

УДК 669.715-13; 539.5

С. В. Данилов**, *М. А. Зорина*, *Е. В. Лукьянова

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б. Н. Ельцина,
г. Екатеринбург

**s.v.danilov@bk.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *М. Л. Лобанов*

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ НА СТРУКТУРНО-ТЕКСТУРНОЕ СОСТОЯНИЕ ПЛИТЫ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 6061

Исследовано влияние скорости горячей прокатки на текстурно-структурное состояние алюминиевого сплава 6061. Уменьшение скорости прокатки позволяет избежать развития рекристаллизационных процессов за счет снижения конечной температуры деформации. Неоднородность текстурного состояния обусловлена различиями в напряженном состоянии по толщине подката. Текстура деформации центральных по толщине слоев состоит из компонент текстуры прокатки, а в поверхностных слоях наблюдаются компоненты текстуры сдвига. Текстура рекристаллизации более рассеянная, но по компонентному составу повторяет текстуру деформации с сохранением или ослаблением основных ориентировок.

Ключевые слова: алюминий, горячая прокатка, рекристаллизация, текстура, ориентационная микроскопия.

S. V. Danilov, M. A. Zorina, E. V. Luk'yanova

INFLUENCE OF HOT ROLLING TECHNOLOGICAL REGIMES ON TEXTURE AND STRUCTURE OF 6061 ALUMINIUM ALLOY PLATE

The effect of the hot rolling speed on textural and structural state of aluminum alloy 6061 was investigated. The final deformation temperature allows due the decrease of rolling speed avoiding development of recrystallization processes. Heterogeneity of texture state is provided by the differences in stress conditions for semifinished rolled plate. Deformation texture of the central layers consists of rolling texture, and compounds of shear texture are observed in surface layers. Recrystallization texture is more scattered, but component composition replicates deformation texture with saving or weakening main orientation.

Keywords: aluminium, hot rolling, recrystallization, texture, EBSD.

Существующие технологии по производству функциональных алюминиевых сплавов включают в себя стадию горячей деформации, в процессе которой, помимо изменения геометрических размеров, формируется определенная кристаллографическая текстура материала [1].

© Данилов С. В., Зорина М. А., Лукьянова Е. В., 2016

Сформировавшаяся текстура в материале при последующих обработках (отжигах, деформациях) через механизм наследственности [2, 3] оказывает существенное влияние на ориентационно-зависимые свойства готового изделия. Учет возникновения текстуры может оптимизировать существующие технологии или быть основой для создания новых. Вследствие этого возникает задача получения взаимоувязанной информации об эволюции структурно-текстурного состояния в процессе деформации.

Причина возникновения текстуры – это деформация в стесненных условиях вследствие скольжения дислокаций по системам, имеющим максимальный фактор Шмида [4]. Реальная схема деформации при прокатке является достаточно сложной. При холодной прокатке напряженное состояние упрощенно можно рассматривать как растяжение вдоль направления прокатки (НП) и сжатие по нормали (НН) к плоскости листа таким образом, что максимальные касательные напряжения лежат под углом 45° к НП [5]. Основные отличия горячей прокатки (ГП) от холодной заключаются в существенно большей толщине полосы и существенно большей величине трения между валками и поверхностью полосы. Вследствие этого в различных слоях полосы при ГП реализуются различные напряженные состояния.

Температура ГП выше температуры начала рекристаллизации, следовательно, на формирование текстуры должны оказывать влияние не только процессы деформации, но и процессы рекристаллизации.

В алюминиевых сплавах в зависимости от химического состава, температуры и геометрических условий прокатки могут образовываться различные типы текстуры, характерные для большинства металлов с ГЦК-решеткой [6].

Целью данной работы являлось исследование влияния технологических режимов горячей прокатки на структурно-текстурное состояние плиты алюминиевого сплава 6061.

Промышленную прокатку слябовых заготовок производили на стане кварто горячей прокатки валками диаметром 433 мм до конечной толщины 23,6 мм. Исходной заготовкой служил сляб из алюминиевого сплава 6061 толщиной 445 мм, шириной 1340 мм, длиной 1500 мм. Химический состав сплава, определенный методом атомно-эмиссионного анализа (мас.%): 0,62 Si; 1,0 Mg; 0,24 Fe; 0,19 Cu; 0,1 Mn; 0,06 Cr; до 0,14 Zn; 0,08 Ti [7].

ГП осуществлялась в двух режимах: I – при наименьших временных затратах, что обычно и применяется в производственном процессе для достижения наибольшей производительности, в этом случае температура прокатки изменялась от 460 до 423 °С при цикле прокатки 250 с; II – при пониженной скорости прокатки, в этом случае температура прокатки изменялась от 460 до 376 °С, цикл прокатки составил 312 с.

После ГП вырезали образцы из центральной по ширине области полосы для проведения металлографического анализа. Металлографические шлифы приготавливались с направления, поперечного направлению прокатки (ПН). По данным оптической металлографии отбирались образцы для проведения ориентационной микроскопии. Исследования микроструктуры и текстуры проводились на растровом электронном микроскопе ZEISS Cross Beam AURIGA с приставкой EBSD HKL Inca и системой анализа Oxford Instruments.

При анализе ориентировок в качестве лабораторной принята система координат, оси которой связаны с направлением ГП ($X \parallel \text{НП}$), нормалью к ее плоскости ($Y \parallel \text{НН}$) и перпендикулярным им направлением ($Z \parallel \text{ПН}$), которое совпадает с осью валков, так что все три направления образуют правую тройку векторов.

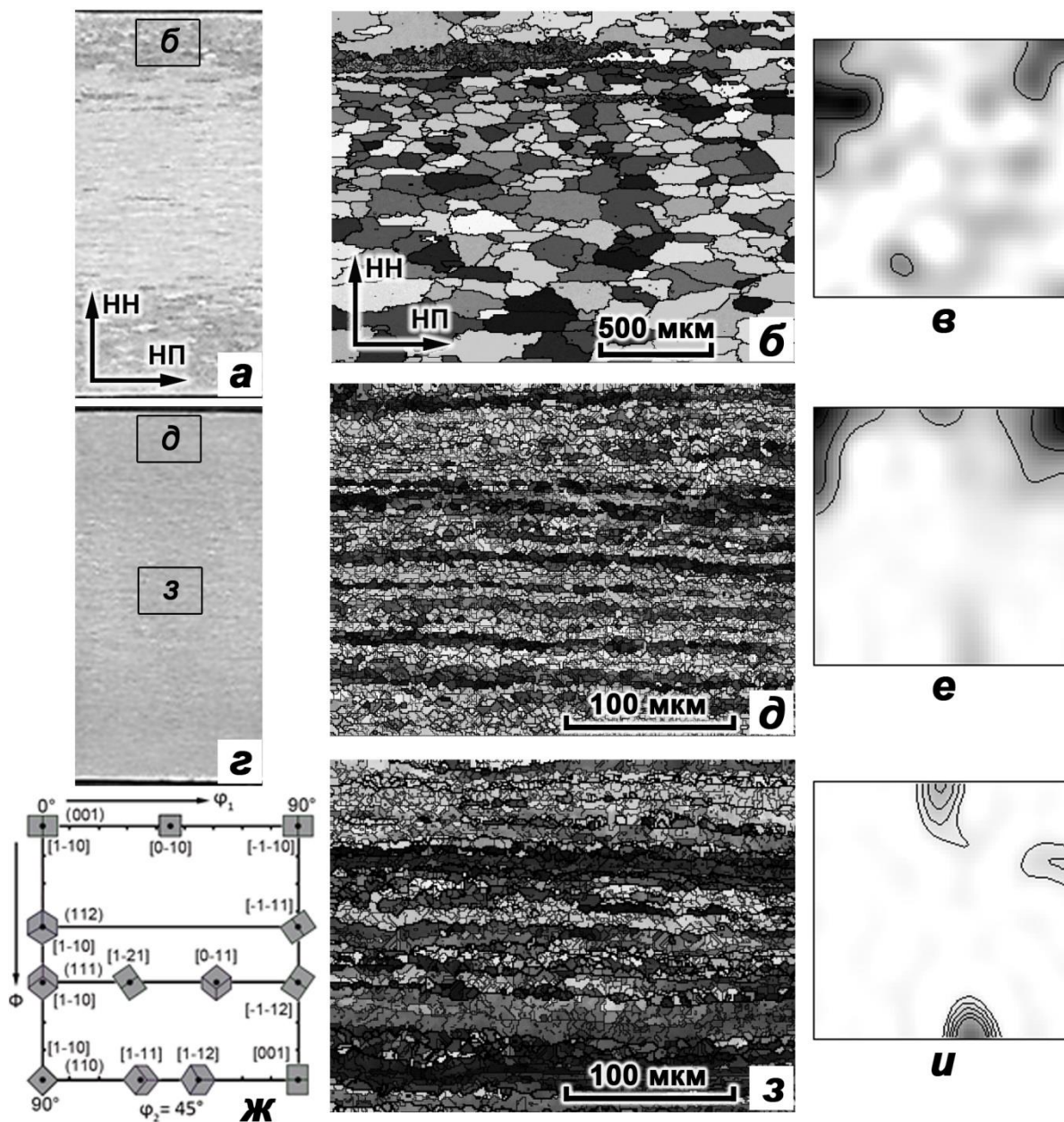
При использовании высоких скоростей ГП плиты алюминиевого сплава 6061 в поверхностных слоях материала (1/4 толщины) в процессе его охлаждения протекает рекристаллизация, существенно изменяющая однородность структуры по толщине (рисунок *a*). Уменьшение скорости прокатки за счет снижения конечной температуры деформации позволяет избежать развития рекристаллизационных процессов.

Текстура деформации центральной области горячекатаной плиты алюминиевого сплава (рисунок *з, и*) в основном может быть представлена совокупностью компонент: $\{110\}\langle 1-12 \rangle$, $\{112\}\langle -1-11 \rangle$, $\{001\}\langle 0-10 \rangle$, соответствующих стабильным ориентировкам текстуры прокатки материалов с ГЦК-решеткой [8].

Текстура деформации поверхностной области горячекатаной плиты алюминиевого сплава (рис. 1, *д, е*) в основном может быть представлена совокупностью компонент: $\{001\}\langle 110 \rangle$, $\{112\}\langle 1-10 \rangle$ (ориентировки текстуры сдвига); $\{110\}\langle 1-12 \rangle$, $\{-1-12\}\langle 111 \rangle$ (ориентировки текстуры прокатки) и $\{001\}\langle 0-10 \rangle$ [8].

Текстура рекристаллизации поверхностных слоев по компонентному составу повторяет текстуру деформации. Наблюдается увеличение рассеяния отдельных компонент при сохранении или ослаблении интенсивности остальных ориентировок.

Работа выполнена в рамках проектной темы Минобрнауки РФ (задание № 11.1465.2014/К) и гранта РФФИ (№ 16-32-00030 мол_а). Авторы выражают признательность за содействие программе поддержки ведущих университетов РФ в целях повышения их конкурентоспособности №211 Правительства РФ № 02.А03.21.0006.



Текстура и микроструктура алюминиевого сплава после горячей прокатки:
a, г – структура полной толщины проката; *б, д, з* – ориентационные карты, полученные методом EBSD центрального (*з*) и поверхностных (*б, д*) слоев подката; функции распределения ориентировок (ФРО) $\phi = 45^\circ$, соответствующие ориентационным картам (*б, д, з*); *ж* – сетка расшифровки ФРО для сечения $\phi = 45^\circ$ с нанесением основных ориентировок

ЛИТЕРАТУРА

1. Взаимосвязь кристаллографических ориентировок зерен при горячей деформации и рекристаллизации в алюминиевом сплаве АМг6 /

- Г. М. Русаков, А. Г. Илларионов, Ю. Н. Логинов [и др.] // МиТОМ. 2014. № 12. С. 15–21.
2. Специальные разориентации и текстурная наследственность в техническом сплаве Fe – 3 % Si / Г. М. Русаков, М. Л. Лобанов, А. А. Редикульцев [и др.] // ФММ. 2014. Т. 115, № 8. С. 827 – 838.
 3. Взаимосвязь ориентировок деформации и рекристаллизации при горячей прокатке электротехнической анизотропной стали / М. Л. Лобанов, А. А. Редикульцев, Г. М. Русаков [и др.] // МиТОМ. 2015. № 8. С. 44–49.
 4. Schmid E. Neuere Untersuchungen an Metallkristallen // Proceedings of the International Congress on Applied Mechanics. 1924. P 342–353.
 5. Вишняков Я. Д., Бабарэко А. А. Теория образования текстур в материалах и сплавах М. : Наука, 1979. 343 с.
 6. Wassermann G., Grewen J. Texturen metallischer Werkstoffe Berlin : Springer, 1962. P 808.
 7. Исследование влияния технологии производства плоского проката из сплава системы Al–Mg–Si на анизотропию свойств / Ю. Н. Логинов, М. А. Головнин, М. Л. Лобанов [и др.] // ОМД. 2016. № 3. С. 69–74.
 8. Hölscher M., Raabe D., Lücke K. Relationship Between Rolling Textures and Shear Textures in F.C.C. And B.C.C. Metals // Acta metall. 1994. Vol. 42, № 3. P. 879–886.