

ISSN 2518-1467 (Online),  
ISSN 1991-3494 (Print)

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

4

---

АЛМАТЫ  
АЛМАТЫ  
ALMATY

2017

JULY  
ИЮЛЬ  
ШІЛДЕ

Б а с р е д а к т о р ы

х. ғ. д., проф., ҚР ҰҒА академигі

**М. Ж. Жұрынов**

Р е д а к ц и я а л қ а с ы:

**Абиев Р.Ш.** проф. (Ресей)  
**Абишев М.Е.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Аврамов К.В.** проф. (Украина)  
**Аппель Юрген** проф. (Германия)  
**Баймуқанов Д.А.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Байпақов К.М.** проф., академик (Қазақстан)  
**Байтулин И.О.** проф., академик (Қазақстан)  
**Банас Иозеф** проф. (Польша)  
**Берсимбаев Р.И.** проф., академик (Қазақстан)  
**Велихов Е.П.** проф., РҒА академигі (Ресей)  
**Гашимзаде Ф.** проф., академик (Әзірбайжан)  
**Гончарук В.В.** проф., академик (Украина)  
**Давлетов А.Е.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Джрбашян Р.Т.** проф., академик (Армения)  
**Қалимолдаев М.Н.** проф., академик (Қазақстан), бас ред. орынбасары  
**Лаверов Н.П.** проф., академик РАН (Россия)  
**Лупашку Ф.** проф., корр.-мүшесі (Молдова)  
**Мохд Хасан Селамат** проф. (Малайзия)  
**Мырхалықов Ж.У.** проф., академик (Қазақстан)  
**Новак Изабелла** проф. (Польша)  
**Огарь Н.П.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Полещук О.Х.** проф. (Ресей)  
**Поняев А.И.** проф. (Ресей)  
**Сагиян А.С.** проф., академик (Армения)  
**Сатубалдин С.С.** проф., академик (Қазақстан)  
**Таткеева Г.Г.** проф., корр.-мүшесі (Қазақстан)  
**Умбетаев И.** проф., академик (Қазақстан)  
**Хрипунов Г.С.** проф. (Украина)  
**Якубова М.М.** проф., академик (Тәжікстан)

**«Қазақстан Республикасы Ұлттық ғылым академиясының Хабаршысы».**

**ISSN 2518-1467 (Online),**

**ISSN 1991-3494 (Print)**

Меншіктенуші: «Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы»РҚБ (Алматы қ.)

Қазақстан республикасының Мәдениет пен ақпарат министрлігінің Ақпарат және мұрағат комитетінде  
01.06.2006 ж. берілген №5551-Ж мерзімдік басылым тіркеуіне қойылу туралы куәлік

Мерзімділігі: жылына 6 рет.

Тиражы: 2000 дана.

Редакцияның мекенжайы: 050010, Алматы қ., Шевченко көш., 28, 219 бөл., 220, тел.: 272-13-19, 272-13-18,  
www: nauka-nanrk.kz, bulletin-science.kz

---

© Қазақстан Республикасының Ұлттық ғылым академиясы, 2017

Типографияның мекенжайы: «Аруна» ЖК, Алматы қ., Муратбаева көш., 75.

Г л а в н ы й р е д а к т о р  
д. х. н., проф. академик НАН РК  
**М. Ж. Журинов**

Р е д а к ц и о н н а я к о л л е г и я:

**Абиев Р.Ш.** проф. (Россия)  
**Абишев М.Е.** проф., член-корр. (Казахстан)  
**Аврамов К.В.** проф. (Украина)  
**Апель Юрген** проф. (Германия)  
**Баймуканов Д.А.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Байпаков К.М.** проф., академик (Казахстан)  
**Байтулин И.О.** проф., академик (Казахстан)  
**Банас Иозеф** проф. (Польша)  
**Берсимбаев Р.И.** проф., академик (Казахстан)  
**Велихов Е.П.** проф., академик РАН (Россия)  
**Гашимзаде Ф.** проф., академик (Азербайджан)  
**Гончарук В.В.** проф., академик (Украина)  
**Давлетов А.Е.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Джрбашян Р.Т.** проф., академик (Армения)  
**Калимолдаев М.Н.** академик (Казахстан), зам. гл. ред.  
**Лаверов Н.П.** проф., академик РАН (Россия)  
**Лунашку Ф.** проф., чл.-корр. (Молдова)  
**Моход Хасан Селамат** проф. (Малайзия)  
**Мырхалыков Ж.У.** проф., академик (Казахстан)  
**Новак Изабелла** проф. (Польша)  
**Огарь Н.П.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Полещук О.Х.** проф. (Россия)  
**Поняев А.И.** проф. (Россия)  
**Сагиян А.С.** проф., академик (Армения)  
**Сатубалдин С.С.** проф., академик (Казахстан)  
**Таткеева Г.Г.** проф., чл.-корр. (Казахстан)  
**Умбетаев И.** проф., академик (Казахстан)  
**Хрипунов Г.С.** проф. (Украина)  
**Якубова М.М.** проф., академик (Таджикистан)

«Вестник Национальной академии наук Республики Казахстан».

**ISSN 2518-1467 (Online),**  
**ISSN 1991-3494 (Print)**

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, 2017

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

E d i t o r i n c h i e f

doctor of chemistry, professor, academician of NAS RK

**M. Zh. Zhurinov**

E d i t o r i a l b o a r d:

**Abiyev R.Sh.** prof. (Russia)  
**Abishev M.Ye.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Avramov K.V.** prof. (Ukraine)  
**Appel Jurgen,** prof. (Germany)  
**Baimukanov D.A.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Baipakov K.M.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Baitullin I.O.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Joseph Banas,** prof. (Poland)  
**Bersimbayev R.I.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Velikhov Ye.P.** prof., academician of RAS (Russia)  
**Gashimzade F.** prof., academician ( Azerbaijan)  
**Goncharuk V.V.** prof., academician (Ukraine)  
**Davletov A.Ye.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Dzhrbashian R.T.** prof., academician (Armenia)  
**Kalimoldayev M.N.** prof., academician (Kazakhstan), deputy editor in chief  
**Laverov N.P.** prof., academician of RAS (Russia)  
**Lupashku F.** prof., corr. member. (Moldova)  
**Mohd Hassan Selamat,** prof. (Malaysia)  
**Myrkhalykov Zh.U.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Nowak Isabella,** prof. (Poland)  
**Ogar N.P.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Poleshchuk O.Kh.** prof. (Russia)  
**Ponyaev A.I.** prof. (Russia)  
**Sagiyani A.S.** prof., academician (Armenia)  
**Satubaldin S.S.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Tatkeyeva G.G.** prof., corr. member. (Kazakhstan)  
**Umbetayev I.** prof., academician (Kazakhstan)  
**Khripunov G.S.** prof. (Ukraine)  
**Yakubova M.M.** prof., academician (Tadjikistan)

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

**ISSN 2518-1467 (Online),**

**ISSN 1991-3494 (Print)**

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, 2017

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

**I. E. Volokitina<sup>1</sup>, G. G. Kurapov<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Karaganda state industrial university, Temirtau, Kazakhstan,<sup>2</sup>K. I. Satpayev Kazakh national research technical university, Almaty, Kazakhstan.

E-mail: irinka.vav@mail.ru, kurapov1940@mail.ru

**STUDY OF THE CRYOGENIC COOLING EFFECT  
ON THE COPPER MICROSTRUCTURAL EVOLUTION DURING ECAP**

**Abstract.** This article describes the study of the cryogenic cooling effect on the copper microstructural evolution during equal channel angular extrusion. The data for investigation was the M1 commercial copper of square section 15×15×70 mm that was subjected to the equal channel angular extrusion in a conventional echelon matrix, with angle of the channel junction of 125° and in an echelon matrix with the same angle of the channel junction but with an intermediate and a quenching chamber equipped with a system for circulating nitrogen, which are located after the output matrix channel. The investigation has revealed that the microstructure of copper after extrusion in the proposed equal-channel echelon matrix design that provides cryogenic cooling of the workpiece, is more fine-grained, and higher values of microhardness of copper alloy are provided. It has been established that the main process of the structure refinement, regardless of the mechanism of yield ability (ductility), occurs at the time of yielding of metal, and subsequently there is fixation of the formed structure.

**Keywords:** microstructure, ECA-pressing, copper, cryogenic cooling, microhardness.

УДК 621.771

**И. Е. Волокитина<sup>1</sup>, Г. Г. Курапов<sup>2</sup>**<sup>1</sup>Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан,<sup>2</sup>Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева,  
Алматы, Казахстан**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ КРИОГЕННОГО ОХЛАЖДЕНИЯ  
ПРИ РКУП НА ЭВОЛЮЦИЮ МИКРОСТРУКТУРЫ МЕДИ**

**Аннотация.** Проведено исследование влияния криогенного охлаждения при равноканальном угловом прессовании на эволюцию микроструктуры меди. Материалом исследования являлась техническая медь марки М1 квадратного сечения 15×15×70 мм, которую подвергали РКУП в обычной ступенчатой матрице углом стыка каналов 125° и в ступенчатой матрице с таким же углом стыка каналов, но с промежуточной и закалочной камерой, оснащенной системой для циркуляции азота, располагающихся после выходного канала матрицы. В результате исследования выявлено, что микроструктура меди после прессования в предлагаемой конструкции равноканальной ступенчатой матрицы, обеспечивающей криогенное охлаждение заготовки, получается более мелкозернистой, а также обеспечиваются более высокие значения микротвердости медного сплава. Установлено, что основной процесс измельчения структуры, вне зависимости от механизма пластичности, происходит в момент протекания пластического течения металла, а в дальнейшем происходит закрепление образовавшейся структуры.

**Ключевые слова:** микроструктура; РКУ-прессование, медь, криогенное охлаждение, микротвердость.

**Введение.** Одной из основных задач материаловедения и машиностроения является повышение физико-механических свойств изделий и полуфабрикатов. В последние годы такое повышение свойств основано на получении субмикроструктурной и нанокристаллической

структур в металлических материалах, которая обеспечивает в них уникальное сочетание технологических и служебных свойств [1-3]. Наиболее простым и эффективным способом получения материалов с ультрамелкозернистой структурой является термомеханическая обработка, основанная на сочетании больших пластических деформаций и отжигов [4-6]. Варьируя режимы термомеханической обработки, можно получать структуры с различными параметрами в результате развития тех или иных рекристаллизационных процессов, что позволяет за счет микроструктурного дизайна управлять свойствами материалов в широких пределах [7, 8]. Такой подход к управлению структурой и механическими свойствами особенно актуален для чистых металлов и сплавов, которые не испытывают фазовых превращений при операциях термической обработки, и, соответственно, различные структурные состояния в них могут быть получены только за счет больших пластических деформаций и последующих отжигов. К таким материалам относится медь.

В последние годы были проведены многочисленные исследования, направленные на увеличение прочностных характеристик меди путем получения наноразмерных кристаллитов с помощью интенсивной пластической деформации [9-12]. Большинство работ по получению таких материалов проведено с использованием метода равноканального углового прессования (РКУП) [13-16]. Метод РКУП не позволяет достичь экстремальных степеней деформации, как, например, при кручении под квазигидростатическим давлением [17, 18], но его несомненным преимуществом является возможность получения объемных заготовок. Это преимущество позволяет изучать не только структуру, сформированную при интенсивной пластической деформации, но и механические свойства материалов при растяжении и сжатии.

Несмотря на все свои преимущества, процесс РКУП до сих пор не реализован в промышленных масштабах, и его исследование носит сугубо лабораторный характер. Также данный метод достаточно сложен технологически и до настоящего времени имеет очень ограниченное применение в прикладных технологических задачах. Поэтому поиски путей получения высокопрочных металлических материалов с применением относительно простых технологий является актуальной задачей данной работы.

Таким образом, актуальность темы работы связана с возможностью значительного расширения области применения промышленных технически чистых металлов за счет создания передовых технологических процессов получения ультрамелкозернистых полуфабрикатов и изделий с качественно новым уровнем физико-механических свойств.

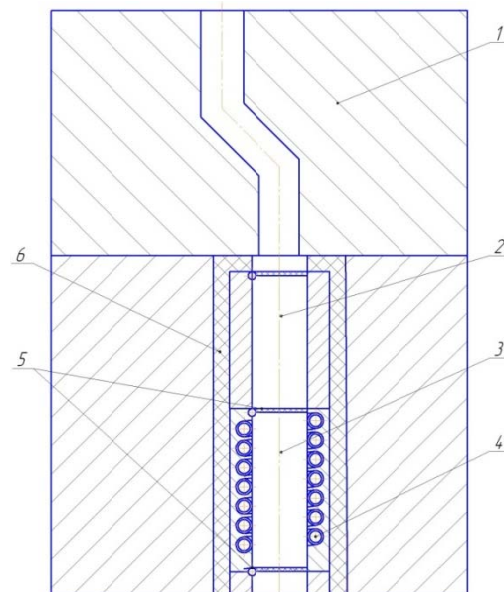
**Материал и методика исследования.** Материалом исследования является техническая медь марки М1. Образцы квадратного сечения  $15 \times 15 \times 70$  мм подвергали РКУП в обычной ступенчатой матрице [19] с углом стыка каналов  $125^\circ$  и в ступенчатой матрице с таким же углом стыка каналов, но с промежуточной и закалочной камерой, оснащенной системой для циркуляции азота, располагающихся после выходного канала матрицы (рисунок 1). В обоих случаях равноканальное угловое прессование осуществлялось по маршруту Вс с кантовкой заготовки на  $90^\circ$  вокруг продольной оси [20]. Трение между инструментом и заготовкой снижалось применением пальмового масла в качестве лубриканта.

На первой стадии экспериментов изучали влияние криогенного охлаждения при циклическом деформировании заготовок в предлагаемой конструкции равноканальной ступенчатой матрицы, как уже отмечалось выше, снабженной промежуточной и закалочной камерой с системой для циркуляции азота. Прессование в предлагаемой конструкции равноканальной ступенчатой матрицы осуществляется следующим образом. Заготовка задается в приемный канал матрицы, которая при помощи пуансона проталкивается последовательно в наклонный промежуточный, а затем в выходной канал. После того, как пуансон полностью продавит заготовку в приемном канале, в матрицу задается следующая заготовка, которая передним концом выталкивает предыдущую заготовку из матрицы в промежуточную камеру, которая снабжена двумя запорными элементами, что позволяет реализовать процесс двухзонной загрузки. После чего заготовка попадает в закалочную камеру, где происходит интенсивное охлаждение заготовки и непосредственно закалка. Извлечение заготовки осуществляется при открывании нижней запорной крышки.

Вторую партию медных заготовок деформировали в обычной равноканальной ступенчатой матрице при температуре  $25^\circ\text{C}$ . В обоих случаях количество проходов через каналы равноканальной ступенчатой матрицы составляло 4.

Рисунок 1 –

Равноканальная ступенчатая матрица с охлаждением:  
 1 – матрица, имеющая три канала одинакового поперечного сечения, два из которых (входной и выходной) параллельны друг другу, а средний канал расположен под углом к входному и выходному каналам, 2 – промежуточная камера, 3 – закалочная камера, 4 – система циркуляции азота, 5 – запорные элементы, 6 – термоизоляционный материал



Подготовка шлифов для металлографических исследований осуществлялась по стандартной методике. Обработанные образцы были изучены, используя оптический микроскоп Leica, снабженный микротвердомером. Все образцы были исследованы в средней плоскости образца, чтобы избежать влияния периферийных областей. Получаемые образцы рассматривались в двух сечениях: поперечном и продольном.

**Результаты исследований.** На рисунке 2а показана оптическая фотография микроструктуры исходной меди (катанный пруток), как видно из фотографии, структура деформированной меди имеет большое количество двойников. В исходном состоянии средний размер зерна меди составлял 120 мкм; микротвердость – 580 МПа.

Для оценки эффективности РКУП и воздействия криогенного охлаждения, необходимо сравнить микроструктуру медных сплавов до и после деформирования. Фотографии микроструктуры, полученные при изучении сплава М1 после 4-х циклов прессования при различных условиях охлаждения, представлены на рисунке 2б,в.

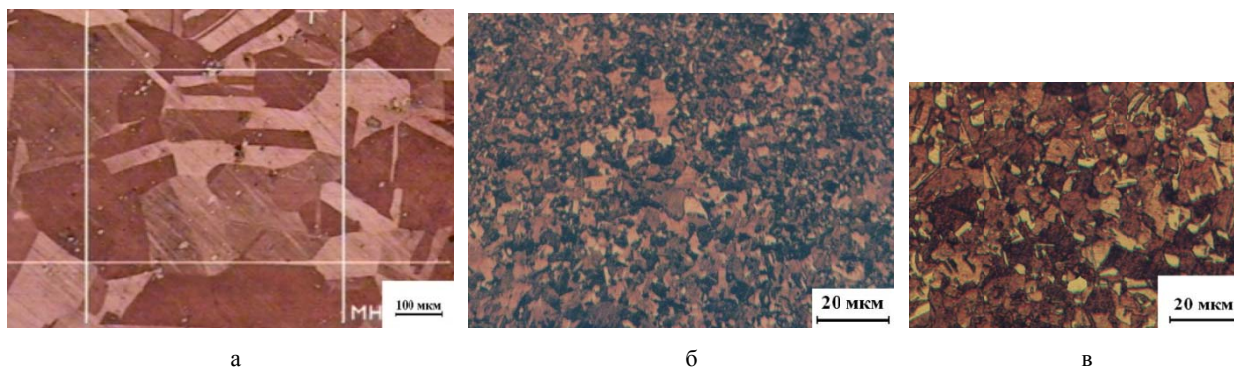


Рисунок 2 – Оптические фотографии микроструктуры меди после 4 циклов РКУП в ступенчатой матрице:  
 а – исходная структура, б – после РКУП азотом; в – после РКУП без охлаждения азотом

Результаты определения микротвердости по Виккерсу и диаметра зерна для меди М1 до и после 4-х циклов РКУП

Вид обработки	Микротвердость, МПа	Средний диаметр зерна, мкм
Исходная	580	120
РКУП	1010	15
РКУП+азот	1250	6

На оптическом микроскопе Leica, оборудованном микротвердомером, были произведены испытания на определение микротвердости (рисунок 4). Результаты определения микротвердости и диаметра зерна медного сплава М1 до и после РКУП представлены в таблице.

**Обсуждение полученных результатов.** Металлографический анализ меди показал, что в результате проведения РКУП в ступенчатой матрице в обоих случаях происходит заметное уменьшение размеров зерен после каждого цикла деформирования и уже после четвертого цикла деформирования структура медного сплава представляла собой частично ячеистую, частично полигонизованную структуру.

Результаты исследования эволюции микроструктуры и микротвердостипо Виккерсу медного сплава М1 в ходе РКУП при различных условиях охлаждения показали, что:

- при деформировании меди в известной конструкции равноканальной ступенчатой матрицы микротвердость после 4 циклов деформирования составила 1010 МПа, а средний диаметр зерна 35 мкм;

- при деформировании медного сплава в предлагаемой конструкции равноканальной ступенчатой матрицы для прессования, обеспечивающем криогенное охлаждение заготовки, микротвердость после 4 циклов деформирования составила 1250 МПа, а средний диаметр зерна 6 мкм.

То есть из этих данных мы видим, что микроструктура меди после прессования в предлагаемой конструкции равноканальной ступенчатой матрицы, обеспечивающей криогенное охлаждение заготовки, структура получается более мелкозернистой, а так же обеспечивается более высокие значения микротвердости медного сплава.

**Выводы.** В целом проведенные исследования показали, что основной процесс измельчения структуры, вне зависимости от механизма пластичности, происходит в момент протекания пластического течения металла, а в дальнейшем происходит закрепление образовавшейся структуры. Сам факт уменьшения конечного зерна в случае попадания образца после обработки в условия быстрого охлаждения (закалка жидким азотом) свидетельствует о том, что процесс пластичности осуществляется через физико-химическое превращение металла с перекристаллизацией.

#### ЛИТЕРАТУРА

- [1] Degtyarev M.V., Chashchukhina T.I., Voronova L.M., Patselov A.M., Pilyugin V.P. (2007) Influence of the relaxation processes on the structure formation in pure metals and alloys under high-pressure torsion, *Acta Mater*, 55:6039–6050. DOI: 10.1016/j.actamat.2007.04.017
- [2] Ma Z.Y., Liu F.C., Mishra R.S. (2010) Superplastic deformation mechanism of an ultrafine-grained aluminum alloy produced by friction stir processing, *Acta Materialia*, 58:4693–4704
- [3] Chichkan A.S., Chesnokov V.V., Gerasimov E.Yu., Parmon V.N. (2013) Production of nanoporous ceramic membranes using carbon nanomaterials, *Doklady Physical Chemistry*, 2:135–137. DOI: 10.1134/S0012501613060031
- [4] Skryabina N.E., Aptukov V.N., Romanov P.V., Fruchart D. (2014) Impact of equal-channel angular pressing on mechanical behavior and microstructure of magnesium alloys, *PNRPU Mechanics Bulletin*, 3:113-128. DOI: 10.15593/perm.mech/2014.3.07. (In Russian)
- [5] Kurapov G., Orlova E., Volokitina I., Turdaliev A. (2016) Plasticity as a physical-chemical process of deformation of crystalline solids, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 51:451-457
- [6] Volodin A.M., Zaikovskii V.I., Kenzhin R.M., Bedilo A.F., Mishakov I.V., Vedyagin A.A. (2017) Synthesis of Nanocrystalline Calcium Aluminate C12A7 under Carbon Nanoreactor Conditions, *Materials Letters*, 189:210-212. DOI: 10.1016/j.matlet.2016.11.112
- [7] Astafurova E.G., Zakharova G. G., Naydenkin E.V. (2010) Effect of equal channel angular pressing on the structure and mechanical properties of low carbon steel 10Г2ФТ, *FMM*, 3:275-284. (In Russian).
- [8] Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Kurapov G.G., Volokitina I.E., Orlova E.P. (2016) *Bulletin of National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan [Vestnik Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazakhstan]* 2:95-102. (In Russian)
- [9] Lezhnev S., Volokitina I., Koinov T. (2014), Research of influence equal channel angular pressing on the microstructure of copper, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 49:621-630
- [10] Lezhnev S., Nayzabekov A., Volokitin A., Volokitina I. (2014) New combined process "pressing-drawing" and impact on properties of deformable aluminum wire, *Procedia Engineering*, 81: 1505 – 1510.
- [11] Mashekova A. S. (2016) *Bulletin of National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan [Vestnik Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazakhstan]* 5:107-121. (In Russian)
- [12] Qu S., An X.H., Yang H.J., Huang C.X., Yang G., Zang Q.S., Wang Z.G., Wu S.D., Zhang Z.F. (2009) Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Cu-Al Alloys Subjected to Equal Channel Angular Pressing, *Acta Materialia*, 5: 1586-1601.
- [13] Murashkin M.Yu., Sabirov I., Kazykhanov V.U. (2013) Enhanced mechanical properties and electrical conductivity in ultrafine-grained Al alloy processed via ECAP-PC, *Journal of Materials Science*, 48: 4501-4509.



- [14] Kyung-Tae Park, Chong Soo Lee, Dong Hyuk Shin. Strain hardenability of ultrafine grained low carbon steels processed by ECAP, *Rev.Adv.Mater.Sci.*, 10:133-137
- [15] Kawasakia M., Horitab Z., Langdona T. G. (2009) Microstructural Evolution in High Purity Aluminum Processed by ECAP, *Materials Science and Engineering A*, 524:143-150.
- [16] Fakhretdinova E.I., Raab G.I., Ganiev M.M. (2015) Development of force parameters model for a new severe plastic deformation technique – Multi-ECAP-Conform, *Applied Mechanics and Materials*, 698:386-390.
- [17] Raab G., Lapovok R. (2006) Modelling of Stress-Strain Distribution in ECAE by analytical-experimental method, *Ultrafine Grained Materials IV TMS Meeting*, 1:189-194.
- [18] Abdulazeez T. Lawal, (2016) Synthesis and utilization of carbon nanotubes for fabrication of electrochemical biosensors, *Materials Research*, 73, 308–350, doi:10.1016/j.materresbull.2015.08.037.
- [19] Patent RF № 2181314. Ustroystvo dlya obrabotki metallov davleniyem. Raab G.I., Kulyasov G.V., Polozovskiy V.A., Valiyev R.Z., 2002.(In Russian)
- [20] Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Volokitina I.E. (2015) Change in copper microstructure and mechanical properties with deformation in an equal channel stepped die, *Metal Science and Heat Treatment*, 57:5-6. DOI:10.1007/s11041-015-9870-x

## REFERENCES

- [1] Degtyarev M.V., Chashchukhina T.I., Voronova L.M., Patselov A.M., Pilyugin V.P. (2007) Influence of the relaxation processes on the structure formation in pure metals and alloys under high-pressure torsion, *Acta Mater*, 55:6039–6050. DOI: 10.1016/j.actamat.2007.04.017
- [2] Ma Z.Y., Liu F.C., Mishra R.S. (2010) Superplastic deformation mechanism of an ultrafine-grained aluminum alloy produced by friction stir processing, *Acta Materialia*, 58:4693–4704
- [3] Chichkan A.S., Chesnokov V.V., Gerasimov E.Yu., Parmon V.N. (2013) Production of nanoporous ceramic membranes using carbon nanomaterials, *Doklady Physical Chemistry*, 2:135–137. DOI: 10.1134/S0012501613060031
- [4] Skryabina N.E., Aptukov V.N., Romanov P.V., Fruchart D. (2014) Impact of equal-channel angular pressing on mechanical behavior and microstructure of magnesium alloys, *PNRPU Mechanics Bulletin*, 3:113-128. DOI: 10.15593/perm.mech/2014.3.07. (In Russian)
- [5] Kurapov G., Orlova E., Volokitina I., Turdaliev A. (2016) Plasticity as a physical-chemical process of deformation of crystalline solids, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 51:451-457
- [6] Volodin A.M., Zaikovskii V.I., Kenzhin R.M., Bedilo A.F., Mishakov I.V., Vedyagin A.A. (2017) Synthesis of Nanocrystalline Calcium Aluminate C12A7 under Carbon Nanoreactor Conditions, *Materials Letters*, 189:210-212. DOI: 10.1016/j.matlet.2016.11.112
- [7] Astafurova E.G., Zakharova G. G., Naydenkin E.V. (2010) Effect of equal channel angular pressing on the structure and mechanical properties of low carbon steel 10Г2ФТ, *FMM*, 3:275-284. (In Russian).
- [8] Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Kurapov G.G., Volokitina I.E., Orlova E.P. (2016) Bulletin of National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan [Vestnik Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan] 2:95-102. (In Russian)
- [9] Lezhnev S., Volokitina I., Koinov T. (2014), Research of influence equal channel angular pressing on the microstructure of copper, *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 49:621-630
- [10] Lezhnev S., Nayzabekov A., Volokitin A., Volokitina I. (2014) New combined process "pressing-drawing" and impact on properties of deformable aluminum wire, *Procedia Engineering*, 81: 1505 – 1510.
- [11] Mashekova A. S. (2016) Bulletin of National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan [Vestnik Nacional'noj akademii nauk Respubliki Kazahstan] 5:107-121. (In Russian)
- [12] Qu S., An X.H., Yang H.J., Huang C.X., Yang G., Zang Q.S., Wang Z.G., Wu S.D., Zhang Z.F. (2009) Microstructural Evolution and Mechanical Properties of Cu-Al Alloys Subjected to Equal Channel Angular Pressing, *Acta Materialia*, 5: 1586-1601.
- [13] Murashkin M.Yu., Sabirov I., Kazykhanov V.U. (2013) Enhanced mechanical properties and electrical conductivity in ultrafine-grained Al alloy processed via ECAP-PC, *Journal of Materials Science*, 48: 4501-4509.
- [14] Kyung-Tae Park, Chong Soo Lee, Dong Hyuk Shin. Strain hardenability of ultrafine grained low carbon steels processed by ECAP, *Rev.Adv.Mater.Sci.*, 10:133-137
- [15] Kawasakia M., Horitab Z., Langdona T. G. (2009) Microstructural Evolution in High Purity Aluminum Processed by ECAP, *Materials Science and Engineering A*, 524:143-150.
- [16] Fakhretdinova E.I., Raab G.I., Ganiev M.M. (2015) Development of force parameters model for a new severe plastic deformation technique – Multi-ECAP-Conform, *Applied Mechanics and Materials*, 698:386-390.
- [17] Raab G., Lapovok R. (2006) Modelling of Stress-Strain Distribution in ECAE by analytical-experimental method, *Ultrafine Grained Materials IV TMS Meeting*, 1:189-194.
- [18] Abdulazeez T. Lawal, (2016) Synthesis and utilization of carbon nanotubes for fabrication of electrochemical biosensors, *Materials Research*, 73, 308–350, doi:10.1016/j.materresbull.2015.08.037.
- [19] Patent RF № 2181314. Ustroystvo dlya obrabotki metallov davleniyem. Raab G.I., Kulyasov G.V., Polozovskiy V.A., Valiyev R.Z., 2002.(In Russian)
- [20] Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Volokitina I.E. (2015) Change in copper microstructure and mechanical properties with deformation in an equal channel stepped die, *Metal Science and Heat Treatment*, 57:5-6. DOI:10.1007/s11041-015-9870-x

И. Е. Волокитина<sup>1</sup>, Г. Г. Курапов<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Қарағанды мемлекеттік индустриялық университеті, Темиртау, Қазақстан,

<sup>2</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті, Алматы, Қазақстан

### МЫС МИКРОҚҰРЫЛЫМНЫҢ ЭВОЛЮЦИЯСЫНА ТКББ ШАМАСЫНДА КРИОГЕНДІ САЛҚЫНДАТУ ӘСЕРІН ЗЕРТТЕУ

**Аннотация.** Берілген мақалада мыстың микроқұрылымының эволюциясына теңканалды бұрышты баспалау кезінде криогенді салқындату әсерді зерттеуі өткізілген. Зерттеудің материалы М1 маркалы техникалық мыстың квадраттық қимасы 15x15x70 мм, кәдімгі сатылы матрицада 125° бұрышы қиылысқан каналда ТКББда ұшырады және сондай бұрышы қиылысқан каналмен сатылы матрицада, бірақ матрицаның шығу каналдан кейін орналасқан азоттың циркуляциясы үшін жүйесімен құралдандырылған аралық және шынықтыру камерасымен ұшырыған. Зерттеу нәтижесінде теңканалды сатылы матрицаның ұсынылатын құрылымда баспалаудан кейін мыстың микроқұрылымы, дайындаманың криогенді салқындату қамтамасыз ететін, ең ұсақ түйіршікті болып алынады, сонымен қатар мыс қорытпасының микроқаттылығының ең жоғарғы мәндері қамтамасыз етіледі. Анықталған құрылымның ұсатуының негізгі процесі, илемділіктің механизмдерімен тығыз байланыста, металдың пластикалық ағуының өту кезінде орнатылған, ал одан әрі пайда болған құрылымның орнықтыруда болады.

**Түйін сөздер:** микроқұрылым, ТКБ-баспалау, мыс, криогенді салқындату, микроқаттылық.

#### Сведения об авторах:

Волокитина И.Е. – докторант PhD, магистр, Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан, [itinka.vav@mail.ru](mailto:itinka.vav@mail.ru)

Курапов Г.Г. – к.х.н., асс. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, [kurapov1940@mail.ru](mailto:kurapov1940@mail.ru)

---

---

## **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)

**ISSN 2518-1467 (Online), ISSN 1991-3494 (Print)**

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

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

Подписано в печать 21.07.2017.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.  
11,75 п.л. Тираж 2000. Заказ 4.