

POLITECHNIKA CZĘSTOCHOWSKA

Józef Iwaszko

**Aspekty mikrostrukturalne
modyfikacji tarciowej
z przemieszaniem materiału
warstwy wierzchniej**

Monografia



Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej

Częstochowa 2023

Recenzent

prof. dr hab. inż. Tomasz Chmielewski
prof. dr hab. inż. Jerzy Łabanowski

Redakcja

Anita Ganoun

Redakcja techniczna

Dorota Boratyńska

Projekt okładki

Dorota Boratyńska

ISBN 978-83-7193-954-9

e-ISBN 978-83-7193-955-6

DOI: 10.17512/CUT/9788371939556

© Copyright by Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, Częstochowa 2023

© Copyright by Józef Iwaszko Częstochowa 2023

Wydawnictwo Politechniki Częstochowskiej, 42-202 Częstochowa, al. Armii Krajowej 36 B
redakcja tel. 34 325 04 80, dystrybucja tel. 34 325 03 93
e-mail: wydawnictwo@pcz.pl, www.wydawnictwo.pcz.pl

Wstęp

Impulsem do opracowania niniejszej monografii było dynamicznie rosnące znaczenie metody FSP (ang. *Friction Stir Processing*) w inżynierii powierzchni oraz nowe możliwości kształtowania mikrostruktury i właściwości materiałów, jakie pojawiły się z chwilą opracowania tego innowacyjnego rozwiązania. Decyzja o wyborze problematyki badawczej uwzględniała także wartość poznawczą zagadnień związanych z modyfikacją tarciovą warstwy wierzchniej oraz potencjał aplikacyjny metody FSP.

Głównym wyróżnikiem metody FSP jest możliwość wywołania zmian w mikrostrukturze materiału w trakcie jednej operacji technologicznej i w oparciu wyłącznie o przemiany w stanie stałym. Silne rozdrobnienie ziarna i homogenizacja materiału to główne efekty mikrostrukturalne, jakie towarzyszą obróbce FSP. Możliwość wytwarzania kompozytowych warstw wierzchnich, a także eliminowania wad materiałowych, np. w kompozytach wytwarzanych konkurencyjnymi metodami, dopełniają charakterystykę obróbki FSP i dowodzą jej znaczenia aplikacyjnego. Warte podkreślenia są także szybkość realizacji i łatwość implementacji w warunkach przemysłowych w porównaniu do alternatywnych rozwiązań i metod modyfikacji warstw wierzchnich. Źródłem ciepła w obróbce FSP jest tarcie narzędzia o powierzchnię próbki oraz silne odkształcenie plastyczne materiału, co czyni z tej metody rozwiązanie ekologiczne. To wszystko sprawia, że metoda FSP uważana jest obecnie za jedną z najbardziej perspektywicznych i obiecujących obróbek powierzchniowych.

Problematyka niniejszej monografii dotyczy aspektów mikrostrukturalnych, ale w ścisłym powiązaniu z technologią wytwarzania. Opracowanie stanowi kompilację aktualnego stanu wiedzy na temat mikrostruktury materiałów modyfikowanych tarciovą oraz możliwości jej kształtowania, z uwzględnieniem wkładu autora monografii w rozwój powyższych wątków w światowej nauce. Wyniki badań własnych stanowią w tym przypadku doświadczalną dokumentację zagadnień omawianych w opracowaniu. O wyborze wątków badawczych decydowały zarówno walory poznawcze poruszanych zagadnień, ich aktualność, jak i znaczenie użyteczne.

W monografii zostały wykorzystane wyniki badań własnych, dotyczące mikrostruktury wybranych stopów magnezu i aluminium oraz miedzi poddanych modyfikacji tarciowej FSP z zastosowaniem zmiennych parametrów procesu i różnych warunków chłodzenia. Udokumentowaniu oraz szczegółowej analizie poddane zostały także kompozytowe warstwy wierzchnie wytworzone przy użyciu metody FSP. Omówienie procesów i zjawisk zachodzących podczas wytwarzania kompozytów

oparto na wynikach badań kompozycji materiałowych różniących się zarówno rodzajem osnowy, jak i zastosowaną w tych kompozytach fazą wzmacniającą.

W monografii szczególny nacisk został położony na charakterystykę zjawisk generowanych w materiale podczas modyfikacji tarciowej ze wskazaniem czynników, które wpływają na przebieg procesów, stymulując je bądź utrudniając ich wystąpienie. Są to zagadnienia o kluczowym znaczeniu praktycznym, gdyż bez znajomości związków przyczynowo-skutkowych pomiędzy charakterem zjawisk i procesów generowanych w materiale a sposobem wykonania obróbki i parametrami tej obróbki nie jest możliwe świadome kształtowanie mikrostruktury i właściwości materiału. Wiedza z tego zakresu ma wartość nie tylko poznawczą, ale przede wszystkim użyteczną, gdyż umożliwia wyeliminowanie lub ograniczenie niepowodzeń realizacyjnych, i co jest szczególnie istotne, umożliwia prognozowanie efektów mikrostrukturalnych już na etapie doboru parametrów procesu czy wyboru narzędzia roboczego. Prawidłowości i spostrzeżenia prezentowane w monografii stanowią zarówno efekt badań własnych, jak i wynik studiów literaturowych. W przypadku badań własnych przyjęty zakres prac badawczych zapewniał uzyskanie efektu powtarzalności i statystycznej wiarygodności wyników.

Procesem o znaczeniu fundamentalnym zachodzącym podczas modyfikacji tarciowej FSP jest dynamiczna rekrytalizacja. Proces ten może przebiegać według różnych mechanizmów w zależności od czynników, które są z kolei determinowane parametrami procesu czy rodzajem modyfikowanego materiału. Dynamiczna rekrytalizacja jest konsekwencją skojarzonego oddziaływania ciepła oraz silnego odkształcenia plastycznego materiału. Te czynniki decydują o jej przebiegu, a w konsekwencji o powstającej mikrostrukturze, a zwłaszcza – kluczowym w kontekście oczekiwanych właściwości materiału – stopniu rozdrobnienia ziarna. Czynniki decydujące o przebiegu dynamicznej rekrytalizacji można modelować poprzez odpowiedni dobór zmiennych parametrów procesu, takich jak prędkość obrotowa narzędzia, posuw narzędzia czy wymiary i kształt trzpienia oraz wymiary wieńca opory narzędzia. Dynamiczna rekrytalizacja zależy także od temperatury odkształcenia, wielkości odkształcenia oraz obecności cząstek drugiej fazy i ich wielkości. Złożoność tego zagadnienia wynika z liczności czynników mających wpływ nie tylko na inicjację w materiale dynamicznej rekrytalizacji, ale także na jej rodzaj i kinetykę. Kwestie te stanowią przedmiot szczegółowej analizy w opracowaniu.

Ważnym wątkiem monografii jest ocena możliwości wytwarzania kompozytowych warstw wierzchnich za pomocą metody FSP. Ta relatywnie nowa technika wytwarzania kompozytów zyskuje dynamicznie na znaczeniu ze względu na szereg korzyści, jakie wiążą się z jej stosowaniem. Jednym z głównych atutów jest możliwość wytwarzania kompozytu z pominięciem fazy ciekłej, co ogranicza lub eliminuje np. niepożądane interakcje na granicy faz czy tak powszechny problem z brakiem zwilżalności powierzchni fazy wzmacniającej przez ciekłą osnowę, występujący np. w metodach odlewniczych.

Kolejny ważny wątek poruszony w monografii dotyczy aspektów technologicznych i obejmuje charakterystykę poszczególnych rozwiązań i wariantów metody FSP w kontekście skutków mikrostrukturalnych wynikających z zastosowania tych rozwiązań. Omówieniu zostały poddane także najnowsze metody, jakie w ostatnim

czasie zostały opracowane, w tym autorskie i współautorskie rozwiązania autora monografii, wskazane zostały najnowsze trendy i kierunki badawcze opisujące z jednej strony ewolucję, jaka dokonuje się w metodzie FSP, z drugiej natomiast dowodzące nowych możliwości w zakresie kształtowania właściwości i mikrostruktury warstwy wierzchniej.

Potencjał poznawczy i aplikacyjny tkwiący w obróbce FSP oraz szerokie możliwości kształtowania mikrostruktury materiałów inżynierskich i uzyskiwania przez materiał nowych cech i funkcjonalności stały u podstaw decyzji o napisaniu niniejszej monografii.

Autor