

Anna WÓJCICKA

Uniwersytet Pedagogiczny, Instytut Techniki; Uniwersytet Śląski, Instytut Informatyki

Roman SIMIŃSKI

Uniwersytet Śląski, Instytut Informatyki

Zygmunt WRÓBEL

Uniwersytet Śląski, Instytut Informatyki

ANALIZA METOD PREDYKCJI PARAMETRÓW ZGRZEWANIA ZŁĄCZ METODĄ FRICTION STIR WELDING

Streszczenie. W artykule przedstawiono koncepcję systemu typowania parametrów zgrzewania z ukierunkowaniem na uzyskanie pożądanych właściwości mechanicznych złączy wytwarzanych metodą Friction Stir Welding. Proces decyzyjny uzupełniono modułem analizy i przetwarzania obrazów mikroskopowych złączy. Ekstrakcja reguł eksperckich zostanie przeprowadzona z wykorzystaniem narzędzi opierających się na metodach wywodzących się z teorii zbiorów przybliżonych.

Słowa kluczowe: Friction Stir Welding, analiza obrazu, ekstrakcja wiedzy, wnioskowanie

ANALYSIS OF PREDICTION METHODS FOR FRICTION STIR WELDING PARAMETERS

Summary. This article presents concepts of system for selection welding parameters of FSW joints. The decision making process, supplemented by module of analysis and processing microscopic image of the joints. Data mining of expert rules carried out using tools based on methods derived from the theory of rough sets.

Keywords: Friction Stir Welding, image analysis, data mining, inference

1. Wstęp

Metoda zgrzewania tarcowego (ang. *Friction Stir Welding*, w skrócie FSW) [1] umożliwia łączenie materiałów o znacząco różnych właściwościach fizycznych i mechanicznych, co

stwarza wiele nowych możliwości technologicznych i konstrukcyjnych. Odpowiedni dobór warunków zgrzewania pozwala na świadome kontrolowanie właściwości mechanicznych zgrzeiny. Niestety, mimo iż w wielu ośrodkach prowadzone są intensywnie badania, ciągle brak jest usystematyzowania zależności pomiędzy parametrami zgrzewania a otrzymywanymi właściwościami mechanicznymi i mikrostrukturą złącza.

Celem badawczym niniejszej pracy jest przedstawienie koncepcji oraz planu projektu badawczego, który ma zaowocować realizacją systemu wspomagającego dobór parametrów wytwarzania złącz FSW o pożądanych parametrach wytrzymałościowych. Praca dokumentuje wczesny etap projektu, nie zawiera zatem jeszcze konkretnych i zweryfikowanych danych badawczych i wyników; skupia się raczej na organizacji podjętego projektu badawczego i przedstawieniu wstępnych badań stanowiących studium wykonalności projektu.

Pierwszym etapem badań jest usystematyzowanie wiedzy na temat parametrów procesu zgrzewania oraz cech wytworzonych złącz FSW. Pozwalają one na wyodrębnienie informacji o charakterze danych opisujących sam proces zgrzewania oraz cechy złącz. Informacje te stanowią podstawę do drugiego etapu analizy, ukierunkowanego na dobór metod pozwalających na odkrywanie i kodyfikację wiedzy o zależnościach pomiędzy parametrami zgrzewania a właściwościami złącza. Strategicznym celem praktycznym jest zaprojektowanie oraz implementacja systemu informatycznego, który będzie pozwalać na zautomatyzowanie doboru parametrów zgrzewania w celu uzyskania złącz o zadanych właściwościach.

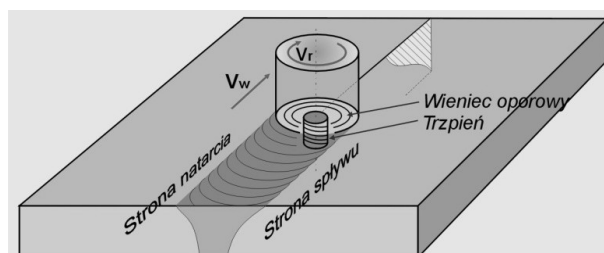
W pierwszej części pracy skupiono się na analizie danych opisujących parametry FSW oraz cechach i właściwościach wytwarzanych złącz. Następnie opisano koncepcję organizacji badań dotyczących doboru parametrów zgrzewania, gdzie przedstawiono metody analizy otrzymanych danych, przewidywane narzędzia oraz organizacje procesu realizacji badań. W części tej rozważono dwa podejścia do analizy otrzymanych wyników oraz do możliwości wdrożenia tworzonego systemu informatycznego. Artykuł został zakończony podsumowaniem w postaci teorii i wniosków wynikających z przedstawionej analizy problemu typowania parametrów wytwarzania złącz za pomocą systemu decyzyjnego.

2. Analiza danych opisujących parametry FSW oraz właściwości wytworzonych złącz

Rozdział ten prezentuje opis procesu wytwarzania złącz metodą FSW, ukierunkowany na usystematyzowanie informacji na temat danych charakteryzujących ten proces oraz opisujących cechy wytworzonych złącz. Z uwagi na charakter niniejszej pracy w rozdziale tym przedstawiono tematykę FSW skrótowo, skupiając się na informacjach użytecznych dla dalszego przetwarzania metodami informatycznymi.

2.1. Parametry procesu wytwarzania złączy FSW

Główne znaczenie w procesie FSW ma narzędzie, które składa się z dwóch części: wieńca oporowego i trzpień. Narzędzie wykonuje ruch obrotowy i jest wprowadzane do zgrzewanego materiału do momentu osiągnięcia syku pomiędzy wieńcem oporowym a powierzchnią materiału; trzpień wnika w materiał. Narzędzie przemieszczające się wzdłuż linii zgrzewania powoduje, że przez trzpień odbywa się mieszanie uplastycznionego materiału części zgrzewanych blach i tworzy się spoina. Schemat konwencjonalnego zgrzewania FSW pokazano na rysunku 1.



Rys. 1. Schemat procesu zgrzewania tarcowego (FSW)
Fig. 1. Schema of the FSW process

Dobór parametrów zgrzewania pozwala uzyskać złącza o określonej wytrzymałości. Do podstawowych parametrów zgrzewania FSW należy zaliczyć: prędkość obrotową narzędzia oraz prędkość liniową. Wielkości te są uzyskiwane dzięki odpowiedniej sile docisku oraz sile działającej w kierunku zgrzewania, które determinują moc maszyny FSW. Maszyna o większych mocach pozwala uzyskać większe prędkości liniowe, a co za tym idzie – przyspieszyć proces, co ze względów ekonomicznych ma istotne znaczenie dla przedsiębiorstwa. Jednak zwiększenie prędkości liniowej w wyniku zadania większej siły w kierunku zgrzewania bez zwiększenia siły obrotowej może wiązać się z powstaniem wad zgrzewanych, jak również ze zmianami w wytrzymałości złącza.

Oprócz parametrów zgrzewania istotne znaczenie w procesie FSW mają wymiary narzędzia oraz jego kształt. Początkowo w badaniach wykorzystano jeden rodzaj narzędzia, w którym można wyróżnić wieńec z naciętym rowkiem o średnicy D i trzpień o kształcie walca z naciętym rowkiem o średnicy d i długości h . Za pomocą tego narzędzia w Instytucie Spawalnictwa w Gliwicach wykonano złącza z udziałem materiałów, tj.: stopy aluminium serii 2000 i 6000, przy zmiennych parametrach wytwarzania.

W wyniku prowadzonych doświadczeń otrzymano serie parametrów zgrzewania niezbędnych do otrzymania złączy o określonej wytrzymałości. Przykładowe dane przedstawiono w tabeli 1.

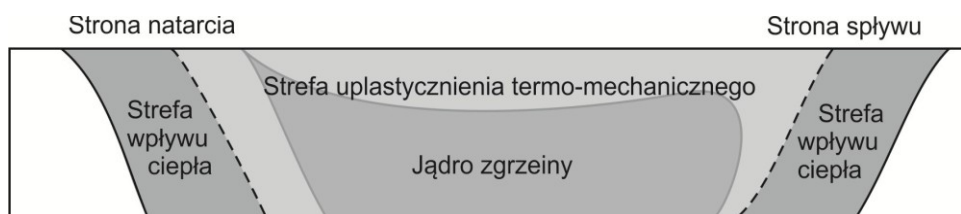
Tabela 1

Przykładowe dane opisujące parametry zgrzewania i zakładaną wytrzymałość

Nr	Prędkość obrotowa [obr/min]	Prędkość zgrzewania [mm/min]	Moment tarcia M_t [Nm]	Siła docisku F_z [kN]	Siła w kierunku zgrzewania F_x [kN]	R_m [MPa]	Uwagi
1	mała	mała	$M_t 7$	$F_z 2$	$F_x 1$	233	
2		średnia	$M_t 8$	$F_z 3$	$F_x 2$	270	
3		duża	$M_t 9$	$F_z 4$	$F_x 3$	248	Wada
4	średnia	mała	$M_t 2$	$F_z 1$	$F_x 1$	230	
5		średnia	$M_t 5$	$F_z 3$	$F_x 3$	247	
6		duża	$M_t 6$	$F_z 4$	$F_x 4$	260	
7	duża	mała	$M_t 1$	$F_z 1$	$F_x 1$	232	
8		średnia	$M_t 3$	$F_z 5$	$F_x 5$	242	
9		bardzo duża	$M_t 4$	$F_z 6$	$F_x 4$	246	

2.2. Mikroskopowe obrazy makrostruktury złącza

Ze względu na parametry ruchu i wykonywaną pracę narzędzia FSW budowa zgrzein składa się z następujących obszarów (rys. 2): strefy wpływu ciepła i strefy uplastycznienia termomechanicznego, w której w środkowej części znajduje się tzw. jądro zgrzeiny. Jądro to jest zwykle ograniczone ostrą granicą strony natarcia i łagodną zmianą mikrostruktury po stronie spływu. Mikrostruktura obszarów jest wrażliwa na zmiany parametrów wytwarzania złącz, co pozwala na podstawie analizy obrazu mikroskopowego określić parametry wytwarzania złącza.



Rys. 2. Typowa struktura złącza FSW wykonanego konwencjonalną metodą FSW
 Fig. 2. Typical structure of FSW joints made by conventional FSW

Dla każdego otrzymanego złącza (z zakresu stosowalności metody) wykonano badanie mikroskopowe, na podstawie którego otrzymano monochromatyczne makrostruktury. Zdjęcia wykonano w niezmiennych warunkach dla każdego przypadku. Uzyskane obrazy cyfrowe można zaliczyć do obrazów teksturowych stochastycznych, co będzie miało istotny wpływ na zastosowanie odpowiedniej metody analizy obrazu. Przykład otrzymanej makrostruktury z zaznaczonymi obszarami pokazano na rysunku 3.

Ze względu na rodzaj otrzymanych wyników – numerycznych dyskretnych oraz teksturowych obrazów cyfrowych wykazujących charakterystyczne elementy – można wyznaczyć dwa podejścia do rozwiązania problemu automatycznego przewidywania parametrów wytwarzania. Pierwszy umożliwi dobór parametrów na podstawie wytrzymałości i parametrów ma-

szyny, drugi za pomocą analizy obrazu makrostruktury pozwoli wyznaczyć charakterystyczne obszary złącza i na podstawie ich wielkości określić parametry wytwarzania złącz.



Rys. 3. Makrostruktura złącza FSW z zaznaczonymi obszarami charakterystycznymi
Fig. 3. Macrostructure FSW joints with marked characteristic areas

3. Koncepcja organizacji badań dotyczących doboru parametrów zgrzewania złącz FSW

Rozdział ten prezentuje kolejne etapy podjętego programu badawczego, precyzuje przyjęte metody analizy danych opisanych w poprzednim rozdziale, przewidywane narzędzia oraz organizację procesu realizacji badań.

3.1. Stan aktualny

Podstawowym problemem jest dobór parametrów realizacji procesu zgrzewania w taki sposób, aby wytworzone złącze spełniało parametry wytrzymałościowe wymagane dla elementu stosowanego następnie w dalszych procesach technologicznych. Obecnie dobór tych parametrów odbywa się przez zastosowanie tabel parametrów (tabela 1) wyznaczanych na zasadach doświadczalnych. Takie dane będą w dalszej części tego opracowania nazywane danymi typu pierwszego. W warunkach laboratoryjnych weryfikacja jakości złącza może się odbywać przez wykonanie badania mikroskopowego, na podstawie którego otrzymuje się monochromatyczne makrostruktury, reprezentowane w postaci obrazu cyfrowego (rysunek 3). Dane pozyskane z tych obrazów będą w dalszej części tego opracowania nazywane danymi typu drugiego. W warunkach produkcyjnych dobór parametrów powinien odbywać się w taki sposób, aby bez badania mikroskopowego wytrzymałość złącza spełniała wymagania jakościowe realizowanego procesu produkcyjnego.

Ustalanie parametrów zgrzewania ma dalej charakter doświadczalny i istnieje ryzyko, iż w trakcie realizacji procesów produkcyjnych w warunkach rzeczywistych ustalone kryteria doboru nie będą zapewniały uzyskania złącz o powtarzalnych parametrach jakościowych. Przeprowadzony przegląd tematyki związanej w wytwarzaniem złącz FSW wskazuje, że obecnie nie stosuje się wsparcia metodami informatycznymi, ale w ramach podjętych prac

proponuje się wsparcie badań doświadczalnych przez opracowanie informatycznego systemu predykcji i weryfikacji parametrów zgrzewania.

3.2. Organizacja prac badawczych

Realizacja proponowanego systemu produkcyjnego zostanie podzielona na trzy etapy:

- etap analizy danych – będzie on obejmować analizę danych ukierunkowaną na zbudowanie regułowej bazy wiedzy pozwalającej na predykcje parametrów złącz; ideowy schemat elementów składowych tego etapu prezentuje rysunek 4;
- etap implementacji – będzie on obejmować implementację autorskiej wersji systemu;
- etap weryfikacji praktycznej i wdrożenia – będzie on obejmować testy systemu w warunkach rzeczywistych i docelowe, pilotażowe wdrożenie systemu.

Baza wiedzy systemu będzie bazą regułową. Reguły zostaną opracowane z wykorzystaniem metod automatycznego generowania reguł z danych. Z uwagi na doświadczenia związane z wykorzystaniem algorytmów eksploracyjnych opierających się na teorii zbiorów przybliżonych [2, 3] pierwsze przeprowadzone badania będą realizowane z wykorzystaniem systemu RSES [4]. Analizie eksploracyjnej zostaną poddane dane opisane w poprzednim podrozdziale. Pierwszy rodzaj danych opisuje parametry zgrzewania oraz pożądane wytrzymałości – takie dane będą uzyskiwane dla poszczególnych materiałów. Przykładowy fragment tego typu danych przedstawia tabela 1.

3.3. Analiza danych typu pierwszego

Zgromadzone dane zostały wykorzystane do realizacji wstępnego etapu badań. Analizie poddano tabelę decyzyjną zawierającą występujące parametry zgrzewania (tabela 1) uzupełnione o rodzaj materiału. Atrybutem decyzyjnym była wytrzymałość opisana parametrem R_m . Tabela liczyła łącznie 15 atrybutów o wartościach numerycznych i symbolicznych oraz 51 obiektów opisujących zrealizowane złącza.

Na wstępnym etapie badań wykorzystano dwa algorytmy: wyczerpujący i genetyczny. Dla atrybutów numerycznych zastosowano dostępne w systemie RSES algorytmy automatycznej dyskretyzacji. Otrzymane zbiory reguł liczyły od 162 do 309. Z uwagi na ograniczone ramy niniejszego opracowania oraz wstępny charakter badań autorzy zrezygnowali z prezentacji szczegółowych danych opisujących badania, decydując się na przedstawienie najważniejszych wniosków. Uzyskane reguły poddano walidacji krzyżowej, otrzymane rezultaty – mierzone dokładnością i pokryciem – okazały się niezadowalające. Również subiektywna opinia ekspertów z dziedziny wytwarzania złącz FSW odnośnie do otrzymanych reguł była wyraźnie negatywna. Analiza wykazała dużą zależność wyników od dyskretyzacji atrybutów numerycznych, a dokładniejsza analiza pozwoliła zaobserwować, iż proponowane przez sys-

tem przedziały (dyskretyzacje lokalna i globalna) znacznie odbiegały od oczekiwań wynikających z posiadanej wiedzy dziedzinowej. Przeprowadzono wstępną dyskretyzację wytypowanej grupy atrybutów opierającą się na wiedzy dziedzinowej, co wyraźnie poprawiło jakość otrzymanych reguł; również opinia ekspertów na temat otrzymanych reguł była wyraźnie lepsza.

W następnym etapie badań przewiduje się wykonanie eksperymentów dotyczących dyskretyzacji atrybutów, planuje się analizę skuteczności nadzorowanych metod dyskretyzacji. Jako punkt odniesienia zamierza się wykorzystanie podziałów uzgodnionych z ekspertami. Dodatkowo przewiduje się analizę zbioru atrybutów warunkowych – zbadanie zależności atrybutów i ich niezbędności. Zostaną wykorzystane znane z teorii zbiorów przybliżonych metody wyznaczania rdzenia i reduktów zbioru atrybutów warunkowych. Wyniki zostaną skonfrontowane z opiniami ekspertów dziedzinowych; nie wyklucza się reorganizacji źródłowej tabeli przez wprowadzenie atrybutów grupowych. Po ustaleniu skutecznych metod dyskretyzacji oraz analizie zbioru atrybutów warunkowych planuje się powtórzenie procesu generowania reguł z wykorzystaniem pozostałych algorytmów dostępnych w systemie RSES, a następnie powtórzenie badań w systemach RapidMiner oraz Weka.

Ten etap badań powinien się zakończyć zbudowaniem regułowej bazy wiedzy. Podstawą do jej realizacji będą reguły wygenerowane automatycznie, jednak będą one weryfikowane i potencjalnie modyfikowane przez ekspertów z dziedziny wytwarzania złącz FSW. Reguły te zostaną następnie wykorzystane w proponowanym systemie z bazą wiedzy – system będzie proponował parametry wytwarzania złącz FSW o zadanej wytrzymałości po określeniu wstępnych parametrów procesu.

3.4. Analiza obrazów mikroskopowych

Równolegle będą realizowane badania opierające się na cyfrowych obrazach makrostruktury. Pierwszy etap będzie poświęcony opracowaniu metody ekstrakcji cech złącza, pozwalających na określenie parametrów jego wytwarzania. W ramach pozyskanych obrazów mikroskopowych zostały wykonane wstępne badania, mające na celu oszacowanie możliwości ekstrakcji wybranych parametrów wykorzystanych przy produkcji danego złącza.

Do analizy obrazu wykorzystano istniejące oprogramowanie (Matlab, ImageJ), w którym obrazy zostały poddane następującym operacjom: Variance Filter, binaryzacji, erozji i dylatacji oraz wyszukiwania krawędzi [5]. Pozwoliło to na wyodrębnienie z obrazu granicy natarcia, którą następnie opisano w postaci krzywej. Na podstawie interpolacji wielomianowej Lagrange'a otrzymano krzywą stanowiącą granicę spływu symetryczną do granicy natarcia. Istotne znaczenie dla wyznaczenia parametrów zgrzewania z obrazów będą miały takie wartości, jak nachylenie krzywych granicy natarcia oraz spływu, kąt, jak również zmiana pola powierzchni zawartej pomiędzy krzywymi.

Zgromadzenie alternatywnego zestawu danych opisujących parametry wytwarzania złącz zostanie poddane eksploracji danych, procesowi realizowanemu analogicznie do przypadku danych opisywanych wcześniej. Zaowocuje to opracowaniem alternatywnego zestawu reguł, na podstawie których zostanie utworzona druga baza wiedzy.

3.5. Zestawienie i analiza otrzymanych baz reguł

Zakłada się, że ostatecznie zostaną uzyskane dwa zestawy reguł. Pierwszy będzie się opierał na eksploracji danych, drugi na informacjach wyekstrahowanych z obrazów mikroskopowych. Obie bazy zostaną poddane analizie. Rezultaty analizy będą istotne raczej w aspekcie wytwarzania samych złącz FSW, choć w sensie informatycznym interesujące wydaje się porównanie rezultatów opisujących tę samą wiedzę uzyskanych skrajnie różnymi metodami. Jednak na aktualnym etapie badań trudno przewidzieć, jakie zostaną uzyskane rezultaty, dlatego dalsza realizacja docelowego systemu produkcyjnego będzie mogła się odbywać z wykorzystaniem jednej bazy – o ile oba zestawy reguł będą zgodne i będzie można je połączyć – lub z wykorzystaniem dwóch alternatywnych baz. Niezależnie od ostatecznej postaci przyjętego rozwiązania przewiduje się realizację autorskiego oprogramowania.

4. Podsumowanie i wnioski końcowe

Mimo intensywnego rozwoju metod zgrzewania tarcowego ciągle brak jest usystematyzowania zależności pomiędzy parametrami zgrzewania a otrzymywanymi właściwościami mechanicznymi i mikrostrukturą złącza. Celem badawczym niniejszej pracy było przedstawienie koncepcji oraz planu realizacji projektu badawczego, który ma zaowocować realizacją systemu wspomagającego dobór parametrów złącz FSW o pożądanym parametrach wytrzymałościowych. Projekt ten ma dwa cele – w sensie badawczym ma wnieść istotny wkład dziedzinowy w usystematyzowanie zależności pomiędzy parametrami zgrzewania a otrzymywanymi właściwościami mechanicznymi i makrostrukturą złączy FSW, a w sensie informatycznym opisywany projekt będzie stanowił – zdaniem autorów – interesujący przypadek wieloetapowej analizy danych, prowadzonej równolegle dla danych dwóch rodzajów – opisanych w rozdziale 2.

Przedstawiony projekt jest na wstępnym etapie realizacji. Zrealizowane badania mają charakter wstępny i stanowią etap przygotowawczy dla dalszych, systematycznych prac. Badania uzyskanych danych zostały przeprowadzone z wykorzystaniem systemu RSES, analizie poddano tabelę decyzyjną liczącą łącznie 15 atrybutów o wartościach numerycznych i symbolicznych oraz 51 obiektów. Otrzymane zbiory reguł liczyły od 162 do 309, w zależności od przyjętej metody dyskretyzacji oraz generowania reguł. Uzyskane reguły poddano walidacji,

otrzymane rezultaty okazały się niezadowolające, również w subiektywnej opinii ekspertów. Analiza wykazała dużą zależność wyników od dyskretyzacji atrybutów numerycznych, a dokładniejsza analiza pozwoliła zaobserwować, iż proponowane przez system przedziały znacznie odbiegały od oczekiwań wynikających z posiadanej wiedzy dziedzinowej. Przeprowadzono wstępną dyskretyzację wytypowanej grupy atrybutów opierającą się na wiedzy dziedzinowej, co wyraźnie poprawiło jakość otrzymanych reguł, również w opinii ekspertów. Dyskretyzacja atrybutów numerycznych jest zatem istotnym elementem realizowanych badań.

W następnym etapie badań przewiduje się wykonanie eksperymentów dotyczących dyskretyzacji atrybutów, dodatkowo przewiduje się analizę zbioru atrybutów warunkowych – zbadanie zależności atrybutów i ich niezbędności. Wyniki zostaną skonfrontowane z opiniami ekspertów dziedzinowych; nie wyklucza się reorganizacji źródłowej tabeli przez wprowadzenie atrybutów grupowych. Po ustaleniu skutecznych metod dyskretyzacji oraz analizie zbioru atrybutów warunkowych planuje się powtórzenie procesu generowania reguł z wykorzystaniem pozostałych algorytmów dostępnych w systemie RSES, a następnie powtórzenie badań w systemach RapidMiner oraz Weka.

Anna Wójcicka jest stypendystą projektu „Śląska Współpraca: Innowacje Dla Efektywnego Rozwoju – Świder”, realizowanego w ramach Programu Operacyjnego Kapitał Ludzki, Priorytet VIII – Regionalne kadry gospodarki, Działanie 8.2 Transfer wiedzy, Poddziałanie 8.2.1 Wsparcie dla sfery nauki i przedsiębiorstw. Projekt jest współfinansowany z Unii Europejskiej w ramach Europejskiego Funduszu Społecznego.

BIBLIOGRAFIA

1. Thomas W. M., Nicholas E. D., Needham J. C., Murch M. G., Templesmith P., Dawes C. J.: Friction Stir Butt Welding. The Welding Institute(TWI): PCT World Patent Application WO 93/10935, 1992. Tom Field: Nov. 27.
2. Skowron A., Komorowski J., Pawlak Z., Polkowski L.: Rough sets: A tutorial. [w:] Pal S. K., Skowron A. (red.): Rough fuzzy hybridization: A new trend in decision-making. Springer-Verlag, Singapore 1999, s. 3÷98.
3. Skowron A., Pawlak Z.: A rough set perspective on data and knowledge. [w:] Kloesgen W., Zytkow J. (red.): Handbook of KDD. Oxford University Press, 2002.
4. Strona domowa systemu RSES: logic.mimuw.edu.pl/~rses/.
5. Wróbel Z., Koprowski R.: Praktyka przetwarzania obrazów z zadaniami w programie Matlab. EXIT, Warszawa 2013.

Wpłynęło do Redakcji 30 stycznia 2014 r.

Abstract

The Friction Stir Welding technology is a relatively new method of combining materials with different mechanical and physico-chemical properties. The basic problem is the choice of the welding parameters of the process in such a way as to satisfy the parameters of the joints formed in the strength required for the element then used in further processing. The article describes the state of knowledge in the field of technological and structural aspects of the FSW welds and mechanical properties in order to analyze the possibility of using the methods of information in the problem of parameter selection FSW. The first step in research is to systematize the knowledge of welding process parameters and characteristics of FSW joints. The analysis obtained discrete numerical data describing the parameters of production and a monochrome digital images. This information is the basis for the second stage of analysis which focused on the selection of data processing methods that allow for the discovery and codification of knowledge about the relationships between the welding parameters and the properties of the joints. The practical goal is to design and implement an IT system that will allow you to automate the selection of welding parameters in order to obtain connectors on selected properties.

Adresy

Anna WÓJCICKA: Uniwersytet Pedagogiczny, Instytut Techniki, ul. Podchorążych 2, 30-084 Kraków, Polska, awojcicka@up.krakow.pl;

Uniwersytet Śląski, Instytut Informatyki, ul. Będzińska 39, 41-200 Sosnowiec, Polska.

Roman SIMIŃSKI: Uniwersytet Śląski, Instytut Informatyki, ul. Będzińska 39, 41-200 Sosnowiec, Polska, roman.siminski@us.edu.pl.

Zygmunt WRÓBEL: Uniwersytet Śląski, Instytut Informatyki, ul. Będzińska 39, 41-200 Sosnowiec, Polska, zygmunt.wrobel@us.edu.pl.