

УДК 669.715-13; 539.5

С. В. Данилов*, М. А. Головнин

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*

ПРИЧИНА АНИЗОТРОПИИ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛИТЫ ГОРЯЧЕКАТАНОГО АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 6061

Исследована анизотропия механических свойств горячекатаной плиты из сплава 6061 системы Al–Mg–Si после различных скоростных режимов прокатки. Прочностные свойства во всех случаях максимальны поперек направления прокатки и минимальны под углом 45°. Снижение скорости прокатки приводит к большему упрочнению. Анизотропия прочностных механических свойств горячекатаной алюминиевой плиты в основном определяется текстурой материала, показателем которой является усредненный по ориентировкам фактор Тейлора. Пластические свойства плиты оказались практически изотропными.

Ключевые слова: алюминий, горячая прокатка, механические свойства, ориентационная микроскопия, фактор Тейлора.

S. V. Danilov, M. A. Golovnin

THE REASON FOR MECHANICAL PROPERTIES ANISOTROPY OF HOT ROLLED 6061 ALUMINUM ALLOY PLATE

Anisotropy of mechanical properties of alloy 6061 Al–Mg–Si system plate was studied after various speed rolling regimes. Structural behavior of all cases is maximized across rolling direction and minimal at an angle of 45°. Reduction of rolling speed leads to high hardening. The anisotropy of strength mechanical properties of rolled aluminum plate is mainly determined by material texture, which is average value with orientation of Taylor factor. Plastic properties of the plate were almost isotopic.

Keywords: aluminium, hot rolling, mechanical properties, EBSD, Taylor factor.

Существующая технология производства плоского проката из алюминиевых сплавов основана на методе литья и последующей прокатки, осуществляемых в неоднородном поле действия напряжений, температур, разнообразных граничных условий, что приводит к формированию анизотропных свойств конечного продукта. К этому явлению привлекается все большее внимание исследователей, что обусловлено необходимостью

корректировки технологических процессов в зависимости от требований потребителей по соблюдению той или иной степени изотропности.

В работах [1–3] показано, что изделия из алюминиевых сплавов обладают определенным уровнем анизотропии, который может изменяться в зависимости от режимов термомеханической обработки. В статье [4] обращено внимание на то, что при горячей прокатке (ГП) алюминиевого сплава серии 3000 происходит накопление доли предпочтительных ориентировок по проходам прокатки, несмотря на наличие времени междеформационных пауз. В течение ГП металл постоянно подвержен практически одной и той же схеме деформации, что может приводить к нарастанию анизотропии свойств. Вследствие этого возникает задача получения взаимоувязанной информации о корреляции механических свойств с текстурным состоянием после процесса деформации.

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 [5, 6].

Целью данной работы являлось исследование анизотропии механических свойств горячекатаной плиты из алюминиевого сплава и ее корреляции с текстурным состоянием.

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.

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 отбирали образцы проката из центральной части полосы для определения стандартных характеристик, описывающих основные механические свойства материала: временное сопротивление σ_b , условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, относительное удлинение до разрыва δ . Образцы для механических испытаний вырезались цилиндрической формы, их геометрия соответствовала указанной в методологии стандарта ASTM B557. Были приняты три варианта вырезки образцов: вдоль НП, под углом 45° к НП и поперек ПН. Результаты измерения свойств серии образцов усредняли, для анализа применяли средние значения.

Электронно-микроскопическое исследование текстурного состояния образцов проводилось на растровом микроскопе ZEISS CrossBeam

AURIGA при ускоряющем напряжении 20 кВ. Для определения ориентировки отдельных зерен и анализа локальной текстуры использовалась приставка EBSD HKL Inca с системой анализа Oxford Instruments.

С помощью программного обеспечения системы анализа Oxford Instruments для одноосного напряженного состояния рассчитывались факторы Тейлора, представляющие собой кристаллографические характеристики относительной прочности материала [7]. Различие в факторах Тейлора показывает различие в сопротивлении кристаллографических ориентаций началу пластической деформации. Максимальные значения M для металлов с ГЦК кристаллической решеткой имеют аксиальные компоненты текстуры $\langle 110 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$ («жесткие» ориентировки), соответственно, $M_{\langle 110 \rangle} = M_{\langle 111 \rangle} = 3,67$. Минимальные – $\langle 100 \rangle$ («мягкая» ориентировка), $M_{\langle 100 \rangle} = 2,44$. Бестекстурному (изотропному) состоянию материала соответствует $M_{\text{изотроп.}} = 3,06$ [7]. Факторы Тейлора рассчитывались для всех идентифицированных на ориентационных картах ориентациях, а затем усреднялись с учетом «веса» ориентировок.

Полученные результаты механических испытаний подтвердили анизотропию свойств горячекатаных подкатов (таблица). Временное сопротивление σ_b и условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ максимальны в направлении ПН и минимальны под углом 45° к НП. В направлении НП свойства ниже (до 7 %) относительно направления ПН. Понижение скорости ГП приводит к большему упрочнению, но не уменьшает анизотропию.

Относительное удлинение до разрыва δ существенно не изменялось во всех направлениях (таблица), т. е. с позиции пластических свойств металл оказался практически изотропен.

Экспериментально полученные механические свойства и фактор Тейлора для горячекатаной плиты алюминиевого сплава

Режим	Временное сопротивление разрыву σ_b , МПа			Относительное удлинение до разрыва δ , %			Условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа			Фактор Тейлора, М		
	ПН	45°	НП	ПН	45°	НП	ПН	45°	НП	ПН	45°	НП
I	148	137	144	26	26	26	89	81	83	3,35	2,90	3,06
II	155	141	155	25	26	25	104	96	99	3,27	2,92	3,03

Современные методы ориентационной микроскопии, основанные на дифракции обратнорассеянных электронов (EBSD), позволяют рассчитывать фактор Тейлора (M) для одноосного напряженного

состояния. Полученные результаты фактора Тейлора (таблица) для образцов центральных слоев действительно подтверждают, что анизотропия прочностных механических свойств горячекатаной алюминиевой плиты в основном определяется текстурой материала, показателем которой является усредненный по ориентировкам фактор Тейлора.

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.

ЛИТЕРАТУРА

1. Текстура и анизотропия механических свойств титановых и алюминиевых сплавов / С. Я. Бецофен, В. Н. Мацнев, О. С. Костыкова [и др.] // Авиационная промышленность. 2004. № 4. С. 31–35.
2. Швечков Е. И. Анизотропия механических свойств и характеристик трещиностойкости листов из алюминиевых сплавов // Технология легких сплавов. 2015. № 3. С. 72–84.
3. Сопротивление деформации сплавов Al и Mg : Справочное пособие / С. П. Буркин, Н. А. Бабайлов, Б. В. Овсянников Екатеринбург 2010. 344 с.
4. Формирование текстуры деформации при горячей прокатке алюминиевых листов в многоклетьевых непрерывных станах / Е. В. Арышенский, Э. Д. Беглов, А. Ф. Гречникова [и др.] // Технология легких сплавов. 2015. № 4. С. 45–52.
5. Wassermann G., Grewen J. Texturen metallischer Werkstoffe Berlin : Springer, 1962. P. 808.
6. 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.
7. Григорьев А. К., Сильникова Е. Ф. Технология металлических материалов: учебное пособие Ленинград, 1981. 74 с.