

ISSN 1991-3494

ҚАЗАҚСТАН РЕСПУБЛИКАСЫ  
ҰЛТТЫҚ ҒЫЛЫМ АКАДЕМИЯСЫНЫҢ

# Х А Б А Р Ш Ы С Ы

---

---

## ВЕСТНИК

НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК  
РЕСПУБЛИКИ КАЗАХСТАН

## THE BULLETIN

OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

1944 ЖЫЛДАН ШЫҒА БАСТАҒАН  
ИЗДАЕТСЯ С 1944 ГОДА  
PUBLISHED SINCE 1944

3

---

---

АЛМАТЫ  
АЛМАТЫ  
ALMATY

2016

МАМЫР  
МАЙ  
MAY

Б а с р е д а к т о р

ҚР ҰҒА академигі

**М. Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Айтхожина Н.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байпақов К.М.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Байтулин И.О.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Берсімбаев Р.И.**; хим. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Газалиев А.М.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Дүйсенбеков З.Д.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Елешев Р.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Қалменов Т.Ш.**; фил. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА академигі **Нысанбаев А.Н.**; экон. ғ. докторы, проф., ҰҒА академигі **Сатубалдин С.С.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбжанов Х.М.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішев М.Е.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Әбішева З.С.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Абсадықов Б.Н.** (бас редактордың орынбасары); а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Баймұқанов Д.А.**; тарих ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Байтанаев Б.А.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Давлетов А.Е.**; физ.-мат. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Қалимолдаев М.Н.**; геогр. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Медеу А.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Мырхалықов Ж.У.**; биол. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Огарь Н.П.**; техн. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Таткеева Г.Г.**; а.-ш. ғ. докторы, проф., ҚР ҰҒА корр. мүшесі **Үмбетаев И.**

Р е д а к ц и я к е ñ е с і:

Ресей ҒА академигі **Велихов Е.П.** (Ресей); Әзірбайжан ҰҒА академигі **Гашимзаде Ф.** (Әзірбайжан); Украинаның ҰҒА академигі **Гончарук В.В.** (Украина); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Джрбашян Р.Т.** (Армения); Ресей ҒА академигі **Лаверов Н.П.** (Ресей); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Москаленко С.** (Молдова); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Рудик В.** (Молдова); Армения Республикасының ҰҒА академигі **Сагян А.С.** (Армения); Молдова Республикасының ҰҒА академигі **Тодераш И.** (Молдова); Тәжікстан Республикасының ҰҒА академигі **Якубова М.М.** (Тәжікстан); Молдова Республикасының ҰҒА корр. мүшесі **Лупашку Ф.** (Молдова); техн. ғ. докторы, профессор **Абиев Р.Ш.** (Ресей); техн. ғ. докторы, профессор **Аврамов К.В.** (Украина); мед. ғ. докторы, профессор **Юрген Аппель** (Германия); мед. ғ. докторы, профессор **Иозеф Банас** (Польша); техн. ғ. докторы, профессор **Гарабаджиу** (Ресей); доктор PhD, профессор **Ивахненко О.П.** (Ұлыбритания); хим. ғ. докторы, профессор **Изабелла Новак** (Польша); хим. ғ. докторы, профессор **Полещук О.Х.** (Ресей); хим. ғ. докторы, профессор **Поняев А.И.** (Ресей); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); техн. ғ. докторы, профессор **Хрипунов Г.С.** (Украина)

Главный редактор

академик НАН РК

**М. Ж. Журинов**

Редакционная коллегия:

доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Н.А. Айтхожина**; доктор ист. наук, проф., академик НАН РК **К.М. Байпаков**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **И.О. Байтулин**; доктор биол. наук, проф., академик НАН РК **Р.И. Берсимбаев**; доктор хим. наук, проф., академик НАН РК **А.М. Газалиев**; доктор с.-х. наук, проф., академик НАН РК **З.Д. Дюсенбеков**; доктор сельскохоз. наук, проф., академик НАН РК **Р.Е. Елешев**; доктор физ.-мат. наук, проф., академик НАН РК **Т.Ш. Кальменов**; доктор фил. наук, проф., академик НАН РК **А.Н. Нысанбаев**; доктор экон. наук, проф., академик НАН РК **С.С. Сатубалдин**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Х.М. Абжанов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Е. Абишев**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **З.С. Абишева**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.Н. Абсадыков** (заместитель главного редактора); доктор с.-х. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Д.А. Баймуканов**; доктор ист. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Б.А. Байтанаев**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А.Е. Давлетов**; доктор физ.-мат. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **М.Н. Калимолдаев**; доктор геогр. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **А. Медеу**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Ж.У. Мырхалыков**; доктор биол. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Н.П. Огарь**; доктор техн. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **Г.Г. Таткеева**; доктор сельскохоз. наук, проф., чл.-корр. НАН РК **И. Умбетаев**

Редакционный совет:

академик РАН **Е.П. Велихов** (Россия); академик НАН Азербайджанской Республики **Ф. Гашимзаде** (Азербайджан); академик НАН Украины **В.В. Гончарук** (Украина); академик НАН Республики Армения **Р.Т. Джрбашян** (Армения); академик РАН **Н.П. Лаверов** (Россия); академик НАН Республики Молдова **С. Москаленко** (Молдова); академик НАН Республики Молдова **В. Рудик** (Молдова); академик НАН Республики Армения **А.С. Сагиян** (Армения); академик НАН Республики Молдова **И. Тодераш** (Молдова); академик НАН Республики Таджикистан **М.М. Якубова** (Таджикистан); член-корреспондент НАН Республики Молдова **Ф. Лупашку** (Молдова); д.т.н., профессор **Р.Ш. Абиев** (Россия); д.т.н., профессор **К.В. Аврамов** (Украина); д.м.н., профессор **Юрген Аппель** (Германия); д.м.н., профессор **Иозеф Банас** (Польша); д.т.н., профессор **А.В. Гарабаджиу** (Россия); доктор PhD, профессор **О.П. Ивахненко** (Великобритания); д.х.н., профессор **Изабелла Новак** (Польша); д.х.н., профессор **О.Х. Полещук** (Россия); д.х.н., профессор **А.И. Поняев** (Россия); профессор **Мохд Хасан Селамат** (Малайзия); д.т.н., профессор **Г.С. Хрипунов** (Украина)

«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан». ISSN 1991-3494

Собственник: РОО «Национальная академия наук Республики Казахстан» (г. Алматы)

Свидетельство о постановке на учет периодического печатного издания в Комитете информации и архивов Министерства культуры и информации Республики Казахстан №5551-Ж, выданное 01.06.2006 г.

Периодичность: 6 раз в год

Тираж: 2000 экземпляров

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Шевченко, 28, ком. 219, 220, тел. 272-13-19, 272-13-18.

www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

---

© Национальная академия наук Республики Казахстан, 2016

Адрес типографии: ИП «Аруна», г. Алматы, ул. Муратбаева, 75

Editor in chief

**M. Zh. Zhurinov**,  
academician of NAS RK

Editorial board:

**N.A. Aitkhozhina**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **K.M. Baipakov**, dr. hist. sc., prof., academician of NAS RK; **I.O. Baitulin**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **R.I. Bersimbayev**, dr. biol. sc., prof., academician of NAS RK; **A.M. Gazaliyev**, dr. chem. sc., prof., academician of NAS RK; **Z.D. Dyusenbekov**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **R.Ye. Yeleshev**, dr. agr. sc., prof., academician of NAS RK; **T.Sh. Kalmenov**, dr. phys. math. sc., prof., academician of NAS RK; **A.N. Nysanbayev**, dr. phil. sc., prof., academician of NAS RK; **S.S. Satubaldin**, dr. econ. sc., prof., academician of NAS RK; **Kh.M. Abzhanov**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.Ye. Abishev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Z.S. Abisheva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.N. Absadykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK (deputy editor); **D.A. Baimukanov**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **B.A. Baytanayev**, dr. hist. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A.Ye. Davletov**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **M.N. Kalimoldayev**, dr. phys. math. sc., prof., corr. member of NAS RK; **A. Medeu**, dr. geogr. sc., prof., corr. member of NAS RK; **Zh.U. Myrkhalykov**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **N.P. Ogar**, dr. biol. sc., prof., corr. member of NAS RK; **G.G. Tatkeeva**, dr. eng. sc., prof., corr. member of NAS RK; **I. Umbetayev**, dr. agr. sc., prof., corr. member of NAS RK

Editorial staff:

**E.P. Velikhov**, RAS academician (Russia); **F. Gashimzade**, NAS Azerbaijan academician (Azerbaijan); **V.V. Goncharuk**, NAS Ukraine academician (Ukraine); **R.T. Dzhrbashian**, NAS Armenia academician (Armenia); **N.P. Laverov**, RAS academician (Russia); **S.Moskalenko**, NAS Moldova academician (Moldova); **V. Rudic**, NAS Moldova academician (Moldova); **A.S. Sagiyan**, NAS Armenia academician (Armenia); **I. Toderas**, NAS Moldova academician (Moldova); **M. Yakubova**, NAS Tajikistan academician (Tajikistan); **F. Lupaşcu**, NAS Moldova corr. member (Moldova); **R.Sh. Abiyev**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **K.V. Avramov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine); **Jürgen Appel**, dr.med.sc., prof. (Germany); **Joseph Banas**, dr.med.sc., prof. (Poland); **A.V. Garabadzhiu**, dr.eng.sc., prof. (Russia); **O.P. Ivakhnenko**, PhD, prof. (UK); **Isabella Nowak**, dr.chem.sc., prof. (Poland); **O.Kh. Poleshchuk**, chem.sc., prof. (Russia); **A.I. Ponyaev**, dr.chem.sc., prof. (Russia); **Mohd Hassan Selamat**, prof. (Malaysia); **G.S. Khripunov**, dr.eng.sc., prof. (Ukraine)

**Bulletin of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.**

**ISSN 1991-3494**

Owner: RPA "National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan" (Almaty)

The certificate of registration of a periodic printed publication in the Committee of Information and Archives of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan N 5551-Ж, issued 01.06.2006

Periodicity: 6 times a year

Circulation: 2000 copies

Editorial address: 28, Shevchenko str., of. 219, 220, Almaty, 050010, tel. 272-13-19, 272-13-18,

<http://nauka-nanrk.kz/>, <http://bulletin-science.kz>

---

© National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, 2016

Address of printing house: ST "Aruna", 75, Muratbayev str, Almaty

## ASSESSMENT OF STRUCTURAL CHANGES OF ROLLED STRIP OF 6060 ALUMINUM ALLOY USING PHYSICAL MODELING TECHNOLOGY OF HOT ROLLED SHEET ON A CONTINUOUS LONGITUDINAL WEDGE MILL

S. A. Mashekov<sup>1</sup>, B. N. Absadykov<sup>2</sup>, M. M. Akimbekova<sup>1</sup>, A. S. Mashekova<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpaev, Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Kazakh-British Technical University, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: b\_absadykov@mail.ru akimbekova\_2011@mail.ru

**Keywords:** flexibility, compression, resistance to deformation, hardening, softening, recrystallization.

**Abstract.** With the help of the Gleeble3500 modern high-precision installation there were carried out researches on patterns of changes in 6060 aluminum alloy structure and hardness. These regularities are investigated by physical modeling of rolling strips on the longitudinal wedge mill with different processing modes. With a unified position it is described the changes in the structure of 6060 aluminum alloy with a multi-stage compression at different temperatures and strain rates. It is found that the rolling of aluminum alloy at low temperatures will result in a coarse grain structure in the structure and, conversely, rolling at high temperatures contributes to a fine grain structure in the metal.

## ОЦЕНКА СТРУКТУРНЫХ ИЗМЕНЕНИЙ ПРОКАТАННЫХ ПОЛОС ИЗ АЛЮМИНИЕВОГО СПЛАВА 6060 С ПОМОЩЬЮ ФИЗИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ЛИСТОВ НА НЕПРЕРЫВНОМ ПРОДОЛЬНО-КЛИНОВОМ СТАНЕ

С. А. Машеков<sup>1</sup>, Б. Н. Абсадыков<sup>2</sup>, М. М. Акимбекова<sup>1</sup>, А. С. Машекова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан,

<sup>2</sup>Казахстанско-Британский технический университет, Алматы, Казахстан

**Ключевые слова:** пластичность, сжатие, сопротивление деформации, упрочнение, разупрочнение, рекристаллизация.

**Аннотация.** С помощью современной высокоточной установки Gleeble3500 были произведены исследования закономерности изменения структуры и твердости алюминиевого сплава 6060. Данные закономерности исследованы путем физического моделирования прокатки полос на продольно-клиновом стане с различными режимами обработки. С единой позиции описано изменение структуры алюминиевого сплава 6060 при многоступенчатом обжатии при различных температурах и скоростях деформирования. Установлено, что прокатка алюминиевого сплава при низких температурах приведет к формированию в структуре крупнозернистой структуры и, наоборот, прокатка при высоких температурах способствует формированию в металле мелкозернистой структуры.

**Введение.** Поведение материала при горячей деформации характеризуется проходящими во время деформации процессами упрочнения, динамического разупрочнения и статического разупрочнения во время пауз между различными стадиями деформации и после окончания деформации [1–3].

Динамическое упрочнение и разупрочнение можно в первом приближении охарактеризовать кривыми деформации. Статическое разупрочнение в промежутках между деформациями можно исследовать многоступенчатыми кривыми деформации, опытами по релаксации напряжения, измерением механических свойств, таких как твердость, прочность, удлинение, поперечное сужение, а также металлографическими, рентгенографическими и электронно-микроскопическими методами [1-6]. Механические свойства изделий находятся в прямой связи с протекающими во время деформации процессами упрочнения и разупрочнения.

Знание кинетики этих процессов является важной основой для расчета необходимых деформирующих усилий, работы и энергии, для выбора мощности деформирующего оборудования и прогнозирования необходимой микроструктуры и свойств материала [2, 3].

Целенаправленное использование этих процессов дает возможность оптимизировать технологии прокатки,ковки,штамповки,вальцовки,иизготавливатьконечныйпродуктсопределенными механическими свойствами без последующей термообработки [6, 7].

Для моделирования процесса деформации, такого, как прокатка,ковкаилиштамповка,необходимо исследовать и охарактеризовать поведение материала в условиях обработки [8, 9]. Для этого нужны измерения сопротивления деформации в зависимости от величины деформации, от скорости и температуры для интервала изменения этих параметров, характерного для процесса прокатки,ковкииштамповки. Полученные на основе таких данных уравнения сопротивления деформации можно использовать для определения оптимальной деформации, скорости деформации, температуры и истории изменения деформации для любой точки деформируемой заготовки, обеспечив достижение необходимой микроструктуры и свойств материала, а также их градиентов в конечном продукте.

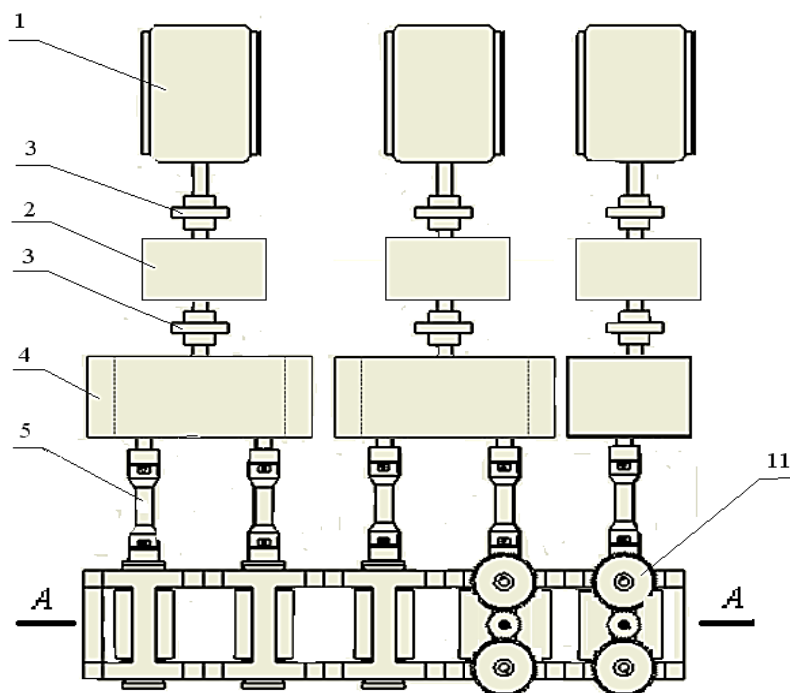
Следует отметить, что микроструктура горячекатаных тонких полос, произведенных на известных станах, часто характеризуется значительной разнородностью (крупное зерно на поверхности), что приводит при использовании такого металла для холодной штамповки к образованию различных дефектов [10]. Основной причиной разнородности тонких полос является неправильное назначение температурно-деформационных режимов прокатки и охлаждения.

Поскольку станы горячей прокатки существенно различаются между собой по конструкции (по количеству и расположению клетей, моталок, длине промежуточных и отводящих рольгангов, мощности главных приводов и др.), технология производства на них листовой продукции отличается. Технологические решения, эффективные для одного стана, часто оказываются неприемлемыми для другого [11]. Поэтому исследование влияния температурных режимов прокатки на качество горячекатаного проката, прокатанного на новом стане, имеет большое значение.

**Цель работы:** путем физического моделирования прокатки на новом продольно-клиновом стане определить рациональные режимы технологического процесса прокатки, способствующие получению полос из алюминиевых сплавов высокого качества.

**Оборудование, материалы и методика исследования.** С целью прокатки качественных листов из алюминиевых сплавов нами предлагается новый непрерывный продольно-клиновой стан (ПКС) [12], содержащий рабочие клетки, электродвигатели 1, редукторы 2, муфты 3, шестеренные клетки 4, универсальные шпиндели 5, рабочие 6 и опорные 7 валки, станину 9, опорную плиту 10, нажимные механизмы 11 (рисунок 1).

В данном стане в последовательно расположенных рабочих клетях диаметры рабочих валков уменьшаются в направлении прокатки, при этом горизонтальные оси верхних и нижних валков первых трех клетей без нажимного механизма смещаются от оси прокатки в вертикальном направлении.



Вид А-А

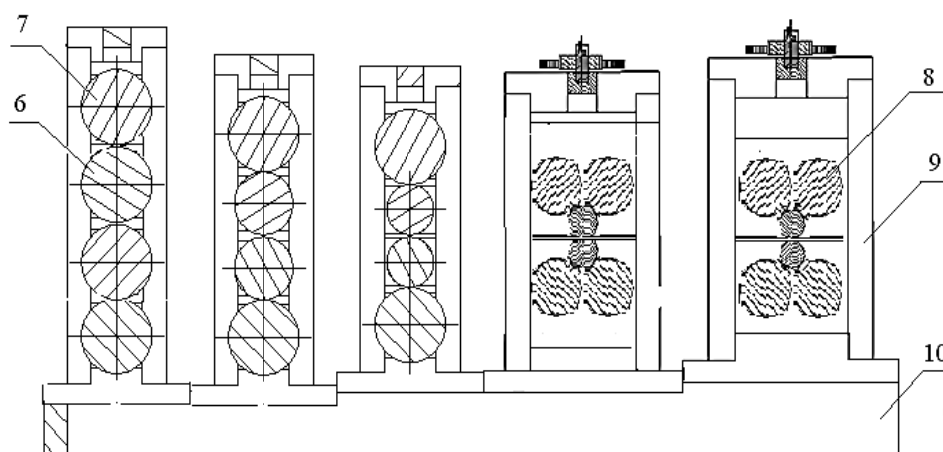


Рисунок 1 – Продольно-клиновой стан

В приводе, осуществляемом от трех двигателей 1, редукторов 2, муфт 3, шестеренных клеток 4 и шпинделей 5, вращение валков рабочих клеток производится через две шестивалковые и одну двухвалковую шестеренные клетки, при этом первые три клетки стана изготовлены с двумя опорными валками 7, а последние две клетки – с четырьмя опорными валками 8 диаметром

$$D_4 = \frac{h_3 \cdot R_3 \cdot n_3 (1 + s_3)}{h_4 \cdot n_4 (1 + s_4)}; \quad D_5 = \frac{h_4 \cdot D_4 \cdot n_4 (1 + s_4)}{h_5 \cdot n_5 (1 + s_5)},$$

где  $h_3$ ,  $h_4$  и  $h_5$  – толщина прокатываемой полосы в 3, 4 и 5 клетки;  $n_3$ ,  $n_4$  и  $n_5$  – частота вращения валков 3, 4 и 5 клетки;  $s_3$ ,  $s_4$  и  $s_5$  – опережение на выходе из валков 3, 4 и 5 клетки.

Необходимо отметить, что при разработке конструкции клеток стана с рабочими валками малого диаметра удалось создать две клетки, имеющие высокую жесткость при более простой валковой системе. В данных клетях для предотвращения прогиба рабочих валков малого диаметра в горизонтальной плоскости использованы расположенные с 2-х сторон опорные ролики. Приводными являются опорные валки.

При прокатке в данном стане тонких полос из титановых сплавов через последовательно расположенные в направлении прокатки клетки, у которых расстояние между рабочими валками от одной клетки к другой увеличивается на величину опережения в данной клетки, происходит уменьшение высоты и достижение требуемой толщины полосы.

Из алюминиевого сплава 6060 (Si – 0,3-0,6; Fe – 0,1-0,3; Cu – 0,1; Mn – 0,1; Mg – 0,35-0,6; Cr – 0,05; Zn – 0,15; Ti – 0,10) были изготовлены прямоугольные в поперечном сечении образцы размером  $20 \pm 0,1$  мм  $\times$   $15 \pm 0,1$  мм  $\times$   $10 \pm 0,1$  мм.

В целях установления влияния степени деформации, температуры и скорости нового продольно-клинового стана на структуру алюминиевого сплава, образцы вышеприведенных размеров испытывались сжатием на испытательном комплексе Gleeble-3800. Полная характеристика данного комплекса представлена на сайтах [www.gleeble.com](http://www.gleeble.com) и <http://tmslab.spbstu.ru>.

В процессе исследования образцы нагревались в контейнере установки Gleeble-3500 до  $450$  °C и выдерживались при данной температуре 30 мин. Такой нагрев обеспечил получение крупнозернистой структуры металла образца. Нагретые образцы охлаждались и испытывались в диапазоне температур  $250 \div 450$  °C с шагом нагрева  $50$  °C. При проведении эксперимента варьировались режимы обжатия (таблица 1). При этом с соблюдением основного закона прокатки, т.е. постоянства секундных объемов, определялись междеформационные паузы, получаемые при прокатке в пятиклетевом продольно-клиновом стане. После испытания из деформированных образцов вырезались образцы для структурного исследования.

Таблица 1 – План эксперимента физического моделирования

№ вар.	$\varepsilon_1, \%$	$t_1, \text{с}$	$\varepsilon_2, \%$	$t_2, \text{с}$	$\varepsilon_3, \%$	$t_3, \text{с}$	$\varepsilon_4, \%$	$t_4, \text{с}$	$\varepsilon_5, \%$
Температура испытания – $450$ °C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	3	20	3	20	3	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12
Температура испытания – $400$ °C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	4	20	3	20	2,4	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12
Температура испытания – $350$ °C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	4	20	3	20	2,4	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12
Температура испытания – $300$ °C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	4	20	3	20	2,4	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12
Температура испытания – $250$ °C									
1	25	4	20	3	17	2,4	15	1,8	12
2	20	4	20	3	20	2,4	15	2	15
3	30	3	22	2,6	18	2,2	11	1,9	9
4	23	4	23	3	17	2,4	15	2	12

*Примечание:*  $\varepsilon_1$  - единичное обжатие в первой клетки;  $t_1$  - междеформационная пауза после первой клетки;  $\varepsilon_2$  - единичное обжатие во второй клетки;  $t_2$  - междеформационная пауза после второй клетки;  $\varepsilon_3$  - единичное обжатие в третьей клетки;  $t_3$  - междеформационная пауза после третьей клетки;  $\varepsilon_4$  - единичное обжатие в четвертой клетки;  $t_4$  - междеформационная пауза после четвертой клетки;  $\varepsilon_5$  - единичное обжатие в пятой клетки.



Шлифы для металлографического исследования готовились по традиционной методике, на шлифовальных и полировочных кругах. Для травления образцов был использован раствор азотной кислоты в этиловом спирте.

Металлографический анализ проводился с использованием универсального микроскопа Neophot 32 (Karl Zeiss, Jena) (Германия). Данный микроскоп предназначен для металлографической микроскопии и создания фотоснимков. Наблюдение может производиться методом светлого и темного полей, в поляризованном свете, с изменением кратностей увеличения. Увеличение микроскопа, крат: от 10 до 2000. Микроскоп оснащен цифровым зеркальным фотоаппаратом Olympus с выводом полученного изображения и сохранения снимков на компьютере.

На деформированных образцах измерялась микротвердость на приборе ПМТ-3 при нагрузке 50 г (0,49 Н).

### Результаты и их обсуждение

С использованием вышеизложенной методики проведено исследование влияния температуры, обжатия, скорости деформирования и междеформационной паузы на микроструктуру алюминиевого сплава 6060.

В исходном состоянии заготовка алюминиевого сплава 6060 имела неоднородную микроструктуру, которая состояла из крупных нерекристаллизованных зерен со средним размером ~431 мкм в высотном и ~468 мкм в поперечном направлениях, а также расположенных по их границам мелких зерен размером ~53-58 мкм.

Металлографические исследования деформированных образцов показали, что структура образцов, деформированных при температурах 250 и 300 °С, не рекристаллизованная; при этом величина средних размеров зерна образцов изменяется от 431 до 10–35 мкм в высотном направлении и от 468 до 1270–1320 мкм в радиальном направлении. При этом с увеличением обжатия в последних клетях стана размер зерна уменьшается (рисунки 2,б и 3,б).

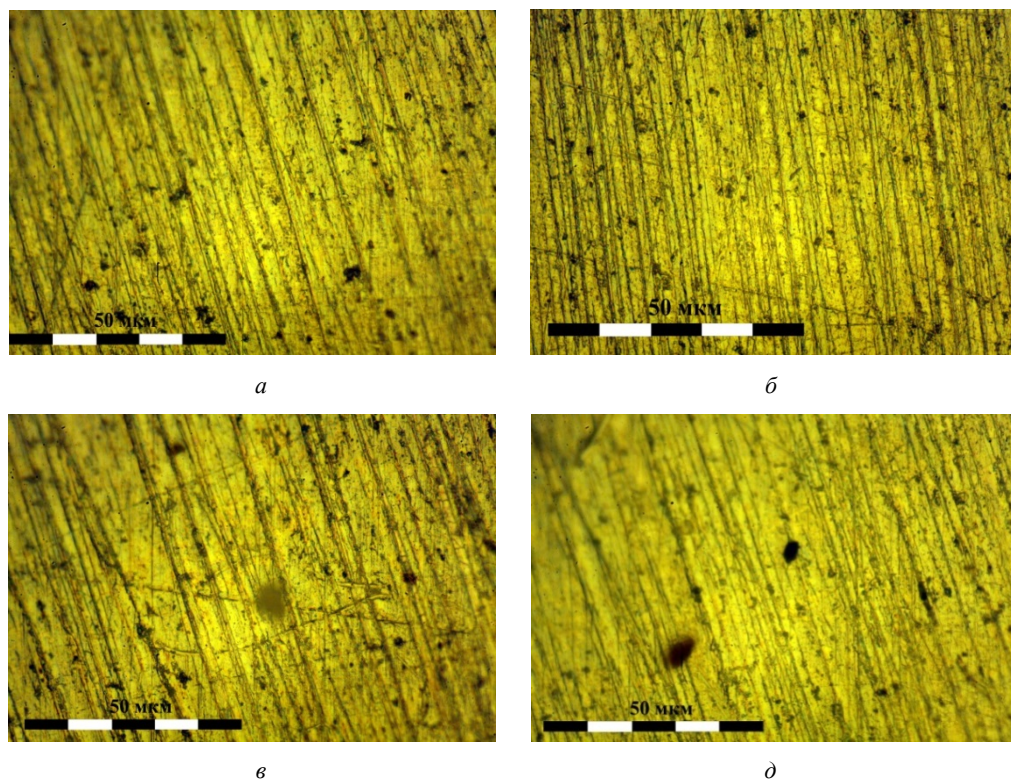


Рисунок 2 – Микроструктура алюминиевого сплава 6060 при прокатке с различными единичными обжатиями и междеформационными паузами, температура прокатки 250 °С: а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; д – вариант 4

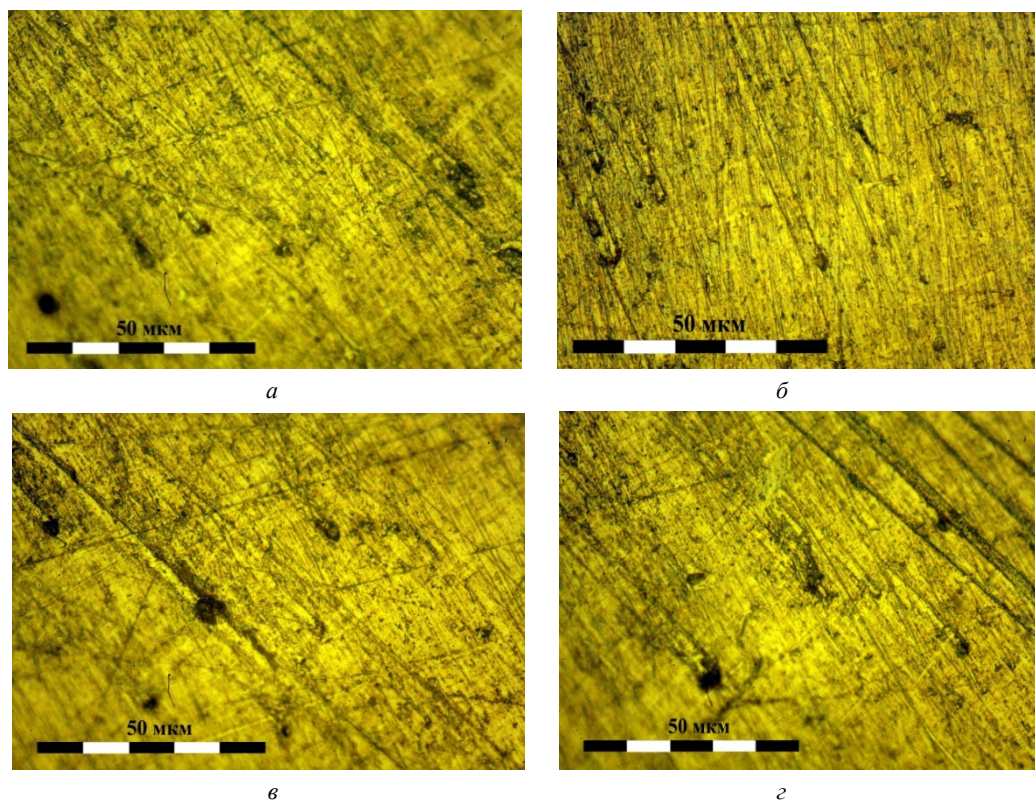


Рисунок 3 – Микроструктура алюминиевого сплава 6060 при прокатке с различными единичными обжатиями и междеформационными паузами, температура прокатки 300 °С: а – вариант 1; б – вариант 2; в – вариант 3; з – вариант 4

Таким образом, исследование структурного состояния алюминиевого сплава 6060 после прокатки в продольно-клиновом стане при температурах 250 и 300 °С показало, что в сечении, перпендикулярном плоскости прокатки, формируется микрополосовое структурное состояние (рисунки 2 и 3). При этом повышается плотность внутризеренных дислокаций, образуются полосы сдвига шириной до 12–35 мкм. Деформация в виде полос сдвига происходит преимущественно внутри больших зерен. Наиболее вероятные значения ширины микрополос с большеугловыми границами лежат в пределах от 12 до 32 мкм при максимальных значениях этой величины ~42 мкм. Ширина микрополос с малоугловыми границами может меняться от 12 до 18 мкм при наиболее вероятных значениях около 14 мкм.

Структура металла образцов, деформированных при температурах 300, 400 и 450°С, – рекристаллизованная. Связано это с тем, что в результате горячей деформации режимами продольно-клинового стана, размер зерен в высотном направлении уменьшается от 55 до 92 мкм, а в радиальном направлении изменяется от 45 до 84 мкм (рисунки 4–6).

Необходимо особое внимание обратить на то, что самая мелкозернистая структура была получена у металла образцов, деформированных при температуре 450°С. При деформировании образцов такими температурно-деформационными режимами получается мелкозернистая структура металла, т.е. размеры зерен в высотном и радиальном направлениях образца изменились в интервале от 55 до 72 мкм и от 45 до 68 мкм, соответственно (рисунок 6).

Таким образом, деформирование заготовок при температурах 300, 400 и 450°С привело к формированию в высотном и поперечном сечениях заготовки однородной и равноосной структуры (рисунки 4–6). При этом видно, что увеличение температуры и обжатия в последних клетях нового стана приводит к дальнейшему измельчению зеренно-субзеренной структуры. В результате прохождения разупрочняющих процессов в металле заготовки формируется полигонизованная или рекристаллизационная структура по всему объему прокатываемых полос с средним размером зерен около 48–92 мкм. В приграничных областях зерен образуются большеугловые границы. Плотность дислокаций очень высокая и по изображениям структуры подсчитать ее величину не представилось возможным.

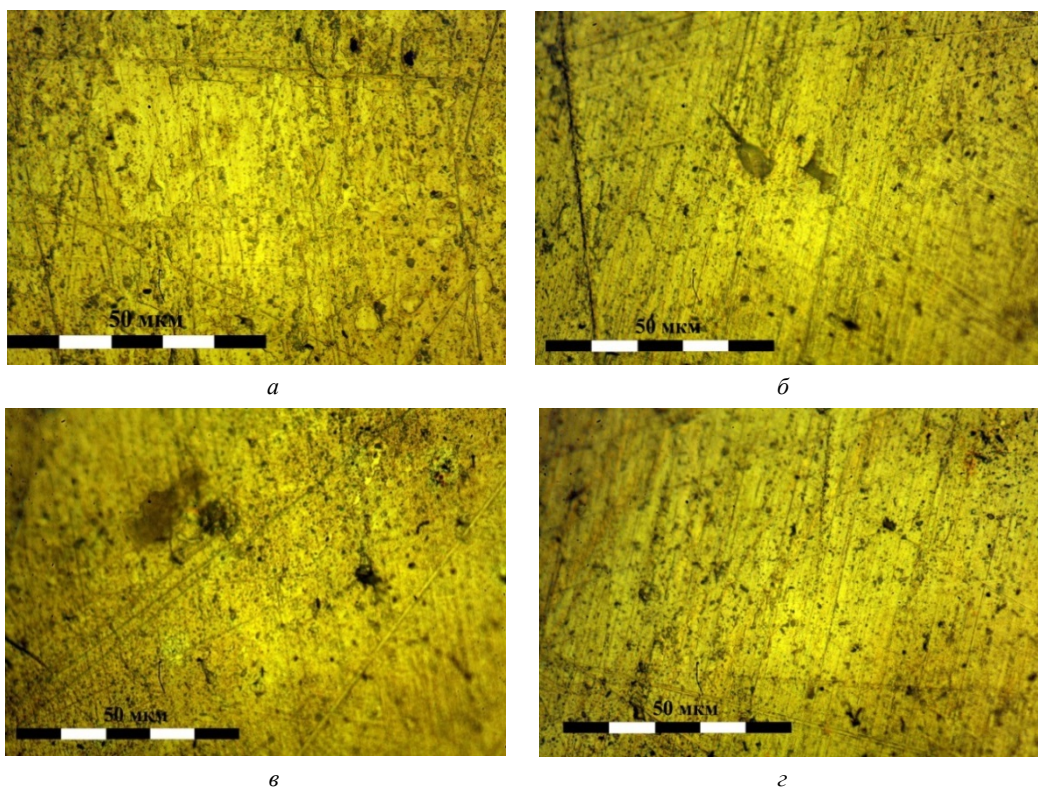


Рисунок 4 – Микроструктура алюминиевого сплава 6060 при прокатке с различными единичными обжатиями и междеформационными паузами, температура прокатки 350 °С: *а* – вариант 1; *б* – вариант 2; *в* – вариант 3; *г* – вариант 4

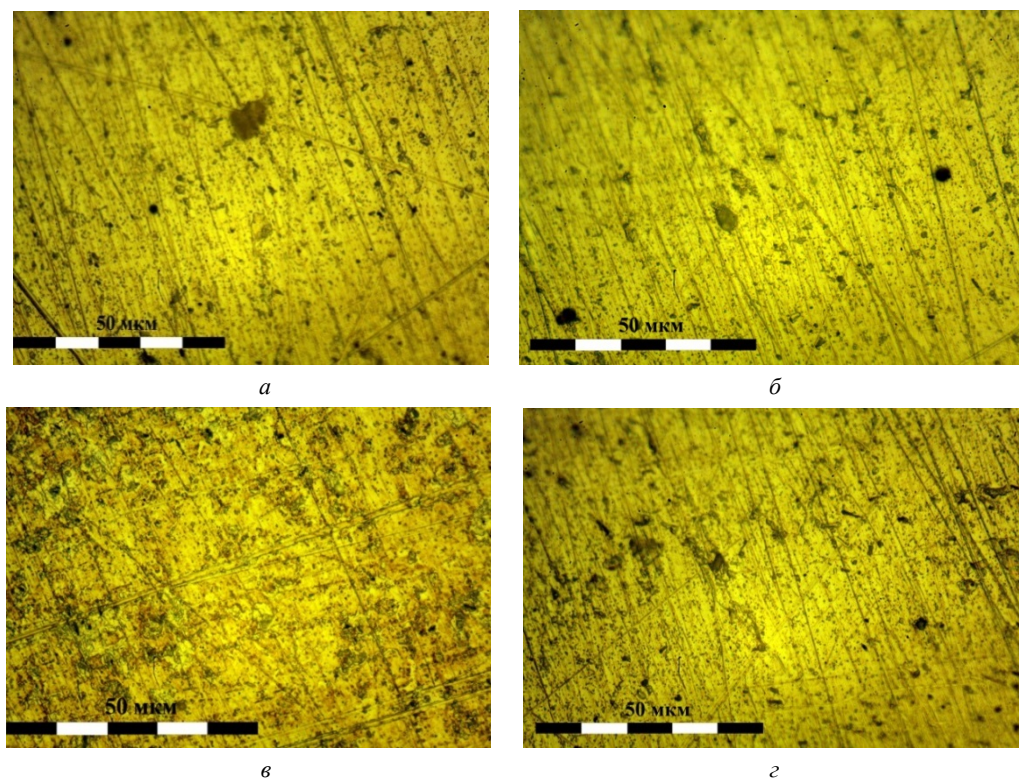


Рисунок 5 – Микроструктура алюминиевого сплава 6060 при прокатке с различными единичными обжатиями и междеформационными паузами, температура прокатки 400 °С: *а* – вариант 1; *б* – вариант 2; *в* – вариант 3; *г* – вариант 4

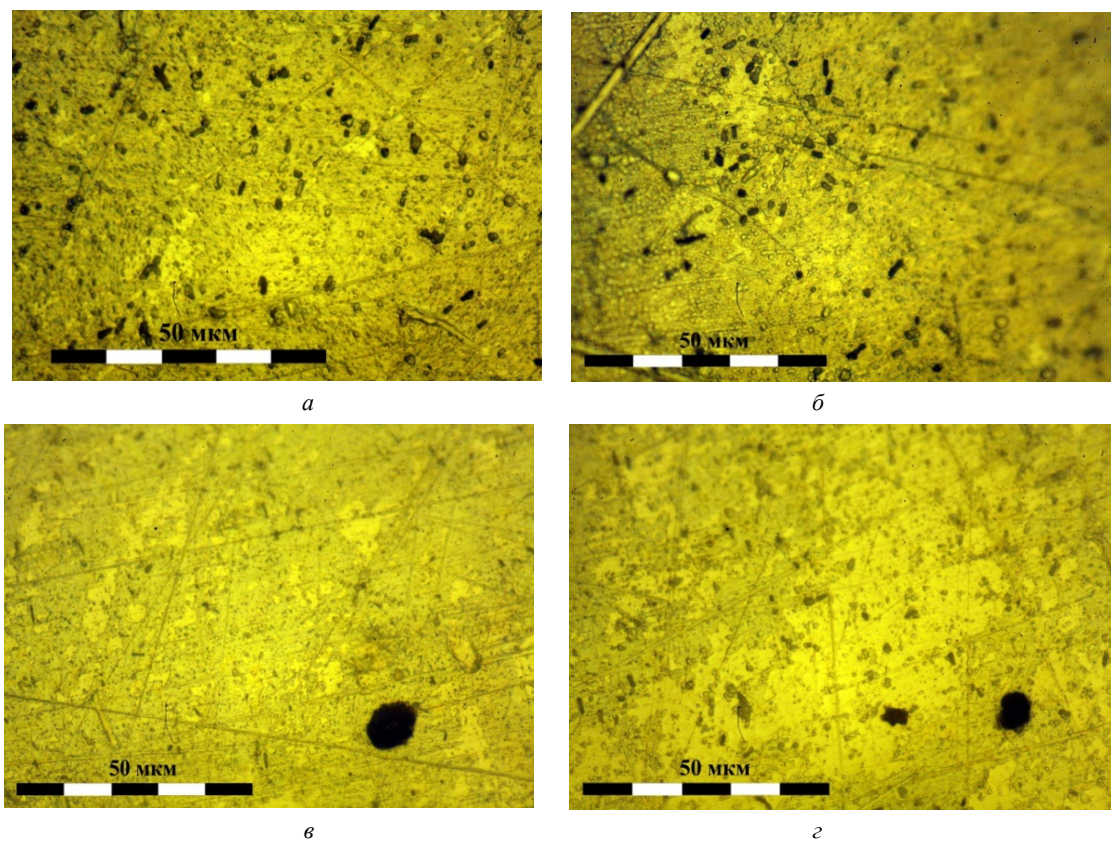


Рисунок 6 – Микроструктура алюминиевого сплава 6060 при прокатке с различными единичными обжатиями и междеформационными паузами, температура прокатки 450 °С: *а* – вариант 1; *б* – вариант 2; *в* – вариант 3; *г* – вариант 4

Вышеотмеченное формирование структур можно объяснить тем, что деформирование при низких температурах заготовок из алюминиевых сплавов приводит к значительному упрочнению структуры сплавов. Это способствует формированию в данных сплавах нерекристаллизованной полосовой структуры. Прокатка алюминиевых сплавов при высоких температурах приводит к недостаточно интенсивному накоплению внутренней энергии в структуре сплава. При этом только при сравнительно больших значениях степеней деформации внутренняя энергия структуры металла достигает величины, необходимой для полного протекания процессов рекристаллизации. Все это способствует формированию мелкозернистой структуры в алюминиевых сплавах.

Исследование микротвердости алюминиевого сплава 6060 (рисунок 7) показало, что горячая деформация при разных температурах приводит к изменению микротвердости исследуемого

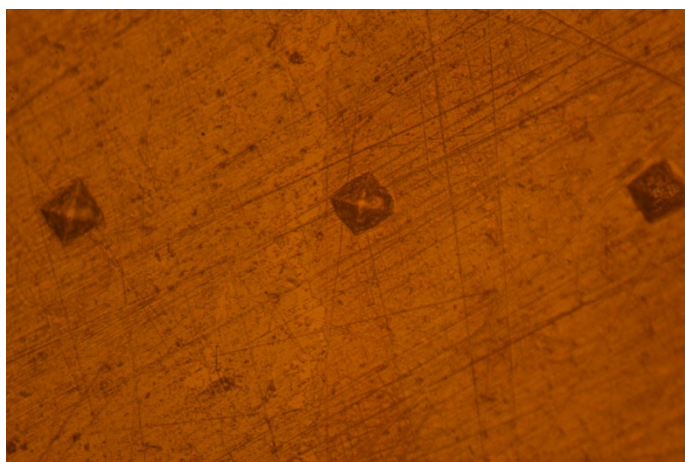


Рисунок 7 – Микроструктура алюминиевого сплава 6060

сплава. При повышении температуры деформации уменьшается величина микротвердости (таблицы 1–6), что связано с прохождением разупрочняющих процессов в алюминиевых сплавах. Увеличение степени деформации в последних клетях приводит к увеличению значений микротвердости в результате вытягивания размеров зерен в продольном направлении заготовки.

Таблица 2 – Микротвердость алюминиевого сплава 6060, прокатанного на ПКС при температуре 250 °С

№ варианта	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>ср</sub>	d, мкм	H <sub>μ</sub> , МПа
1	104	102	103	30,9	951,45
	105	102	103,5	31,05	942,28
	103	105	104	31,2	933,24
2	100	102	101	30,3	989,51
	102	101	101,5	30,45	979,78
	101	103	102	30,6	970,20
3	104	106	105	31,5	915,55
	105	104	104,5	31,35	918,09
	105	106	105,5	31,65	906,90
10	102	103	102,5	30,75	960,76
	105	102	103,5	31,05	942,28
	103	105	104	31,2	933,24

Таблица 3 – Микротвердость алюминиевого сплава 6060, прокатанного на ПКС при температуре 300 °С

№ варианта	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>ср</sub>	d, мкм	H <sub>μ</sub> , МПа
1	119	117	118	35,4	724,93
	116	118	117	35,1	737,38
	117	119	118	35,4	724,93
2	116	114	115	34,5	763,25
	117	115	116	34,8	750,14
	118	115	116,5	34,95	743,72
3	119	120	119,5	35,5	706,85
	120	117	118,5	35,55	718,83
	120	122	121	36,3	689,43
4	120	118	119	35,7	712,80
	117	119	118	35,4	724,93
	120	118	118	35,5	721,53

Таблица 4 – Микротвердость алюминиевого сплава 6060, прокатанного на ПКС при температуре 350 °С

№ варианта	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>ср</sub>	d, мкм	H <sub>μ</sub> , МПа
1	120	120	120	36	700,97
	118	117	117,5	35,25	731,12
	118	119	117,5	35,2	721,22
2	116	120	118	35,4	724,93
	116	116	116	34,8	750,14
	118	119	117	35,1	737,38
3	119	120	119,5	35,85	706,85
	120	121	120,5	36,15	695,16
	119	119	119	35,7	712,80
4	120	117	118,5	35,55	718,83
	118	120	119	35,7	712,80
	119	121	118,5	35,3	724,32

Таблица 5 – Микротвердость алюминиевого сплава 6060, прокатанного на ПКС при температуре 400 °С

№ варианта	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>ср</sub>	d, мкм	H <sub>и</sub> , МПа
1	129	130	129,5	38,85	601,90
2	132	131	131,5	39,45	583,73
3	130	130	130	39	597,27
4	129	127	128	38,4	616,08
5	130	128	129	38,7	606,57
6	129	128	128,5	38,55	611,30
7	131	133	132	39,6	579,31
8	131	131	131	39,3	588,19
9	132	132	132	39,6	579,31
10	131	130	130,5	39,15	592,71
	131	132	131,5	38,65	587,72
	130	131	130,5	38,65	599,37

Таблица 6 – Микротвердость алюминиевого сплава 6060, прокатанного на ПКС при температуре 450 °С

№ варианта	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub>	d <sub>ср</sub>	d, мкм	H <sub>и</sub> , МПа
1	130	133	131,5	39,45	583,73
	133	130	131,5	39,45	583,73
	131	133	132	39,6	579,31
2	131	130	130,5	39,15	592,71
	129	131	130	39	597,27
	132	130	131	39,3	588,19
3	133	132	132,5	39,75	574,95
	134	133	133,5	40,05	566,37
	132	134	133	39,9	570,63
4	131	133	132	39,6	579,31
	131	132	131,5	39,32	588,43
	132	130	131	39,4	584,81

**Выводы:**

1. Специальной серией экспериментов установлено, что осадка титановых сплавов со скоростями деформирования продольно-клинового стана при пониженных температурах приводит к монотонному упрочнению структуры металла.

2. Установлено, что в диапазоне температур деформации 350÷450 °С и скоростях деформирования 0,5÷5 м/с в структуре алюминиевого сплава 6060 протекает динамическая и статическая рекристаллизация в зависимости от температурно-деформационных режимов обработки.

3. Деформирование алюминиевого сплава при температурах 350÷450 °С приводит к формированию в металле сравнительно мелкозернистой структуры.

4. Обработка алюминиевых сплавов при низких температурах деформирования приводит к формированию в металле сравнительно крупнозернистой структуры.

5. С помощью физического моделирования доказано, что для обеспечения мелкозернистой структуры проката из алюминиевого сплава необходимо производить прокатку полос на продольно-клиновом стане при температурах выше 300 °С.

**ЛИТЕРАТУРА**

[1] Бродова И.Г., Петрова А.Н., Ширинкина И.Г. Сравнение закономерностей формирования структуры алюминиевых сплавов при большой и интенсивной пластической деформации // Известия РАН. Серия физическая. – 2012. – № 11. – С. 1378-1383.

[2] Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов: Учеб. для студентов вузов, обучающихся по специальности "Металловедение и терм. обраб. металлов". – Изд. 4-е, перераб. и доп. – М.: МИСИС, 2005. – 427 с.

[3] Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. Учебник для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: МИСИС, 1999. – 416 с.

[4] Fragmentation of the structure in Al-based alloys upon high speed effect / I.G. Brodova, E.V. Shorokhov, A.N. Petrova et al // Reviews on Advanced Materials Science. – 2010. – N 25. – P. 128-135.

- [5] Brodova I., Shirinkina I., Petrova A. Dispersion of the structure in Al-based alloys by different methods of severe plastic deformation // *Materials Science Forum*. – 2011. – Vol. 667-669. – P. 517-521.
- [6] Микляев П.Г., Дуденков В.М. Сопротивление деформации и пластичность алюминиевых сплавов: Справочник. – М.: Металлургия, 1979. – 183 с.
- [7] Скрябин С.А. Технология горячего деформирования заготовок из алюминиевых сплавов на ковочных вальцах. Винница: А. Власюк, 2007. – 284 с.
- [8] Галкин В.И., Шлёнский А.Г. Моделирование процессов штамповки методом конечных элементов: Метод. указания. – М.: МАТИ, 2006. – 76 с.
- [9] Моделирование процесса объемной штамповки в системе QForm / Сост. А. В. Овчинников: Метод. указания. – М.: МАТИ, 2006. – 39 с.
- [10] Генкин А.Л. Моделирование и оптимизация процесса горячей прокатки полос. – М.: Ленанд, 2012. – 168 с.
- [11] Мазур В.Л., Ноговицын А.В. Теория и технология тонколистовой прокатки (Численный анализ и технические приложения). – Днепропетровск: РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.
- [12] Патент РК № 27884. Продольно-клиновой стан для прокатки полос из сталей и сплавов / Машекова А.С., Нугман Е.З., Машекова А.С. и др. // Опубл. 25.12.2013, бюл. №12. 3 с.: ил.

## REFERENCES

- [1] Brodova I.G., Petrova A.N., Shirinkina I.G. Sravnenie zakonornostej formirovanija struktury aljuminievyh splavov pri bol'shoj i intensivnoj plasticheskoj deformacii // *Izvestija RAN, Serija fizicheskaja*, 2012, N 11. P. 1378-1383.
- [2] Kolachev B.A., Elagin V.I., Livanov V.A. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnyh metallov i splavov: Ucheb. dlja studentov vuzov, obuchajushhihsja po special'nosti "Metallovedenie i term. obrab. metallov". Izd. 4-e, pererab. i dop. M.: MISIS, 2005. 427 p.
- [3] Kolachev B.A., Elagin V.I., Livanov V.A. Metallovedenie i termicheskaja obrabotka cvetnyh metallov i splavov. Uchebnik dlja vuzov. 3-e izd., pererab. i dop. M.: MISIS, 1999. 416 p.
- [4] Fragmentation of the structure in Al-based alloys upon high speed effect / I.G. Brodova, E.V. Shorokhov, A.N. Petrova et al // *Reviews on Advanced Materials Science*. 2010. N 25. P. 128-135.
- [5] Brodova I., Shirinkina I., Petrova A. Dispersion of the structure in Al-based alloys by different methods of severe plastic deformation // *Materials Science Forum*. 2011. Vol. 667-669. P. 517-521.
- [6] Mikljaev P.G., Dudenkov V.M. Soprotivlenie deformacii i plastichnost' aljuminievyh splavov: Spravochnik. M.: Metallurgija, 1979. 183 s.
- [7] Skrjabin S.A. Tehnologija gorjachego deformirovanija zagotovok iz aljuminievyh splavov na kovochnyh val'cah. Vinnica: A. Vlasjuk, 2007. 284 p.
- [8] Galkin V.I., Shljonskij A.G. Modelirovanie processov shtampovki metodom konechnyh jelementov: Metod. Ukazanija. M.: MATI, 2006. 76 p.
- [9] Modelirovanie processa ob#emnoj shtampovki v sisteme QForm / Sost. A.V. Ovchinnikov: Metod. ukazanija. M.: MATI, 2006. 39 p.
- [10] Genkin A.L. Modelirovanie i optimizacija processa gorjachej prokatki polos. M.: Lenand. 2012. 168 p.
- [11] Mazur V.L., Nogovicyn A.V. Teorija i tehnologija tonkolistovoj prokatki (Chislennyj analiz i tehnicheckie prilozhenija). – Dnepropetrovsk: RVA «Dnipro-VAL», 2010. – 500 p.
- [12] Patent RK № 27884. Prodol'no-klinovoj stan dlja prokatki polos iz stalej i splavov / Mashekova A.S., Nugman E.Z., Mashekova A.S. i dr. // Опубл. 25.12.2013, bjul. №12. 3 p.: il.

**ҮЗДІКСІЗ БОЙЛЫҚ-СЫНА ОРНАҚТА ІЛЕМДЕРДІҢ ЫСТЫҚ ІКЕМДЕУ  
ТЕХНОЛОГИЯЛАРДЫҢ ФИЗИКАЛЫҚ МОДЕЛЬДЕУ КӨМЕГІМЕН 6060 АЛЮМИНДІ  
ҚОРЫТПАДАН ЖҰҚАРТЫЛҒАН ТІЛКЕМДЕРДІҢ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ ӨЗГЕРУІН БАҒАЛАУ**

**С. А. Машеков<sup>1</sup>, Б. Н. Абсадықов<sup>2</sup>, М. М. Акимбекова<sup>1</sup>, А. С. Машекова<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университет, Алматы, Қазақстан,

<sup>2</sup>Қазақ-Британ техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

**Түйін сөздер:** созымдылық, қысу, пішін өзгеруінің кедергісі, орнығу, беріктігін жоғалту, кристаллдану.

**Аннотация.** Gleeble 3500 қазіргі дәл кондырғының көмегімен құрылымның өзгеру заңдылықтары мен 6060 алюминді қорытпа қаттылығының зерттеуі өткізілген. Бұл заңдылықтар бойлық-сына орнақта әртүрлі өндеу режимдерімен физикалық модельдеу арқылы зерттелген. Бірыңғай ұстанымы бар түрлі температурада және пішін өзгерту жылдамдығы бойынша көп сатылы сығымдау алюминді қорытпасынан 6060 құрылымының өзгертуі сипатталған. Ол төмен температурада алюминді қорытпасынан икемдеу құрылымында ірі дәнді құрылымының және, керісінше, жоғары температурада жылжымалы металлда ұсақ құрылымының пайда болуына ықпал ететіні анықталған.

*Поступила 05.05.2016 г.*

---

---

**Publication Ethics and Publication Malpractice  
in the journals of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan**

For information on Ethics in publishing and Ethical guidelines for journal publication see <http://www.elsevier.com/publishingethics> and <http://www.elsevier.com/journal-authors/ethics>.

Submission of an article to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan implies that the described work has not been published previously (except in the form of an abstract or as part of a published lecture or academic thesis or as an electronic preprint, see <http://www.elsevier.com/postingpolicy>), that it is not under consideration for publication elsewhere, that its publication is approved by all authors and tacitly or explicitly by the responsible authorities where the work was carried out, and that, if accepted, it will not be published elsewhere in the same form, in English or in any other language, including electronically without the written consent of the copyright-holder. In particular, translations into English of papers already published in another language are not accepted.

No other forms of scientific misconduct are allowed, such as plagiarism, falsification, fraudulent data, incorrect interpretation of other works, incorrect citations, etc. The National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan follows the Code of Conduct of the Committee on Publication Ethics (COPE), and follows the COPE Flowcharts for Resolving Cases of Suspected Misconduct ([http://publicationethics.org/files/u2/New\\_Code.pdf](http://publicationethics.org/files/u2/New_Code.pdf)). To verify originality, your article may be checked by the Cross Check originality detection service <http://www.elsevier.com/editors/plagdetect>.

The authors are obliged to participate in peer review process and be ready to provide corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. All authors of a paper should have significantly contributed to the research.

The reviewers should provide objective judgments and should point out relevant published works which are not yet cited. Reviewed articles should be treated confidentially. The reviewers will be chosen in such a way that there is no conflict of interests with respect to the research, the authors and/or the research funders.

The editors have complete responsibility and authority to reject or accept a paper, and they will only accept a paper when reasonably certain. They will preserve anonymity of reviewers and promote publication of corrections, clarifications, retractions and apologies when needed. The acceptance of a paper automatically implies the copyright transfer to the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan.

The Editorial Board of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan will monitor and safeguard publishing ethics.

Правила оформления статьи для публикации в журнале смотреть на сайте:

[www.nauka-nanrk.kz](http://www.nauka-nanrk.kz)

<http://www.bulletin-science.kz/index.php/ru/>

Редакторы *М. С. Ахметова, Д. С. Аленов*  
Верстка на компьютере *Д. Н. Калкабековой*

Подписано в печать 24.05.2016.  
Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
11,5 п.л. Тираж 2000. Заказ 3.