

УДК 699.967.3, 699.723, 531.38.
PACS number(s): 61.66.B; 81.40.E

ВПЛИВ ДЕФОРМАЦІЇ ЗГИНУ НА ТЕКСТУРНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНІЄВОГО СПЛАВУ AZ31

П. Стоянов, Т. Совкова

*Південноукраїнський державний педагогічний університет
вул. Старопортофранківська, 26, Одеса 65020, Україна
e-mail: ppSto@rambler.ru*

Вивчали текстуру листів сплаву AZ31 (3%Al,1%Zn) після гарячої прокатки і деформації знакозмінним згином. У гарячекатаних листах сплаву головню наявні базисні орієнтування $(0001) \langle 11\bar{2}0 \rangle$, $(0001) \langle 10\bar{1}0 \rangle$, $(0001) \langle 21\bar{3}0 \rangle$, які під час пластичної деформації блокують подальше базисне ковзання, унаслідок чого знижується пластичність сплаву. Деформація ЗЗ спричинює до посилення пірамідальних орієнтувань $\{10\bar{1}4\} \langle 21\bar{3}0 \rangle$, $\{11\bar{2}4\} \langle 21\bar{3}0 \rangle$ і послаблення базисних. Текстура стає сприятливою для базисного ковзання, що зумовлює підвищення пластичності сплаву.

Ключові слова: магній, згин, текстура, полюсна фігура, двійникування.

Магній та його сплави є альтернативною алюмінієвим сплавам (дюралюм), зважаючи на їх високу питому міцність. Проте широкому застосуванню магнієвих сплавів як ряду оболонкових виробів перешкоджає їх низька пластичність за кімнатних температур через недостатню кількість активних систем деформацій [1].

Важливою структурною складовою полікристала є текстура, яка супроводжує будь-який технологічний процес обробки металевих матеріалів і інформує про особливості пластичної деформації, рекристалізації, дефектної структури, а з практичного погляду є додатковим резервом поліпшення якості виробів за габаритними, ваговими й іншими характеристиками.

У [2–4] вивчали вплив деформації знакозмінним згином на механічні властивості магнієвого сплаву AZ31 (3%Al, 1%Zn). Було з'ясовано, що вже 0,5 циклу ЗЗ суттєво змінює межу плинності σ_T , яке виражається в появі точки перегину на кривій розтягування. Збільшення кількості циклів σ_T помітно не змінює, але спричинює подовження полицки плинності. Інакше кажучи, для сплаву AZ31 було виявлено незвичайний для металевих матеріалів ефект підвищення пластичності за рахунок пластичної деформації. У [5] показано, що такий ефект можливий унаслідок активізації процесів двійникування, що забезпечують переорієнтацію зерен у двійникових областях,

яка сприяє подальшому базисному ковзанню, й інших систем деформації. Проте, кількісного аналізу текстурних перетворень автори не пропонують.

Стаття досліджує вплив деформації знакозмінним згином на кількісні зміни текстури магнієвого сплаву AZ31 і впливу її на властивості сплаву.

Матеріалом для досліджень слугували листи сплаву, прокатані за температури 320°C до 1,07 мм товщини. Далі листи відпалювали за тієї ж температури протягом 25 хв з охолодженням на повітрі.

З листів вирізали прямокутні зразки у напрямку прокачування (НП) завдовжки 100 і завширшки 20 мм, які згодом піддавали знакозмінному згину за схемою [2] на роликах діаметром 50 мм. Методика згину давала змогу деформувати зразок рівномірно по всій довжині, що забезпечувало однорідність текстур по всьому об'єму зразка. Один цикл деформації охоплював згин в один, а потім в протилежний бік і повернення зразка у випрямлений стан. З початкових листів і деформованих зразків вирізували дископодібні зразки для рентгенодифрактометричних досліджень текстури. Деформований поверхневий шар знімали травленням в 10% розчині азотної кислоти.

Текстуру вивчали методом зворотних полюсних фігур (ЗПФ) [6]. Дебаєграми знімали на дифрактометрі ДРОН-3М в МоК α – випромінюванні при режимі U= 30кВ і I_a =20мА для напрямів нормальних до листа (НН), напрямку, що збігається з напрямом прокачування (НП) і з поперечним напрямом (ПН). Для цієї мети виготовляли набірний зразок у вигляді кубика з окремих плоских зразків, вирізаних з досліджуваних листів. ЗПФ будували для сферичного трикутника (0001), (10 $\bar{1}$ 0), (11 $\bar{2}$ 0).

ЗПФ нормували в рівнях середньої полюсної щільності [7]:

$$\bar{P}_{hkl} = \frac{\frac{I_{hkl}}{I_{nt}}}{\frac{1}{n} \sum_1^n \left(A_{hkl} \frac{I_{hkl}}{I_{nt}} \right)},$$

де A_{hkl} – величина, що враховує частину кристалітів, що взяли участь у розсіюванні рентгенівських променів від площини (hkl) з урахуванням фактора повторюваності. Значення A_{hkl} використовували з [1].

З таким уявленням зворотна полюсна фігура для певного напрямку в зразку, наприклад для НН, є функцією густини імовірності збігу з цим напрямом нормалей до тієї або іншої площини кристала.

На рис. 1 наведені ЗПФ для гарячекатаних листів і смуг, деформованих знакозмінним згином трьома циклами.

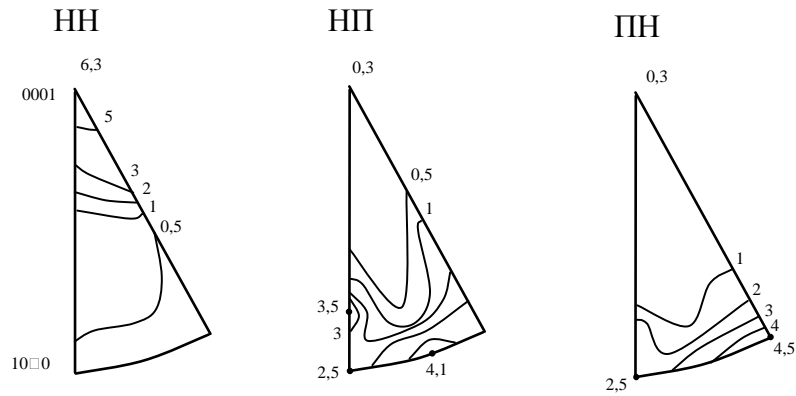


Рис. 1. Зворотні полюсні фігури текстури листів сплаву AZ31 після гарячого прокачування для напрямку, нормального до площини листа (НН), напрямку прокачування (НП) і поперечного напрямку (ПН)

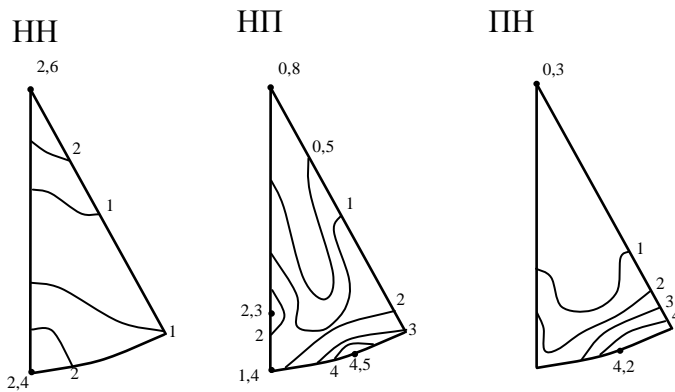


Рис. 2. Зворотні полюсні фігури текстури листів сплаву AZ31 після гарячого прокачування і подальшої деформації знакозмінним згином трьома циклами для НН, НП і ПН

Планіметрируванням визначили інтегральну інтенсивність кожного з рефлексів, а згодом обчислили густину імовірності наявності кожного з орієнтування в текстурах вихідного і деформованого матеріалів. Текстура досліджених зразків може бути описана такими основними переважними орієнтуваннями:

- 1) базисні: $(0001)\langle 11\bar{2}0 \rangle (a)$, $(0001)\langle 10\bar{1}0 \rangle (b)$, $(0001)\langle 21\bar{3}0 \rangle (c)$;
- 2) пірамідальні: $\{10\bar{1}4\}\langle 21\bar{3}0 \rangle (a)$ та $\{11\bar{2}4\}\langle 21\bar{3}0 \rangle (b)$;
- 3) призматичні: $\{10\bar{1}0\}[0001]$.

У табл. 1 наведені відсоткові співвідношення орієнтувань, наявних у досліджуваних текстурах.

Таблиця 1

Вміст орієнтувань у текстурах листів сплаву AZ31 після різних видів обробки

Обробка	Ідеальні орієнтування, %						
	Базисні				Призматичні		Пірамідальні
	<i>a</i>	<i>b</i>	<i>c</i>	Σ	<i>a</i>	<i>b</i>	
Початковий	19	12	21	52	26	22	–
1 цикл ЗЗ	12	5	16	33	20	17	30
3 цикли ЗЗ	15	8	13	36	15	13	36

У вихідних листах сплаву AZ31 головно наявні базисні орієнтування, які під час пластичної деформації блокують подальше базисне ковзання, унаслідок чого знижується пластичність сплаву. Деформація ЗЗ вже на початкових стадіях (1 цикл) суттєво змінює характер текстури. З'являється значна кількість пірамідальних орієнтувань, а кількість базисних – зменшується. З цикли ЗЗ міняють співвідношення орієнтувань у бік подальшого збільшення пірамідальних і зменшення призматичних. Текстура стає сприятливою для базисного ковзання, що зумовлює підвищення пластичності сплаву, яке спостерігали в [2–4].

Орієнтування $(0001)\langle 11\bar{2}0 \rangle$ типове для магнію і його сплавів [1]. Наявність орієнтування $(0001)\langle 10\bar{1}0 \rangle$ в початковій текстурі може бути пов'язана з розширенням листів при гарячому прокачуванні, подібним до поперечного підкату [7], оскільки при орієнтації по НП кристалографічного напрямку $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ в ПН встановлюється напрям $\langle 10\bar{1}0 \rangle$. При цьому орієнтування $(0001)\langle 21\bar{3}0 \rangle$ є перехідним і може розглядатися як накладення двох орієнтувань $(0001)\langle 11\bar{2}0 \rangle$, що формуються під час прямого прокачування і поперечного розширення.

Деформація знакозмінним згином може розглядатися як розтягування і подальше стиснення поверхневих і проміжних шарів металу. Середній шар знаходиться в нерухомому положенні. Тому текстура середнього шару повторює текстуру вихідних листів до деформації ЗЗ.

У табл. 2 наведено можливі механізми деформації, які забезпечують розвиток орієнтувань, виявлених в текстурах сплаву AZ31 у разі деформації знакозмінним згином.

Механізми пластичної деформації, що забезпечують розвиток компонент текстури листів сплаву AZ31 у разі деформації 33

Орієнтування	Механізм деформації	Ступінь стабільності
$(0001)\langle 11\bar{2}0 \rangle$	Ковзання в напрямках $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ при деформації стисненням	Стабільна
$(10\bar{1}0)\langle \bar{3}031 \rangle$	Двійникування по $\{10\bar{1}3\}$ з подальшим вторинним двійникуванням по $\{10\bar{1}2\}$. Кут з площинами базису матриці $22^\circ 18'$	Нестабільний унаслідок розвиненого базисного ковзання
$\{11\bar{2}4\}\langle \bar{1}\bar{1}21 \rangle$	Двійникування по $\{10\bar{1}1\}$ з подальшим вторинним двійникуванням по $\{10\bar{1}2\}$. Кут з площинами базису матриці $37^\circ 30'$	Нестабільний унаслідок розвиненого призматичного ковзання
$\{10\bar{1}0\}[0001]$	Двійникування по $\{10\bar{1}2\}$ і $\{10\bar{1}3\}$ з подальшим ковзанням по $\langle 11\bar{2}0 \rangle$ під час деформації розтягуванням	Стабільний

Сплав AZ31 належить до групи ГП металів, для яких міжосьове відношення c/a близько до ідеального. Експериментальні дані, отримані на монокристалах, і теоретичні розрахунки засвідчили, що в магнії ковзання переважно здійснюється по площині базису [1]. Тому утворюється текстура центрального базисного типу з розсіянням в НП, яку ми простежуємо в листах сплаву AZ31 після гарячого прокачування.

Після деформації одним циклом знакозмінного згину простежується поява, а згодом розвиток двійникових орієнтувань.

У [1] наведені дані для монокристалів магнію, навантажених паралельно до осей c або a стисненням чи розтягуванням. Для цих умов виявлено 7 елементів двійникових систем. Таке різноманіття систем двійникування не дає змоги для утворення специфічних текстурованих двійникових компонентів при деформації безтекстурного полікристала. Проте вони можуть бути достатньо вираженими під час деформації вже текстурованого матеріалу, отриманого за рахунок процесів ковзання. На рис. 3 показані двійникові переорієнтації з області АБС, відповідній до базисної початкової текстури з розсіянням базисних полюсів (межа БС), для двійникування по площинам $\{10\bar{1}1\}$, $\{10\bar{1}2\}$, $\{10\bar{1}3\}$.

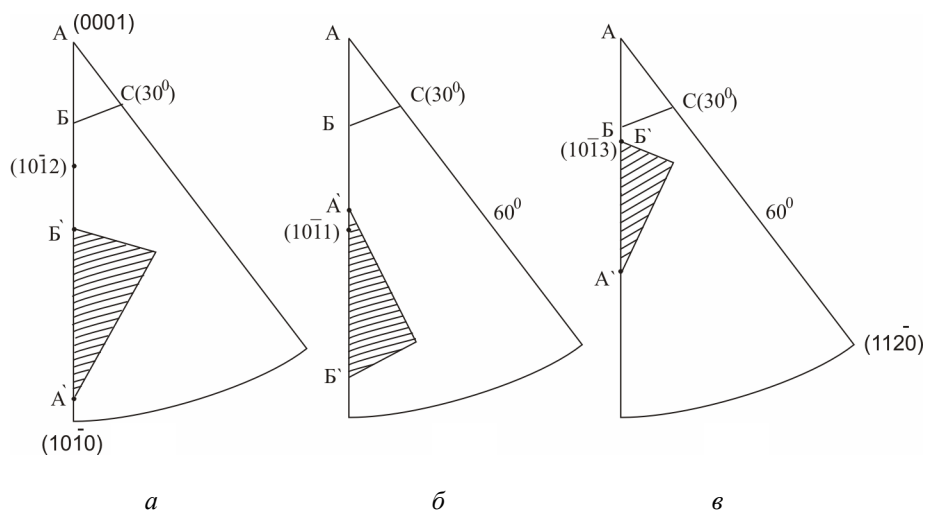


Рис. 3. Схема переорієнтації полікристалів магнію під час двійникування за системами:
 $a - \{10\bar{1}1\}$, $b - \{10\bar{1}2\}$, $v - \{10\bar{1}3\}$

Основною системою двійникування в магнії є $\{10\bar{1}2\}\langle 10\bar{1}1 \rangle$. У разі деформації ЗЗ поверхневі й середні шари послідовно піддаються деформації подовження і скорочення. При цьому стає можливим двійникування за системами $\{10\bar{1}1\}\langle \bar{1}012 \rangle$ і $\{10\bar{1}3\}\langle \bar{3}032 \rangle$ [9].

Обертання базисної площини за такого двійникування приводить її в положення, сприятливе для призматичного ковзання, яке характеризується суттєво меншою критичною напругою на відміну від пірамідального. При цьому базисні площини, які складають в матриці невеликі (до 30°) кути з площиною прокачування переорієнтовуються в області, які сприятливо орієнтовані для ковзання (рис. 2, б, в).

Деформація гарячим прокачуванням магнієвого сплаву AZ31 формує в листах текстуру центрального базисного типу за рахунок реалізації механізму пластичної деформації ковзанням за базисними площинами. Листи сплаву з такою текстурою під час випробувань на розтягування мають низьку пластичність і високу міцність.

Деформація знакозмінним згином зменшує кількість базисних компонент в текстурі і збільшує кількість пірамідальних компонент, характерних для процесів двійникування під час розтягування і стиснення, що спричинює підвищення пластичності листів у разі розтягування і стиснення у напрямку прокачування.

1. *Вишняков Я.Д.* Теория образования текстур в металлах и сплавах / Я.Д. Вишняков, А.А. Бабарэко, С.А. Владимиров, И.В. Эгиз. – М.: Наука, 1979. – 344 с.
2. *Зильберг Ю.В.* Влияние знакопеременного изгиба на прочностные свойства низкоуглеродистой стали / Ю.В. Зильберг, В.Г. Братутин, Т.А. Карнаух // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії. – Краматорск, 2001. – 164 с.
3. *Зильберг Ю.В.* Влияние вида пластической деформации на прочность низкоуглеродистой стали / Ю.В. Зильберг, В.Г. Братутин // Удосконалення процесів та обладнання обробки тиском у машинобудуванні та металургії. – Краматорск, 2002. – 468 с.
4. *Зильберг Ю.В.* О влиянии знакопеременного изгиба на протяженность площадки текучести / Ю.В. Зильберг, В.Г. Братутин, Т.А. Карнаух // Известия вузов. Черная металлургия. – 2002. – 110 с.
5. *Бах Ф.В.* Текстурное разупрочнение листов магниевого сплава AZ31 при знакопеременном изгибе / Ф.В. Бах, А.А. Брюханов, Ю.В. Зильберг // Деформация и разрушение металлов. – 2009. – №3. – 35 с.
6. *Вассерман Г.* Текстуры металлических материалов / Г. Вассерман, И. Гревен. – М.: Металлургия, 1959. – 654 с.
7. *Брюханов А.А.* Текстура и анизотропия модуля Юнга листов сплава Ti-Al-V при прямой и поперечной прокатках / А.А. Брюханов, Т.С. Совкова // Изв. вузов. Цветная металлургия. – 1981. – № 4. – 91 с.
8. *Кайбышев О.А.* Пластичность и сверхпластичность металлов / О.А. Кайбышев. – М.: Металлургия, 1975. – 280 с.

THE INFLUENCE OF BENDING DEFORMATION ON THE TEXTURE CHARACTERISTICS OF MAGNESIUM ALLOY AZ31

P. Stoyanov, T. Sovkova

*Ushynsky South Ukrainian State Pedagogical University, Physik Department
Staroportofrankovskaya Str., 26, 65020 Odessa, Ukraine
e-mail: ppSto@rambler.ru*

The textures of alloy AZ31 sheets after hot rolling and deformation by sing-changing bending were studied. In hot rolled sheets mainly basal orientations $(0001) \langle 1\bar{1}20 \rangle$, $(0001) \langle 10\bar{1}0 \rangle$, $(0001) \langle 2\bar{1}30 \rangle$ are present. They are blocking further basal slip, why the plasticity of alloy decreases. The bending deformation leads to strengthening of the pyramidal orientations $\{10\bar{1}4\} \langle 2\bar{1}30 \rangle$, $\{11\bar{2}4\} \langle 2\bar{1}30 \rangle$ and to reducing basal orientations. The texture is going to be preferable for basal slip what leads to increasing of the alloy plasticity.

Key words: magnesium, bending, texture, pole figure, twinning.

**ВЛИЯНИЕ ИЗГИБНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА ТЕКСТУРНЫЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ МАГНИЕВОГО СПЛАВА AZ31****П. Стоянов, Т. Совкова**

*Южноукраинский государственный педагогический университет
ул Старопортофранковская, 26, 65020 Одесса, Украина
e-mail: ppsto@rambler.ru*

Изучали текстуру листов сплава AZ31 (3%Al,1%Zn) после горячей прокатки и деформации знакопеременным изгибом. В горячекатаных листах сплава в основном присутствуют базисные ориентировки $(0001) \langle 11\bar{2}0 \rangle$, $(0001) \langle 10\bar{1}0 \rangle$, $(0001) \langle 21\bar{3}0 \rangle$ которые при пластической деформации блокируют дальнейшее базисное скольжение, вследствие чего снижается пластичность сплава. Деформация ЗИ приводит к усилению пирамидальных ориентировок $\{10\bar{1}4\} \langle 21\bar{3}0 \rangle$, $\{11\bar{2}4\} \langle 21\bar{3}0 \rangle$ и ослаблению базисных. Текстура становится благоприятной для базисного скольжения, что приводит к повышению пластичности сплава.

Ключевые слова: магний, изгиб, текстур, полюсная фигура.

Стаття надійшла до редколегії 29.05.2009
Прийнята до друку 07.06.2010