

## ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 3005 НА ИЗГИБ

А.В. Трибунский, Е.С. Читнаева, А.Ш. Хисравов, А.С. Вышкина

*Исследование направлено на изучение влияния кристаллографической текстуры листов из алюминиевого сплава 3005 с различной степенью деформации при холодной прокатке и после отжига на изгиб 180°. Для этого были отлиты слитки через установку внепечного рафинирования, гомогенизированы при температуре 590 °С, с выдержкой в течение 6 часов. Далее слитки подвергались горячей прокатке до толщины 3,5, 4,0 и 5,5 мм и последующей холодной прокатке на пятиклетевом стане в рулоны толщиной 0,25, 0,46 и 0,82 мм, степень деформации соответственно 92,9, 88,5 и 85,1 %. После прокатки произведен отжиг образцов в конечной толщине на линии непрерывной термообработки при температуре 270 °С. Результаты исследований текстуры позволят скорректировать технологию прокатки полужабрикатов с целью повышения пластичности и остаточного удлинения листов данного сплава. Для достижения поставленных целей получена количественная информация о текстуре в виде объемных долей основных ориентировок, прямых и обратных полюсных фигур. Работа выполнена в лаборатории кристаллоструктурных исследований Самарского университета имени академика Королева.*

*Ключевые слова: сплавы системы Al–Mn, алюминиевый сплав 3005, гибка, кристаллографическая текстура, ориентировки, прямые полюсные фигуры, обратные полюсные фигуры.*

### ВВЕДЕНИЕ

Сплавы системы Al–Mn (серия 3xxx) – это пластичные сплавы, обладающие хорошей свариваемостью, коррозионной стойкостью и высоким уровнем усталостной прочности, широко используются в строительстве и отделке (декоративные и защитные профилированные облицовочные материалы) [1].

В процессе листовой штамповки и гибки сплавов этой серии возникают различные дефекты, такие как боковые трещины [2] или гофрообразование между полками гнутой заготовки. Потеря пластичности может быть связана с упрочнением в результате нагартовки [3], проявлением размерного эффекта или выделения дисперсных фаз [4], а также особенностью кристаллографической текстуры. Фазовый состав алюминиевых сплавов серии 3xxx состоит из твердого раствора марганца в алюминии и вторичных выделений фазы MnAl<sub>6</sub>, которая может снижать пластичность и способствовать образованию трещин. Также марганец образует с железом интерметаллические соединения (Mn, Fe)Al, AlFeMnSi и другие. В присутствии железа вместо MnAl<sub>6</sub> образуется сложная фаза Al<sub>6</sub>(MnFe). Она имеет вид крупных пластин, практически нерастворимая в алюминии, что может повышать концентрацию напряжений при изгибе и снижать пластичность и технологичность [5]. Главный недостаток легирования марганцем – существенный рост зерна при нагреве [6]. Повышенное содержание

кремния ухудшает деформируемость сплавов на основе алюминия, т. к. понижается его пластичность. Для снижения негативного влияния железа и кремния стараются в сплаве выдерживать соотношение Fe : Si = 1,3 : 1,5 [7].

Изготовление сотовых и строительных декоративных конструкций подразумевает проведение гибки тонких листов и лент. В том числе применяется перегиб, т. е. складывание заготовки до смыкания полок, что позволяет увеличить эффективность транспортировки за счет экономии пространства. Несмотря на хорошую пластичность алюминиевых сплавов серии 3000, при изготовлении гнутых профилей существует проблема появления трещин в месте сгиба. Пониженная пластичность сплавов может быть связана с наличием внутренних напряжений, как представлено в работе [8]. Целью настоящей работы было изучение влияния кристаллографической текстуры листов из алюминиевого сплава 3005 с различной степенью деформации при холодной прокатки на изгиб 180°.

### МЕТОДИКА

Для изучения был выбран сплав 3005 с химическим составом по EN 573-3. Были отлиты слитки через установку внепечного рафинирования, гомогенизированы при температуре 590 °С, с выдержкой в течение 6 часов. Далее слитки подвергались горячей прокатке до толщины 3,5, 4,0 и 5,5 мм и последующей холодной прокатке на пятиклетевом

## ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ ЛИСТОВ ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 3005 НА ИЗГИБ

стане в рулоны толщиной 0,25, 0,46 и 0,82 мм, степень деформации соответственно 92,9, 88,5 и 85,1 %. После холодной прокатки произведен отжиг образцов в садочных воздушно-циркуляционных печах при температуре 270 °С в течение 1 часа.

Технологические испытания на перегиб проводились в соответствии с ГОСТ 14019-80, подробное изложение проведения данного исследования представлено в работе [9].

Первичная информация о текстуре наиболее полно представлена в прямых полюсных фигурах [10]. Текстурные измерения в виде построения полюсных фигур проводили на образцах, вырезанных из листов сплава, в срединных плоскостях по толщине листа. Плоскость съемки полюсных фигур была параллельна плоскости прокатки. Текстура в виде четырех неполных полюсных фигур  $\{111\}$ ,  $\{200\}$ ,  $\{220\}$  и  $\{311\}$  была исследована методом «на отражение» с использованием рентгеновского дифрактометра ДРОН-7 в  $S_{0\alpha}$ -излучении, диапазоны углов наклона  $\alpha$  ( $0 \div 70^\circ$ ) и поворотов  $\beta$  ( $0 \div 360^\circ$ ) с шагом по  $\alpha$  и  $\beta = 5^\circ$ . Далее рассчитывались полные полюсные фигуры и обратные полюсные фигуры для трех взаимно перпендикулярных направления прокатки (НП).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Подтверждая полученные результаты в работе [11], на образцах сплава 3005 в холоднокатаном состоянии на всех толщинах и отожженных образцах толщиной менее 0,3 мм при гибке обнаружена проблема появления трещин в месте сгиба.

2. На рисунке 1 приведен типичный дифракционный спектр для холоднокатаного листа сплава 3005.

Дифракционный спектр в сплаве 3005 дополнительно выявляет менее 3 % фазы  $Al_{19}Mn_4$ .

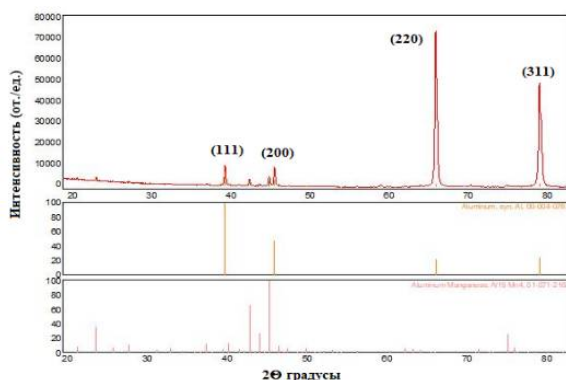


Рисунок 1 – Дифракционный спектр листа сплава 3005

3. Изменение прямых и обратных полюсных фигур.

На рисунках 2–5 приведено изменение прямых полюсных фигур для исследуемого сплава 3005 (различных толщин и состояний).

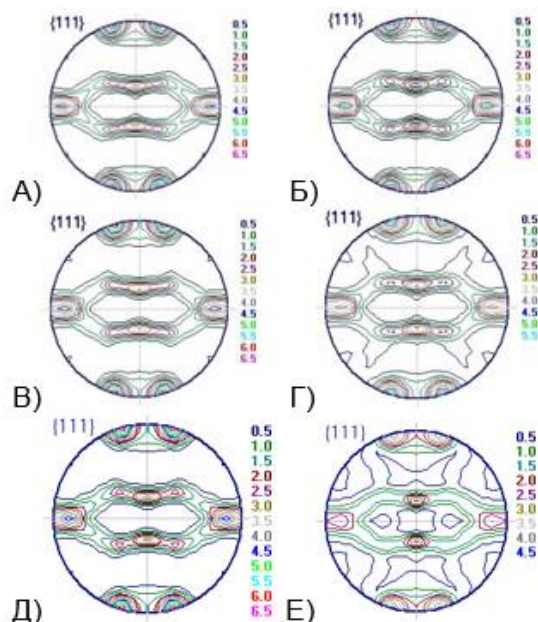


Рисунок 2 – Изменение прямых полюсных фигур ориентировкой  $\{111\}$   
А) 0,82 мм; Б) 0,82 мм + отжиг; В) 0,46 мм;  
Г) 0,46 мм + отжиг; Д) 0,25 мм;  
Е) 0,25 мм + отжиг

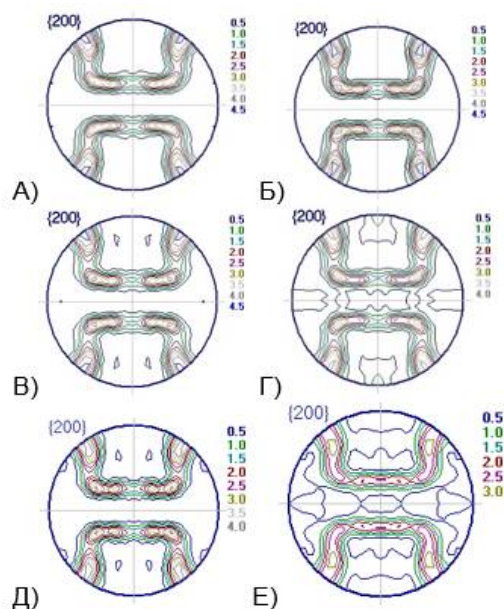


Рисунок 3 – Изменение прямых полюсных фигур  $\{200\}$   
А) 0,82 мм; Б) 0,82 мм + отжиг; В) 0,46 мм;  
Г) 0,46 мм + отжиг; Д) 0,25 мм;  
Е) 0,25 мм + отжиг

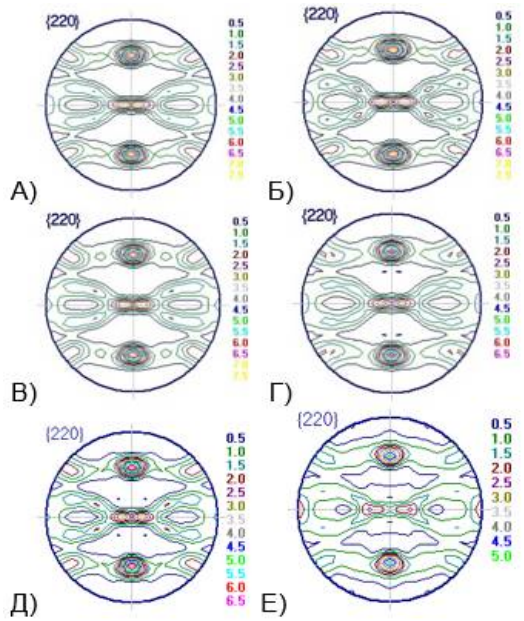


Рисунок 4 – Изменение прямых полюсных фигур ориентировкой {220}  
 А) 0,82 мм; Б) 0,82 мм + отжиг; В) 0,46 мм;  
 Г) 0,46 мм + отжиг; Д) 0,25 мм;  
 Е) 0,25 мм + отжиг

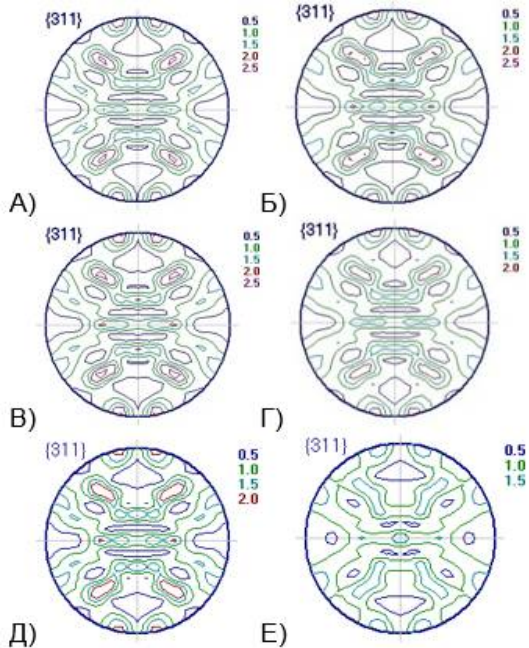


Рисунок 5 – Изменение прямых полюсных фигур ориентировкой {311}  
 А) 0,82 мм; Б) 0,82 мм + отжиг; В) 0,46 мм;  
 Г) 0,46 мм + отжиг; Д) 0,25 мм;  
 Е) 0,25 мм + отжиг

На рисунке 6 приведены изменения обратных полюсных фигур по направлению проката для исследуемого сплава 3005 (различных толщин и состояний).

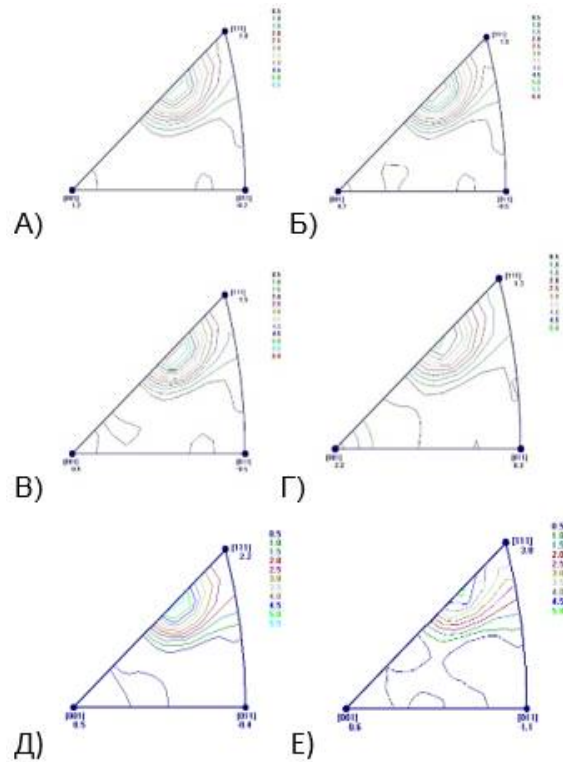


Рисунок 6 – Изменение обратных полюсных фигур  
 А) 0,82 мм; Б) 0,82 мм + отжиг; В) 0,46 мм;  
 Г) 0,46 мм + отжиг; Д) 0,25 мм;  
 Е) 0,25 мм + отжиг

Основные ориентировки и их объемные доли срединного слоя образца сплава 3005 после холодной прокатки представлены в таблице 1 и на рисунке 7, после холодной прокатки и отжига – в таблице 2 и на рисунке 8.

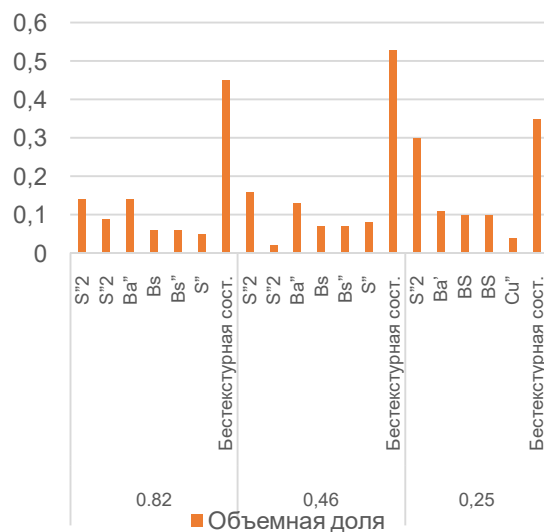


Рисунок 7 – Основные ориентировки и их объемные доли срединного слоя образца сплава 3005 после холодной прокатки

**ВЛИЯНИЕ КРИСТАЛЛОГРАФИЧЕСКОЙ ТЕКСТУРЫ ЛИСТОВ  
ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 3005 НА ИЗГИБ**

Таблица 1 – Основные ориентировки и их объемные доли срединного слоя образца сплава 3005 после холодной прокатки

Толщина	Компонент	(hkl)<uvw>	Объемная доля
0,82	S'' <sub>2</sub>	(618)<-1-21>	0,14
	S'' <sub>2</sub>	(186)<2-11>	0,09
	Ba''	(439)<-5-75>	0,14
	Bs	(110)<1-12>	0,06
	Bs''	(034)<8-54>	0,06
	S''	(385)<7-55>	0,05
	Бестекстурная составляющая		
0,46	S'' <sub>2</sub>	(186)<2-11>	0,16
	S'' <sub>2</sub>	(618)<-1-21>	0,02
	Ba''	(439)<-5-75>	0,13
	Bs	(110)<1-12>	0,07
	Bs''	(034)<8-54>	0,07
	S''	(385)<7-54>	0,08
Бестекстурная составляющая			0,53
0,25	S'' <sub>2</sub>	(186)<2-11>	0,30
	Ba'	(493)<5-47>	0,11
	Bs	(011)<2-11>	0,10
	Bs	(110)<1-12>	0,10
	Cu''	(113)<-6-65>	0,04
Бестекстурная составляющая			0,35

Таблица 2 – Основные ориентировки и их объемные доли срединного слоя образца сплава 3005 после холодной прокатки и отжига

Толщина	Компонент	(hkl)<uvw>	Объемная доля
0,82	S'' <sub>2</sub>	(186)<-2-11>	0,19
	S'' <sub>2</sub>	(618)<-1-21>	0,07
	Ba''	(439)<-5-75>	0,12
	Bs	(385)<1-12>	0,07
	Bs''	(110)<1-12>	0,05
	S''	(034)<8-54>	0,05
Бестекстурная составляющая			0,45
0,46	S'' <sub>2</sub>	(618)<-1-21>	0,16
	S'' <sub>2</sub>	(186)<2-11>	0,02
	Ba''	(439)<-5-75>	0,11
	Bs	(110)<1-12>	0,05
	Bs''	(034)<2-11>	0,06
	S''	(385)<7-54>	0,07
Бестекстурная составляющая			0,53
0,25	S'' <sub>2</sub>	(341)<4-58>	0,17
	Cu'	(449)<-6-65>	0,11
	Ba'	(131)<6-58>	0,06
	Bs	(011)<2-11>	0,03
	Bs	(110)<1-12>	0,03
Бестекстурная составляющая			0,60

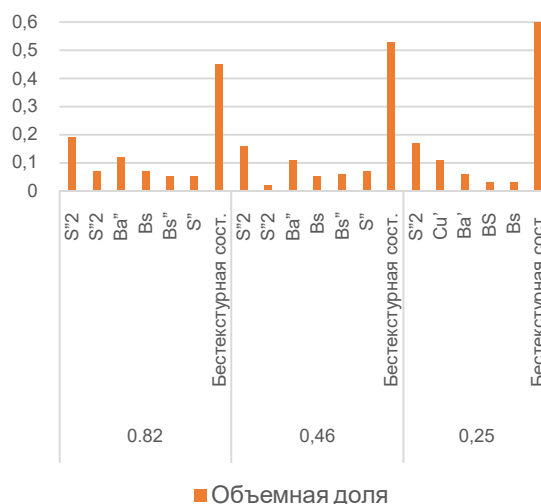


Рисунок 8 – Основные ориентировки и их объемные доли срединного слоя образца сплава 3005 после холодной прокатки и отжига

### ВЫВОДЫ

В работе рассмотрены образцы в холоднокатаном и отожженном состоянии перед испытанием на продольный изгиб. Такая термообработка повышает относительное удлинение и понижает прочностные свойства листа, что должно благоприятно сказаться на последующем продольном изгибе листа. Текстурные данные, приведенные выше, показывают, что отжиг холоднокатаного листа сплава 3005, в основном, рассеивает основные ориентировки текстуры деформации и, как следствие, повышает объемную долю бестекстурной составляющей в 1,7 раза по сравнению с холоднокатаным состоянием. Рассеяние текстуры, как правило, способствует повышению пластичности материала. Текстура, наряду с микроструктурой, выступает в качестве одного из индикаторов повышения пластичности листов сплава.

Отсутствие ориентировок текстуры рекристаллизации после отжига холоднокатаных листов сплава 3005 указывает на то, что предложенный режим отжига не достаточен для протекания рекристаллизации, возможно, из-за присутствия частиц вторичной фазы Al<sub>19</sub>Mn<sub>4</sub>, выявленной нами в этом сплаве ранее.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Li, Z. Microstructure, Elevated-Temperature Mechanical Properties and Creep Resistance of Dispersoid-Strengthened Al-Mn-mg 3xxx Alloys with Varying Mg and Si Contents / Z. Li, Z. Zhang, X. Chen // Materials Science and Engineering A. – 2017. – № 708. – С. 383–394.

2. Grechnikov, F. Bending Process Simulation of a Flat Workpiece with various Cross-Sectional Mechanical Properties with PAM-STAMP 2G / F. Grechnikov, Y. Gorshkov, Y. Erisov // Key Engineering Materials – 2016. – № 685. – С. 133–136.
3. Nosova, E. Multi-Cycle Rolled Aluminum Alloy 3103 Sandwiches / E. Nosova, Y. Erisov, F. Grechnikov // Mechanical Properties and Stamp Ability. – 2017. – № 129.
4. Peng, J.-F. Study on bending fretting fatigue damages of 7075 aluminum alloy / J.-F. Peng, J.-H. Liu, Z.-B. Cai // Tribology International. – 2013. – № 59. – С. 38–46.
5. Таубкин, М.Д. Цветные металлы и сплавы : справ. : в 2 т. / М.Д. Таубкин. – М. : Metallurgia, 1987. – 210 с.
6. Рогельберг, И.Л. Диаграммы рекристаллизации металлов и сплавов : справ. / И.Л. Рогельберг, Е.С. Шпичинецкий. – Москва : Metallurgizdat, 1950. – 280 с.
7. Aryshenskii, E. Investigation of Texture and Structure Evolution during Hot Rolling of 1070, 3104 and 8011 Aluminum Alloys in Continuous Mill / E. Aryshenskii, R. Kawalla, V. Aryshenskii, C. Schmidt // Metallurgia Italiana. – 2017. – Vol. 109. – № 3. – С. 11–21.
8. Weiss, M. Effect of Residual Stress on the Bending of Aluminium / M. Weiss // Journal of Materials Processing Technology. – 2012. – Vol. 212. – № 4. – С. 877–883.
9. Tribunskiy, A.V. Effect of manganese and magnesium content and conditions of annealing on mechanical properties and cracking formation during bending of aluminum alloy aa3005 / A.V. Tribunskiy, E.A. Nosova, V.Yu. Aryshenskiy // Solid State Phenomena. – 2018. – Т. 284. – SSP. – С. 476–482.
10. Бородкина, М.М. Рентгенографический анализ текстуры металлов и сплавов / М.М. Бородкина, Э.Н. Спектор. – Москва : Metallurgia, 1981.
11. Трибунский, А.В. Влияние толщины на штампуемость листовых алюминиевых сплавов : в кн. : Международная молодёжная научная конференция «XV Королёвские чтения» / А.В. Трибунский, Е.А. Носова. – 2019. – С. 138–139.

**Трибунский Александр Викторович**, аспирант Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева; e-mail: [tribunsky.alexander@mail.ru](mailto:tribunsky.alexander@mail.ru), тел.: 89171166367.

**Читнаева Екатерина Сергеевна**, магистр Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, e-mail: [echitnaeva72@gmail.com](mailto:echitnaeva72@gmail.com), тел.: 89277293272.

**Хисравов Акмал Шамбеевич**, магистр Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева; e-mail: [Khisravov.A.Sh@gmail.com](mailto:Khisravov.A.Sh@gmail.com), тел.: 89179402148.

**Вышкина Анна Сергеевна**, магистр Самарского национального исследовательского университета имени академика С.П. Королева, e-mail: [vyshkinaann@gmail.com](mailto:vyshkinaann@gmail.com), тел.: 89874346190.