

**ROZWÓJ TEKSTURY ODKSZTAŁCENIA I
REKRYSZTALIZACJI W STOPIE CuZn30 UZYSKANYM W
OPERACJACH ODLEWANIA CIĄGŁEGO.
KRYTYCZNA ROLA PASM ŚCINANIA**

H. PAUL^{1,2}, K. JANAS², A. BYDALEK², D. BALCEREK²

¹Instytut Metalurgii i Inżynierii Materiałowej PAN, ul. Reymonta 25,
30-059 Kraków

²Wydział Mechaniczny Uniwersytetu Zielonogórskiego, ul. Podgórna 50,
65-246 Zielona Góra

STRESZCZENIE

W pracy analizowano rozwój tekstury jaki następuje w silnie odkształconych (do 69%) oraz częściowo i całkowicie zrekrystalizowanych blachach stopu CuZn30. Materiałem wsadowym dla procesu walcowania były wlewki uzyskane w operacjach poziomego odlewania ciągłego. Badania zmian teksturowych prowadzono w oparciu o techniki pomiaru orientacji w SEM. Wykazano silny związek orientacji identyfikowanych jako składowe wewnętrznej mikrotekstury pasm ścinania zarówno na rozwój tekstury stanu zdeformowanego jak i na selekcję orientacji początkowych zarodków w procesie rekryształizacji w tym na rozwój składowej sześcienniej.

Key words: brass, continuous casting, texture, shear bands, recrystallization

1. WPROWADZENIE

Rozwój technologii odlewania ciągłego miedzi i jej stopów powoduje silny wzrost zainteresowania niedostatecznie rozpoznaną specyfiką rozwoju tekstury odkształcenia i rekryształizacji materiałów uzyskiwanych tą metodą. Odlewanie szerokich wlewków płaskich ze stopu CuZn30 prowadzi do uformowania się specyficznej struktury dwu warstw krystalitów kolumnowych z osią główną usytuowaną w przybliżeniu prostopadle do płaszczyzny walcowania. Orientacje krystalitów wykazują silną preferencję do przyjmowania położeń wzdłuż pasa $\{100\}\langle uvw \rangle$, z maksimum zbliżonym do $\{100\}\langle 011 \rangle$. W technologiach odlewania ciągłego rezygnuje się zwykle z wyżarzania pośredniego a finalną grubość blach uzyskuje się w przedziale dużych

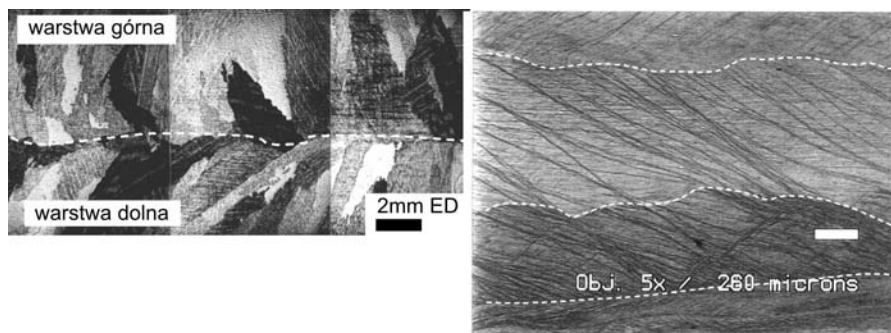
zgniotów. Sprzyja to formowaniu się pasm ścinania, których obecność w sposób istotny wpływać może na kształtowanie się tekstury rekrytalizacji w wyrobach finalnych [1,2]. W wielu wypadkach wpływa to niekorzystnie na właściwości anizotropowe blach.

Prezentowane wyniki badań dotyczą związku orientacji identyfikowanych wewnątrz pasmowych niejednorodności odkształcenia (głównie pasm ścinania) i orientacji zarodków pojawiających się w początkowych stadiach rekrytalizacji.

2. METODY POMIAROWE

Materiałem badawczym były próbki mosiądzu CuZn30 wycięte z płaskownika odlewane sposobem ciągłym o grubości 14mm, a następnie walcowane na zimno do zgniotu 69%. W stanie wyjściowym materiał ten charakteryzował się strukturą ultra dużych ziaren (rzędu kilku mm), formujących dwie warstwy (Rys.1), przy czym płaszczyzna rozdziału usytuowana była w strefie środkowej, równoległe do płaszczyzny walcowania. Stan częściowej rekrytalizacji badano dla różnych czasów wyżarzania (30-300sek) w temperaturze 460°C.

Obserwacje w skali makro przeprowadzono na przekroju wzdłużnym (KN-KW, gdzie: KN - kierunek normalny, KW - kierunek walcowania) z wykorzystaniem mikroskopii optycznej. Pomiar orientacji lokalnych w mikroobszarach przeprowadzono w skaningowym mikroskopie elektronowym (SEM) JSM 6500F, wyposażonym w działo o emisji polowej wykorzystując technikę EBSD (*electron backscattered diffraction*).



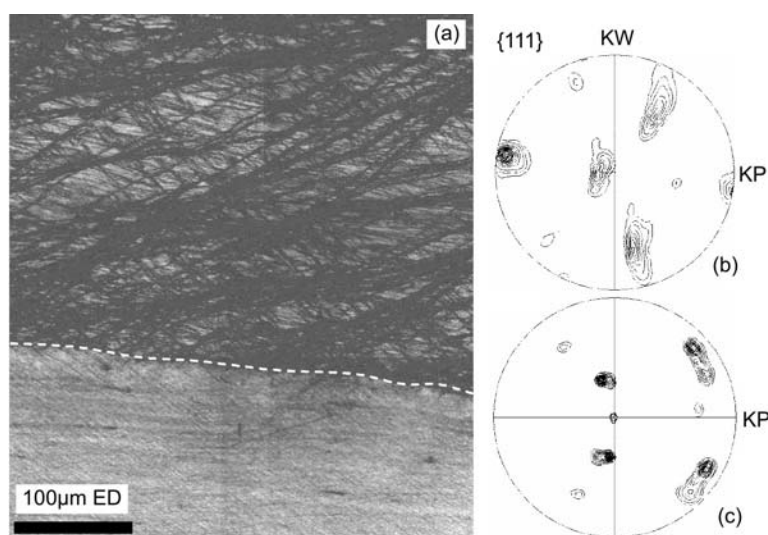
Rys. 1. Struktura wyjściowa badanego mosiądzu (a) oraz po odkształceniu 69% (b) obserwowane w skali mikroskopii optycznej na przekroju wzdłużnym

Fig. 1. Initial microstructure of the investigated brass (a) and after 69% deformation (b) observed in optical microscopy scale on longitudinal section

3. REZULTATY I DISKUSJA

W stanie zdeformowanym analizowane struktury pokazują formowanie się wyraźnie zaznaczonych pasm ścinania, jednej lub dwu rodzin, w zależności od orientacji krystalitów (Rys.1b). W większości analizowanych przypadków zwarte pakiety tych pasm ograniczone są do obszaru wnętrza ziaren i jedynie sporadycznie

wykazują tendencję do przekraczania granicy ziaren. Na Rys.2. przedstawiona jest mapa orientacji wyświetlona w 'funkcji jakości obrazu dyfrakcyjnego', gdzie jasne obszary odpowiadają dobrej natomiast ciemne (zwykle wewnątrz pasm ścinania) złej jakości obrazu dyfrakcyjnego. Mapa ta odzwierciedla obraz mikrostruktury ze zwartymi pakietami pasm ścinania uformowanych na tle warstwowej struktury płytkowej matryca-bliźniak. Dwa sąsiadujące ziarna scharakteryzowane są odmienną orientacją krystalograficzną. Tekstura z obszaru ziarna górnego (z pasmami ścinania) pokazana na Rys.2b w postaci figury biegunowej $\{111\}$, zawiera silnie zaznaczoną tendencję rotacji początkowej orientacji krystalitu (zbliżonej do $\{111\}\langle 112\rangle$) w kierunku dwu komplementarnych położen orientacji $B\{110\}\langle 112\rangle$. Przedstawiony obrót sieci krystalicznej wynika z rotacji dookoła dwu osi typu $\langle 112\rangle$ położonych w pobliżu kierunku poprzecznego (KP). Strukturalnym rezultatem niestabilnego zachowania się krystalitów tej orientacji jest pojawienie się dwu rodzin makroskopowo obserwowanych pasm ścinania. W ziarnie dolnym nie



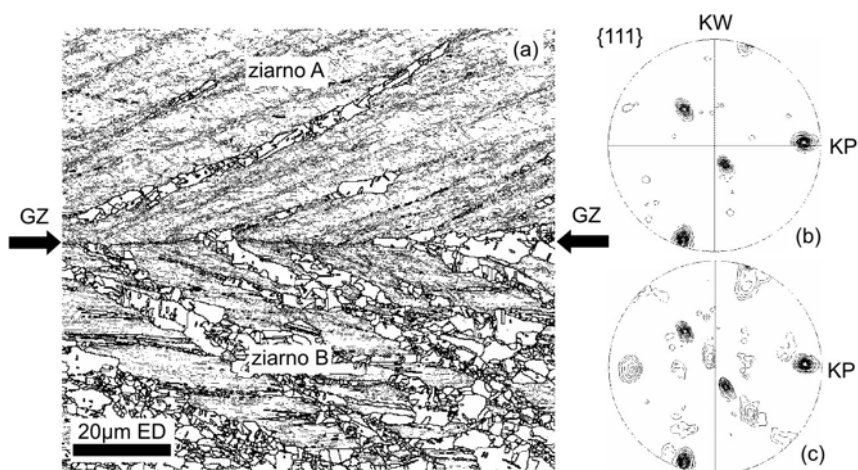
Rys. 2. Mapa orientacji przedstawiona w funkcji 'współczynnika jakości obrazu dyfrakcyjnego' (a) oraz odpowiadające jej figury biegunowe $\{111\}$: ziarno górne zawierające pasma ścinania (b), ziarno dolne bez pasm ścinania (c)

Fig. 2. Kikuchi band contrast map (a) and corresponding $\{111\}$ pole figures: upper grain with shear bands (b), bottom grain without shear bands (c)

obserwowano występowania pasmowych niejednorodności odkształcenia, a jedynie ślady działania dwu systemów poślizgu. Wynika to z faktu, że orientacja krystalitu zbliżona jest do orientacji Gossa $\{110\}\langle 001\rangle$, która jest zasadniczo stabilna w procesie walcowania do zakresu wysokich stopni odkształcenia. Obserwuje się jedynie

nieznaczną tendencję rozmywania początkowej orientacji, którą można opisać drogą obrotu dookoła KN.

Badania zmian orientacji lokalnych zgodnie z oczekiwaniami pokazują, że początkowe stadia rekrytalizacji związane są z pojawieniem się pojedynczych ziaren i ich zwartych łańcuchów głównie w obszarze pasm ścinania. Ziarna o różnej orientacji wyjściowej podlegają procesowi rekrytalizacji w różnym stopniu, w zależności od wielkości skumulowanej energii odkształcenia plastycznego; ziarna silnie nasycone pasmami ścinania rekrytalizują znacznie szybciej aniżeli ziarna ich pozbawione. Proces ten dobrze jest zilustrowany na Rys.3a, pokazującym mapę orientacji z obszaru granicznego pomiędzy dwoma zianami po rekrytalizacji w warunkach 460°C/60s. Ziarno górne (A), z małą ilością MPS jednej rodziny, ulega rekrytalizacji w niewielkim stopniu a zarodki nowych zian pojawiają się jedynie w obszarze pasm. Odkształcone ziarno dolne (B) uległo silniejszej rekrytalizacji; występują jedynie niewielkie obszary stanu odkształconego.



Rys. 3. Mapa orientacji przy granicy zian (a) na której zaznaczono granice: niskokątowe $<1.5\text{deg}$ – cienkie linie, oraz wysokokątowe $>15\text{deg}$ – grube linie, a także odpowiadające jej figury biegunowe typu $\{111\}$: (b) dla ziar A, (c) dla ziar B. GZ – granica pomiędzy zianami

Fig. 3. Orientation map near the grain boundary (a) with marked low angle ($<1.5\text{deg}$) – thin lines, and high angle ($>15\text{deg}$) grain boundaries and corresponding $\{111\}$ pole figures for grain: A - (b) and B - (c). GZ – grain boundary

Dla początkowych stadiów rekrytalizacji, gdy objętości zajmowane przez nowe zrekrystalizowane ziarna są stosunkowo nieduże obserwuje się silną dominację orientacji obszarów stanu zdeformowanego. Pokazują to figury biegunowe $\{111\}$ (Rys.3b i c) wykonane osobno dla ziar A i B. Bardziej szczegółowa analiza pozwala na stwierdzenie, że występuje pewna ściśle zdefiniowana relacja orientacji pomiędzy

zdeformowaną osnową a pojedynczymi izolowanymi zarodkami nowych ziaren. Może ona być opisana relacją kąta obrotu $25-40^\circ$, przy czym osie obrotu przynależą zwykle do włókna $\langle 111 \rangle - \langle 112 \rangle$ i silnie związane są z najbardziej aktywnymi w procesie odkształcenia systemami poślizgu [2]. W nawiązaniu do wcześniejszych spostrzeżeń wynikających z badań na monokryształach metali o strukturze sieci A1, także i w przypadku analizowanego stopu, bliźniakowanie w fazie zrekrystalizowanej pojawia się dopiero po uformowaniu się początkowego zarodka. Nie obserwowano także wystąpienia relacji bliźniaczej pomiędzy fazą zdeformowaną i zrekrystalizowaną a także odtworzenia orientacji stanu zdeformowanego w orientacjach początkowych zarodków bez bliźniaków rekrytalizacji. Powyższe spostrzeżenia wydają się być niezwykle przydatne w opisie mechanizmów odpowiedzialnych za formowanie się silnej składowej sześcienniej w teksturze rekrytalizacji silnie odkształconych wlewków płaskich.

Związek pomiędzy ziarnami o orientacji sześcienniej stanu zrekrystalizowanego a składową S stanu odkształconego był wcześniej szczegółowo dyskutowany przez Samajdar i Doherty [4], jednakże w oparciu o zmiany energii zmagazynowanej. Analiza map orientacji przeprowadzona w kontekście występowania składowej sześcienniej wskazuje, że zarodki o tej orientacji formują się od najwcześniejszych stadiów procesu rekrytalizacji. Jednakże, *prawdopodobieństwo wystąpienia ziaren o idealnej orientacji sześcienniej, dla szerokiego zakresu czasów i temperatur wyżarzania, jest bliskie zeru*; z tego też względu analizowano frakcję ziaren o orientacji sześcienniej z rozmyciem 20° od położenia idealnego. Powyższy fakt, obserwowany na wszystkich analizowanych mapach orientacji, pozostaje w sprzeczności z wynikami badań tekstur globalnych gdzie obserwowano silne maksimum gęstości biegunów w położeniu $\{100\}\langle 001 \rangle$. Uzasadnionym wydaje się zatem pogląd, że składowa sześcienna, silnie zaznaczona na ‘uciągłych’ figurach biegunowych (lub alternatywnie *Funkcji Rozkładu Orientacji*), jest jedynie składową ‘kompromisu’. Powstaje ona w wyniku nakładania się blisko siebie położonych biegunów $\langle 111 \rangle$, orientacji związanych relacją obrotu typu $\alpha\langle 111 \rangle$ lub $\alpha\langle 112 \rangle$ z położeniami należącymi do szerokiego rozmycia ciągu orientacji $S\{123\}\langle 634 \rangle - B\{110\}\langle 112 \rangle$, identyfikowanych w stanie odkształconym [2]. Tezę tę potwierdzają badania częstości występowania ziaren o orientacji sześcienniej (w granicach analizowanego odchylenia do 20°). Stwierdza się mianowicie, że dla analizowanych przypadków najbardziej prawdopodobne jest wystąpienie ziaren o orientacjach odchylnych $10-20^\circ$ od położenia idealnego $\{100\}\langle 001 \rangle$ ($\varphi_1=0^\circ$, $\Phi=0^\circ$, $\varphi_2=0^\circ$).

Dodatkowym mechanizmem wspomagającym pojawienie się tej specyficznej składowej, występującej w teksturze rekrytalizacji, jest mechanizm bliźniakowania rekrytalizującego, w którym jeden z wariantów transformuje obszary o orientacjach S lub z zakresu $\{110\}\langle 111 \rangle - \{221\}\langle 122 \rangle$ w położenia zbliżone lub dokładnie odpowiadające orientacji sześcienniej (orientacja $\{221\}\langle 122 \rangle$ jest bliźniakiem $\{100\}\langle 001 \rangle$). Stosownie do powyższego frakcję ziaren o orientacji zbliżonej do sześcienniej możemy podzielić na dwie grupy. W pierwszej, relatywnie słabo reprezentowanej ziarna te nie tworzą relacji bliźniaczych z sąsiadami ale wykazują

silnie zarysowaną tendencję do lokowania się w granicy analizowanego rozmycia i wykazują relację dezorientacji zbliżoną do $30^\circ\langle 111 \rangle$ w odniesieniu do jednej z grup orientacji stanu odkształconego. W drugiej, zdecydowanie liczniejszej, ziarna tworzą granice bliźniacze w odniesieniu do przynajmniej jednego z sąsiadów.

Mapy orientacji pokazują także silny wpływ niejednorodności odkształcenia w formie pasm ścinania na wielkość ziaren i ich niejednorodny rozkład. Dystrybucja ziaren małych silnie związana jest z układem pasm ścinania, odzwierciedlając ich układ w początkowych stadiach rekrytalizacji. Ziarna większe wypełniają pola pomiędzy pasmami ziaren małych, zajmowane w stanie odkształconym przez zwarte pakiety bliźniaków odkształcenia, rekrytalizujących z pewnym opóźnieniem. Główną przyczyną nierównomiernej dystrybucji wielkości ziarna w początkowych stadiach rekrytalizacji jest uprzywilejowane zarodkowanie i ograniczony dużą gęstością zarodków wzrost ziarna wewnątrz pasm ścinania.

LITERATURA

- [1] H. Paul, A. Morawiec, E. Bouzy, J.J. Fundenberger, A. Piątkowski, Metall. Mater. Trans., 35A, 2004, 3775.
- [2] H. Paul, J.H. Driver, C. Maurice, Z. Jasiński, Acta Mater., 50, 2002, 4339.
- [3] Z. Jasiński, J. Pospiech, A. Piątkowski, J. Jura, Arch. of Metall., 40, 1995, 245
- [4] I. Samajdar, R.D. Doherty, Scripta metall. Mater., 32, 1995, 845.

THE TEXTURE DEVELOPMENT OF COLD ROLLED AND RECRYSTALLIZED CuZn30 ALLOY OBTAINED BY CONTINUOUS CASTING. THE CRITICAL ROLE OF SHEAR BANDS

SUMMARY

The effect of shear bands on the deformation and the recrystallization texture formation has been investigated in CuZn30 alloy obtained by continuous casting within the range of high reductions. Substantial progress in understanding of the bands formation and their influence on the cube{100}<001> grain formation was possible thanks to systematic local orientation measurements using SEM/EBSD technique. It was shown that the smaller contribution of the S-component, the absence of cube grains.

Recenzował: Prof. Jerzy Mutwil