020

znak	C, [%]	Mn, [%]	Si, [%]	P, [%]	Cr, [%]	Ni, [%]	inne
1H18N9T	max	max	max	max	max	Max	Ti
	0,10	2,0	0,8	0,045	17-19	8-10	5xC-0,7

Sformułowanie funkcji celu

Funkcja celu jest funkcja Fischera stosowana z powodzeniem do optymalizacji rozwiązania różnych problemów, w tym również problemów inżynierskich

Funkcja celu jest to funkcja Fischera, a więc liniowa funkcja regresji mająca postać:

$$P_{max} = 0.4784 \cdot Pt - 12.0687 \cdot Tt - 0.5965 \cdot Psp - 1.2230 \cdot Tsp + 658.2035,$$

Praktycznymi parametrami zgrzewania będącymi zarazem przestrzenią punktów poszukiwań zastosowanymi w eksperymencie są:

Zakres siły tarcia $P_t=15-25$ kN

$$P_d < P_t < P_g$$

gdzie P_d jest odpowiednio dolną a P_g górną granicą wartości siły tarcia.

Zakres czasu tarcia $T_t=3-13$ s

$$T_d < T_t < T_g$$

gdzie T_d i T_g odpowiednio dolna i górna granica czasu tarcia.

Zakres siły spęczania $P_s=35-45$ kN

$$P_{sd} < P_s < P_{sg}$$

gdzie P_{sd} i P_{sg} odpowiednio dolna i górna granica siły spęczania.

Zastosowanie operatorów genetycznych

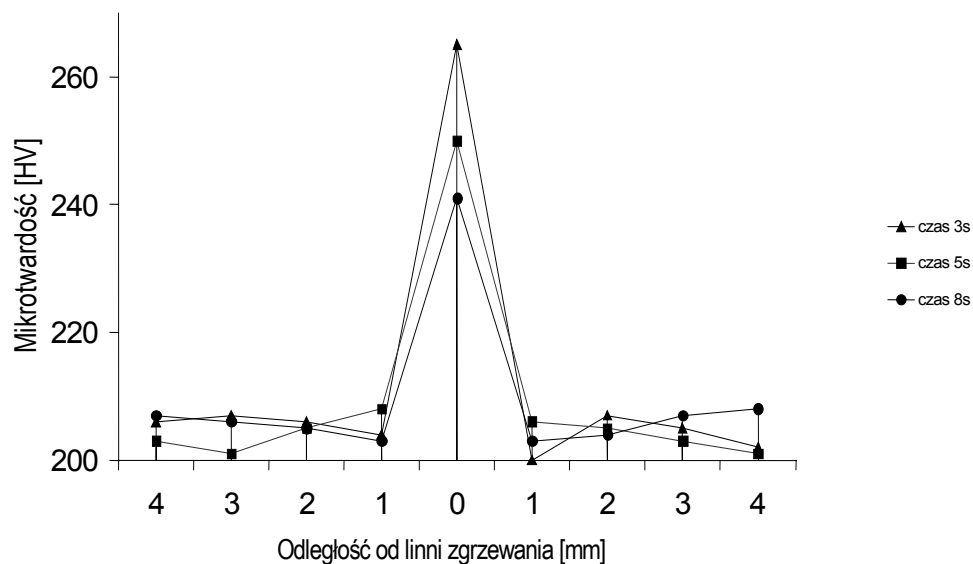
Poszukiwania optymalnego rozwiązania były prowadzone za pomocą klasycznego (regularnego) algorytmu klasycznej metodą turniejową.

W programie do optymalizacji zastosowano następujące operatory genetyczne:

- rozmiar populacji $N_{\text{popsize}}=31$,
- liczba generacji $N_{\text{gen}}=30$,
- prawdopodobieństwo krzyżowania $p_k=0.77$ (krzyżowanie dwupunktowe),
- prawdopodobieństwo mutacji $p_m=0.0077$.

Wyniki badań

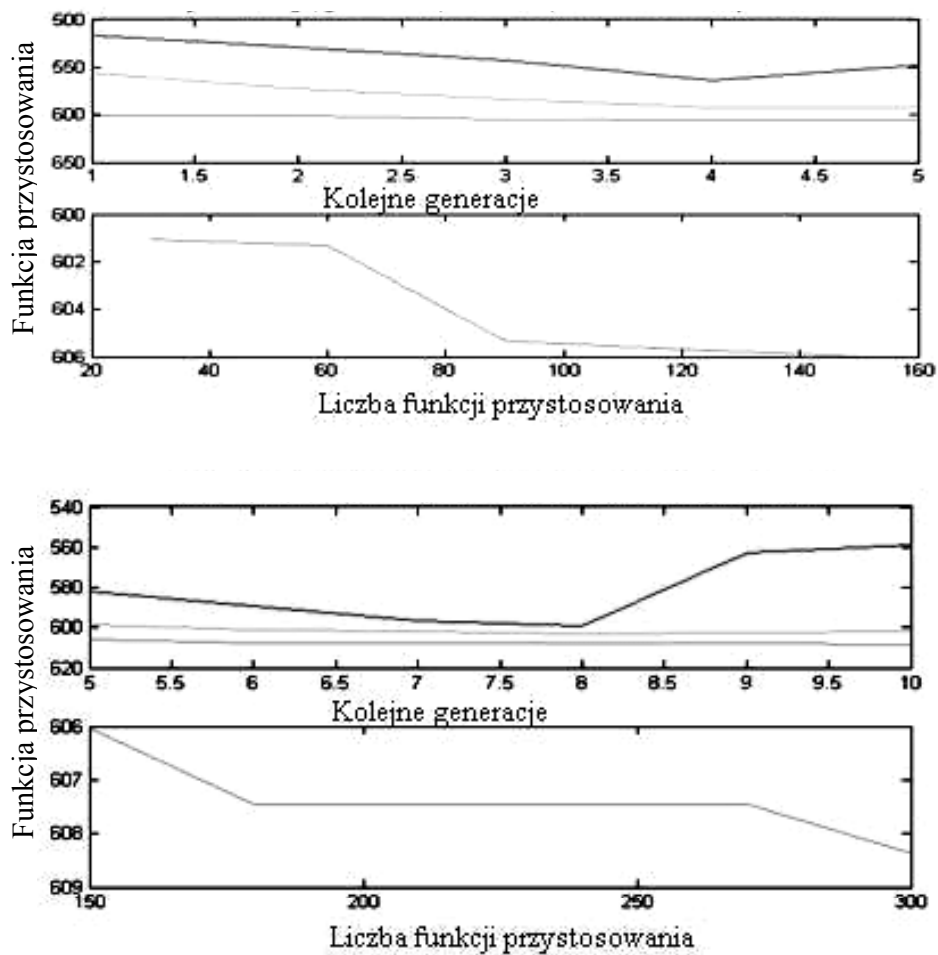
Na rysunku 1 przedstawiono przebieg zmian mikrotwardości zmierzonej na granicy połączenia stali austenitycznej. Z przebiegu wykresów jednoznacznie wynika, że dla różnych czasów zgrzewania ten przebieg jest różnorodny. Dla krótkich czasów zgrzewania trwających zaledwie 3 sekundy mikrotwardość złącza w strefie bezpośredniego zgrzewania wyniosła 258 HV natomiast w czasie zgrzewania 8 sekund wartość ta spadła do 240 HV. Wzrost twardości w strefie wpływu ciepła i bezpośrednim obszarze zgrzewania jest spowodowany wystąpieniem twardych struktur hartowniczych opisanych w publikacji [Winiarczyk 2003]. W wyniku tych badań stwierdzono, że twardość połączenia rośnie wraz ze zwiększeniem czasu tarcia zgrzewania dla wszystkich próbek.



Rys. 1. Pomiar mikrotwardości na granicy połączenia

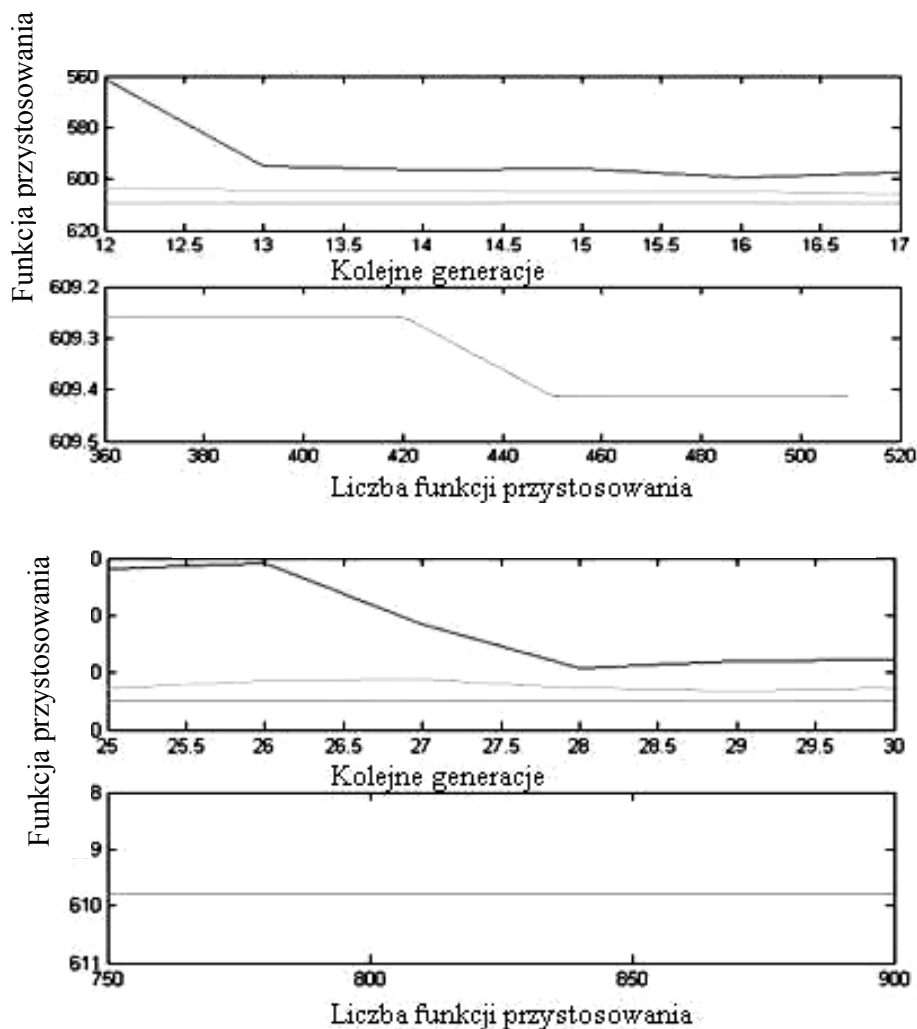
Fig. 1. Microhardness distributions on the friction welded interface

Na rysunkach 2 i 3 przedstawiono przebieg zmian wartości funkcji przystosowania w poszczególnych generacjach. Program już w trzeciej generacji znalazł najlepsze rozwiązanie dla postawionego problemu. Wartość funkcji przystosowania dla trzeciego pokolenia wyniosła $P_{max}=609$ MPa. Dalsze iteracje w kolejnych pokoleniach nie wygenerowały lepszego rozwiązania.



Rys. 2. Przebieg zmian funkcji przystosowania od 1 do 10 generacji wykonanej w programie FlexCI

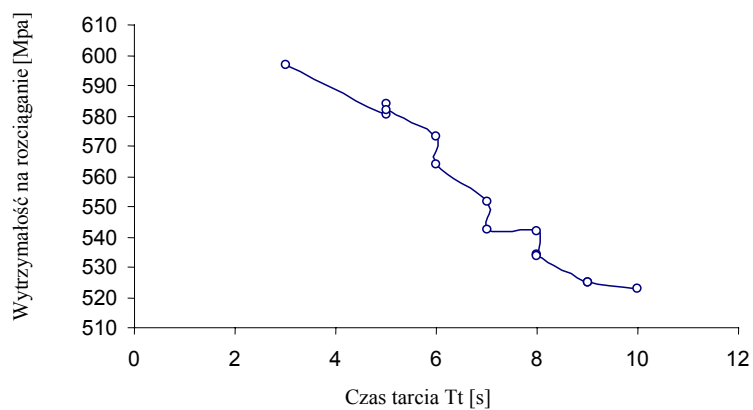
Fig. 2. The course of changes in the adaptation function from the first generation to the tenth generation, made using the FlexCI program



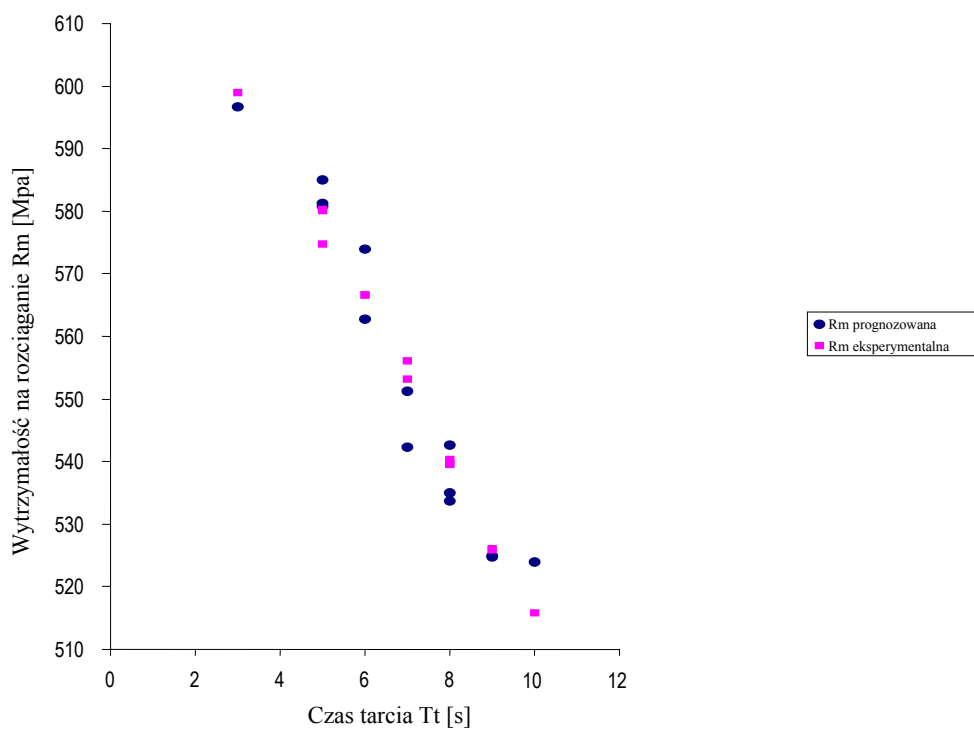
Rys. 3. Przebieg zmian funkcji przystosowania od 12 do 30 generacji wykonanej w programie FlexCI

Fig. 3. The course of changes in the adaptation function from the twelfth generation to the thirtieth generation, made using the FlexCI program

Na rysunkach 4 i 5 przedstawiono wykresy zmian wytrzymałości eksperymentalnej i prognozowanej w funkcji czasu tarcia. Z tych wykresów jednoznacznie wynika, że wraz ze wzrostem czasu tarcia zmniejsza się wytrzymałość połączenia.



Rys. 4. Wpływ czasu tarcia T_t na eksperymentalną wytrzymałość na rozciąganie
 Fig. 4. Influence of friction time T_t on experimental tensile strength



Rys. 5. Wpływ czasu tarcia na wytrzymałość połączenia.
 Fig. 5. Influence of friction time on experimental and predicted tensile strength

W tabeli 2 porównano wyniki badań wytrzymałościowych eksperymentalnych i prognozowanych na tle różnych czasów zgrzewania. Błąd wyrażony w procentach dla próbek zgrzewanych z najkrótszym czasem tarcia był najmniejszy i oscylował w granicach zera. Wytrzymałość prognozowana jest porównywalna do wytrzymałości wyznaczonej w sposób doświadczalny.

Tabela 2. Wyniki badań wytrzymałościowych próbek stalowych
Table 2. Results of tensile strength of friction welded steel joint

Nr	Czas zgrzewania	Wytrzymałość doświadczalna	Wytrzymałość prognozowana	Błąd
l.p	T_t , s	R_e , MPa	R_p , MPa	▲ %
1	3	596,8	598,9784	0,37
2	5	580,3	574,69	-0,97
3	5	584	580,2665	-0,64
4	5	581,7	580,1444	-0,27
5	6	573	566,7396	-1,09
6	6	563,7	566,6075	-0,55
7	7	551,3	553,1727	0,34
8	7	542,3	556,0606	2,54
9	8	541,7	540,3124	-0,26
10	8	534	539,5458	1,04
11	8	533,6	539,5337	1,11
12	9	525	526,1189	0,21
13	9	524,7	525,9768	0,24
14	10	523	515,776	-1,38

Źródło: obliczenia własne autora

Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań sformułowano następujące wnioski:

1. Algorytmy Genetyczne są skuteczną i szybką metodę w poszukiwaniu optymalnych parametrów zgrzewania. Największą wytrzymałość połączenia równą $R_m=609,78\text{MPa}$ uzyskano już w trzeciej generacji. Wartość tą osiągnięto dla następujących parametrów zgrzewania: $P_t=25\text{ kN}$, $T_t=3\text{ s}$, $P_s=34\text{ kN}$ oraz $T_{sp}=3\text{ s}$
2. Wytrzymałość połączenia zmniejsza się wraz ze zwiększeniem czasu tarcia procesu.
3. Mikrotwardość złącza zmierzona metodą Vickersa rośnie wraz ze zwiększeniem czasu tarcia procesu a najwyższą wartość osiąga w strefie bezpośredniego zgrzewania.
4. W dalszych badaniach autor przewiduje zastosowanie algorytmów genetycznych do optymalizacji materiałów trudnozgrzewalnych, do których zalicza się żeliwo sferoidalne.

Bibliografia

- Dette M., Hirsch J.** 1990. Reibschweissen von Konstruieren aus Kugelgraphitguss mit Stahlteilen. Schweissen und Schneiden, 42, Z. 11.
- Kaczorowski M., Winiczenko R.** 1999. Procesy towarzyszące zgrzewaniu tarciovemu żeliwa sferoidalnego ze stałą 1H18N9T, II Między. Konf., nt.: Nauka dla Przemysłu Odlewniczego, Kraków.
- Markelj F., Tusek J.** 2001. Algorithmic optimization of parameters in tungsten inert gas welding of stainless steel sheet”, Science&Technology of Welding&Joinning Vol.6.No.6.
- Murti., K.G.K. and Sundaresan S.** 1983. Parameter optimization in friction welding dissimilar materiale. Met. Const. s. 331-5.
- Shinoda T., Endo S., Kato Y.** 1999. Friction welding of cast iron and stainless steels. Welding International, Vol. 13, Nr 2. s. 89-95.
- Winiczenko R.** 2003. Łączenie żeliwa sferoidalnego za pomocą zgrzewania tarciovogo. Inżynieria Rolnicza. Nr 11(53). s. 237-243.
- “Friction welding”. 1999. Brochure-Manufacturing Technology. INC(MTI).

OPTIMIZATION OF FRICTION WELDING PARAMETERS USING GENETIC ALGORITHMS

Abstract. The research work concerned the application of genetic algorithms for optimization of friction welding parameters. To find the objective function the optimization program FlexCI with the FlexGA module was used. The results of the tensile strength tests carried out on steel samples were in accordance with the forecasted results. The greatest joint strength, $R_{max}=609$ MPa, was attained for the following welding parameters: friction force $P_t=25$ kN, friction time $T_t= 3$ s, upsetting force $P_s=34$ kN and upsetting time $T_s= 3$ s.

Key words: genetic algorithm, friction welding, joint strength

Adres do korespondencji:

Radosław Winiczenko, email: rwinicze@poczta.onet.pl
Katedra Podstaw Inżynierii
Szkoła Główna Gospodarstwa Wiejskiego
ul. Nowoursynowska 166
02-787 Warszawa