

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

2

АЛМАТЫ
АЛМАТЫ
ALMATY

2017

НАУРЫЗ
МАРТ
MARCH

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., корр.-мүшесі (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., корр.-мүшесі (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., корр.-мүшесі (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. проф., чл.-корр. (Казахстан), зам. гл. ред.
Лаверов Н.П. проф., академик РАН (Россия)
Лупашку Ф. проф., чл.-корр. (Молдова)
Мохд Хасан Селамат проф. (Малайзия)
Мырхалыков Ж.У. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Новак Изабелла проф. (Польша)
Огарь Н.П. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Полещук О.Х. проф. (Россия)
Поняев А.И. проф. (Россия)
Сагьян А.С. проф., академик (Армения)
Сатубалдин С.С. проф., академик (Казахстан)
Таткеева Г.Г. проф., чл.-корр. (Казахстан)
Умбетаев И. проф., чл.-корр. (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., corr. member. (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., corr. member. (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., corr. member. (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

G. G. Kurapov¹, A. V. Volokitin¹, I. E. Volokitina², E. P. Orlova¹¹K. I. Satpayev kazakh national research technical university, Almaty, Kazakhstan,²Karaganda state industrial university, Temirtau, Kazakhstan.

E-mail: kurapov1940@mail.ru, dyusha.vav@mail.ru, irinka.vav@mail.ru, lenochka_60@mail.ru

**RESEARCH OF A NEW METHOD OF DEFORMATION –
"PRESSING-DRAWING" ON MECHANICAL PROPERTIES
OF STEEL WIRE**

Abstract. The problem of resource-saving methods of producing materials with properties combining high strength and ductility in conditions of using relatively simple and inexpensive devices that enable to implement the whole bulk of metal and intensive plastic deformation while using the minimal amount of energy and effort is very important. In manufacturing wire from non-ferrous metals and alloys, this problem can be solved by using a combined method of deformation "pressing-drawing" which has a significant advantage compared with the existing technology of producing copper wire. This method of deformation enables to produce wire with an ultrafine grained structure and a high level of mechanical properties, required dimensions and a crosssectional shape with a small number of deformation cycles.

The aim of this work is to study the impact of the new combined process of plastic deformation "pressing-drawing" on the mechanical properties. Research material is a steel wire.

We have to note that this method of deformation in implementing it in production does not require significant economic investment and can be implemented in industrial plants for the production of wire so that it does not require retrofitting of existing drawing machines. Because for the implementation of this combined process only the addition to the equipment specially prepared equal-channel step die requires, designed to drawing through it material.

Keywords: pressing-drawing, equal-channel step matrix, wire, mechanical properties, steel.

Introduction. The contemporary level of electronic technology development has led to the appearance of devices that often have moving parts and / or work in difficult conditions. Therefore, interest in the problems of forming physical and mechanical properties of functional conductor materials has recently grown abroad in connection with the need to stabilize the properties of current conductors and increase their reliability, including in heavily loaded cable systems, motor and generators windings and low-current computer networks [1-3]. The increased interest of researchers in such materials has greatly increased in recent decades in connection with the use of intensive plastic deformation (IPD) methods to obtain bulk materials with fine grains characterized by high physical and mechanical properties [4-6].

Nowadays, the mechanical properties of bulk nanostructured materials generate particular interest. It is known that they are characterized by an increase in the yield point by 2-5 times compared with the corresponding values on SPD at coarse-crystalline state [7-8]. The paradox of SPD, consisting in the simultaneous growth of strength and plasticity as the degree of SPD increases, low-temperature and high-speed superplasticity, deviations from the Hall-Petch law to the higher values of the yield point [9-11].

The SPD method is free from disadvantages of other methods of obtaining such materials, such as the method of compacting powders obtained previously by various methods [12-14], and the method of depositing gas atoms on a substrate or electric deposition of atoms from an electrolyte solution [15]. When the materials are compacted or deposited, impurities and pores flow into the boundaries of their grains, influencing the properties of the obtained materials. Among the SPD methods, the ECAE method is especially noteworthy [16, 17].

A polycrystalline sample of a macroscopic volume subjected to ECAE retains its shape after multiple extrusions through a curved channel. As a rule, ultrafine-grained or nanocrystalline materials, obtained at the output, have nonequilibrium grain boundaries and a considerable density of lattice defects [18]. These features of the microstructure formed in the SPD process underlie the mechanical properties of the materials. However, the ECAE has a disadvantage – the impossibility of processing products of relatively large length due to loss of stability by a pressing punch. On the basis of a comprehensive analysis of the existing schemes of plastic structure formation and also taking into account the promising directions of their development [19, 20], a new combined "pressing-drawing" process using an equal-channel step matrix (Figure 1) was proposed. It enables to obtain a wire with an ultrafine-grained structure and increased level of mechanical properties, required dimensions and shape of the cross section at insignificant number of deformation cycles.

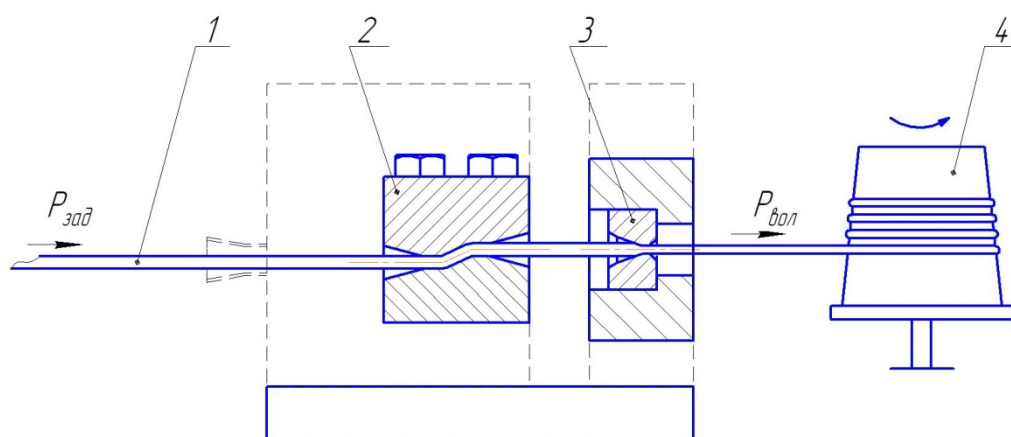


Figure 1 – Scheme of the combined process of pressing-drawing:
1 – wire; 2 – equal-channel step matrix; 3 – die in die box; 4 – coiling block

Methods of research. The essence of the proposed method of deformation is as follows. The pre-sharpened end of the wire is set into an equal-channel step matrix, and then sequentially into a calibrating die. Essentially, the process of the metal task does not differ from the task of wire drawing under the standard drawing process. When the workpiece end comes out of the die, it is fixed with the help of gripping ticks and wound on the drawing-mill drum. In this case, the process of pulling the workpiece through an equal-channel stepped matrix and calibrating die is implemented by applying the pulling force to the end of the workpiece. External load is applied to the pulling metal, and contact stresses appear on the contact surface of the metal-tool. Unlike other methods of processing materials under pressure, which implementation cannot be carried out without the presence of frictional contact forces, when drawing on a metal-tool section directed against the movement of metal, are negative phenomena of the process, which undoubtedly means the use of technological lubricants that reduce friction.

The aim of this work is to investigate the influence of the combined "pressing-drawing" process on the mechanical properties of steel wire.

In order to determine the influence of a new continuous method of "pressing-drawing" deformation on the change in the mechanical properties of steel 3, a laboratory experiment on an industrial drawing mill B-I/550 M was conducted. For this, an equal-channel stepped matrix with a channel diameter of 7 mm and the interface angle of the matrix channels equal to 135° (Figure 2) was fixed in front of the die. The matrix was located in a container for grease.

Drawing of annealed wire from steel of grade 3 was carried out as follows: the coil rod was laid on the figures from the coil holder; the low end of the workpiece was sharpened with the help of an otter machine. The sharpened end of the workpiece was pushed through an equal-channel stepped matrix and a die installed in the coil holder, and its gripping was carried out by refueling pincers, which hook was inserted into one of the grooves on the drum. After dialing 5-7 turns of wire on the drum, the mill was stopped. The initial diameter of the wire was 7.0 mm. After the first draft using the "pressing-drawing" process, the diameter of the wire was 6.5 mm. All drafting was carried out only in the die, after the

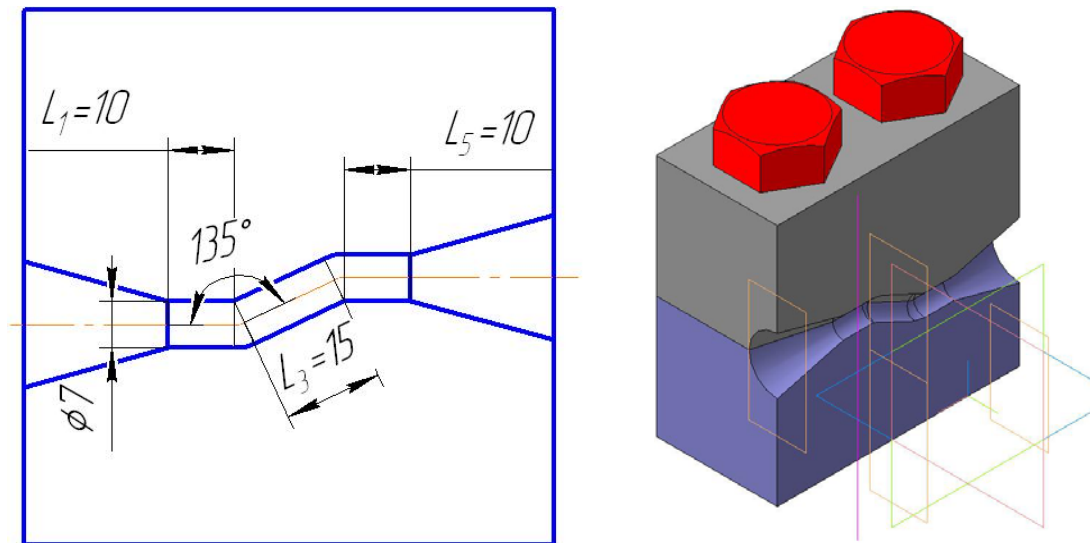


Figure 2 – Equal-channel step matrix

workpiece exit from the equal-channel stepped matrix, the diameter of the wire remained unchanged and was 7.0 mm. Next, a matrix with a channel diameter of 6.5 mm was installed. After the second draft, the diameter of the steel wire was 6.0 mm. All drafting was also carried out only in the die. Then, a matrix with a channel diameter of 6.0 mm was installed. The diameter of the wire after the third draft was 5.5 mm. Shavings of soap were used as a lubricant.

For comparison of different methods of wire production, studies on three different technologies were carried out: 1) a combined "pressing-drawing" process, 2) pressing through an equal-channel matrix; 3) conventional drawing.

In this case, the process of pulling the workpiece through an equal-channel stepped matrix and calibrating die is implemented by applying the pulling force to the end of the workpiece. External load is applied to the pulling metal, and contact stresses appear on the contact surface of the metal-tool. After each draft, the diameter of the wire was measured and samples were taken to study the mechanical properties of each of the samples.

The pressing process consisted of pulling the wire through the ECA matrix. For this, a matrix with different channel diameters of 7.0, 6.5 and 6.0 mm was required.

The deformation was carried out in three drafts, after each draft a wire diameter was measured and samples were taken to study the mechanical properties of each of the samples.

The process of classical drawing, consisting of pulling the wire through a hole in the wire. The initial diameter of the wire was 7.0 mm. After the first draft, the diameter of the steel wire was 6.5 mm, after the second – 6.0 mm and after the third it was 5.5 mm. After each draft, three samples were taken for the study.

For the study of mechanical properties, four batches of samples with different processing technologies were selected; three samples in each batch. In the first batch, the samples were a wire in the initial annealed state. In the second batch, the samples were processed only in an equal-channel step matrix. Samples of the third batch are deformed using classical drawing technology. And the samples of the fourth batch were deformed using proposed technology of "pressing-drawing".

Results of the study. The results of mechanical studies are presented in Table.

From the analysis of the mechanical tests of the samples on various technologies, it can be concluded that the best mechanical characteristics are possessed by a wire subjected to processing using the combined technology of "pressing-drawing". There is an increase in the yield strength and tensile strength, as well as the firmness index, while maintaining plasticity.

Conclusion. On the basis of the research, it can be concluded that the proposed combined "pressing-drawing" deformation method has a significant advantage over previously known methods for producing high-strength wire, since this deformation method by combining two methods: intense plastic deformation

Results of mechanical testing of wire samples

Name of processing technology	Ultimate resistance σ_B , МПа	Yield stress σ_T , МПа	Relative elongation δ_5 , %	Relative reduction ψ_5 , %	Firmness, НВ
Burn-in	380	220	28,0	57,0	126
Processing in ECA matrix	480	450	16,5	37,0	176
Classical drawing	560	450	16,0	50,0	190
Combined "pressing-drawing" process	740	700	22,0	49,0	260

in an equal-channel step matrix and the process of drawing through dies allows us to obtain steel wire of the required dimensions and cross-sectional shape, having increased mechanical properties with a small number of cycles, and also removes restrictions on the length of the initial workpiece, and therefore allows obtaining the finished products up to several tens of meters in length.

Г. Г. Курапов¹, А. В. Волокитин¹, И. Е. Волокитина², Е. П. Орлова¹

¹Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, Алматы, Казахстан,

²Карагандинский государственный индустриальный университет, Темиртау, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ НОВОГО СПОСОБА ДЕФОРМИРОВАНИЯ «ПРЕССОВАНИЕ-ВОЛОЧЕНИЕ» НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ

Аннотация. Проблема ресурсосберегающих способов получения материалов со свойствами, сочетающими одновременно высокую прочность и пластичность, в условиях использования относительно простых и недорогих устройств, позволяющих реализовывать во всем объеме металла интенсивную пластическую деформацию и при этом затрачивать минимально возможное количество энерго- и трудозатрат, является весьма актуальной. Решить данную проблему при производстве проволоки можно путем использования для ее получения совмещенного способа деформирования «прессование-волочение», который обладает существенным преимуществом по сравнению с действующей технологией производства проволоки. Данный способ деформирования позволяет получать проволоку с ультрамелкозернистой структурой и высоким уровнем механических свойств, требуемых размеров и формы поперечного сечения при незначительном количестве циклов деформирования.

Целью данной работы является исследование влияния нового совмещенного процесса пластической деформации «прессование-волочение» на механические свойства. Материалом исследования является стальная проволока.

Также хочется отметить, что данный метод деформации, при реализации его в производстве, не требует значительных экономических инвестиций и может быть реализован в существующих промышленных установках для производства проволоки, не требуя модернизации волочильных машин. Так как для реализации этого комбинированного процесса необходима только равноканальная ступенчатая матрица.

Ключевые слова: прессование-волочение, равноканальная ступенчатая матрица, проволока, механические свойства, сталь.

Введение. Современный уровень развития электронной техники привел к появлению устройств, часто имеющих подвижные части и/или работающих в сложных условиях. Поэтому за рубежом в последнее время вырос интерес к проблемам формирования физико-механических свойств функциональных проводниковых материалов в связи с необходимостью стабилизации свойств проводников тока и повышения их надежности, в том числе в тяжело нагруженных кабельных системах, обмотках двигателей и генераторов и слаботоковых сетях ЭВМ [1-3]. Повышенный интерес исследователей к таким материалам в последние десятилетия сильно возрос в связи с применением методов интенсивной пластической деформации (ИПД) с целью получения объемных

материалов с мелким зерном, характеризующихся высокими физическими и механическими свойствами [4-6].

Особый интерес в настоящее время вызывают механические свойства объемных наноструктурированных материалов. Известно, что для них характерны рост предела текучести в 2–5 раз по сравнению с соответствующими значениями до ИПД при крупнокристаллическом состоянии [7, 8]. Парадокс ИПД, заключающийся в одновременном росте прочности и пластичности по мере увеличения степени ИПД, низкотемпературная и высокоскоростная сверхпластичность, отклонения от закона Холла – Петча в сторону более высоких значений предела текучести [9-11].

Метод ИПД лишен недостатков, присущих другим методам получения таких материалов, например, метод компактирования порошков, получаемых предварительно различными способами [12-14], и метод осаждения атомов газа на подложке или электроосаждения атомов из раствора электролита [15]. При компактировании или осаждении материалов в границы их зерен стекают примеси и поры, влияя на свойства получаемых таким образом материалов. Среди методов ИПД особого внимания заслуживает метод РКУП [16, 17].

Поликристаллический образец макроскопического объема, подвергнутый РКУП, сохраняет свою форму после многократного продавливания через изогнутый канал. Как правило, полученные на выходе ультрамелкозернистые или нанокристаллические материалы обладают неравновесными границами зерен и значительной плотностью решеточных дефектов [18]. Эти особенности микроstructures, сформированные в процессе ИПД, лежат в основе механических свойств материалов. Однако у РКУП есть недостаток – невозможность обработки изделий относительно большой длины из-за потери устойчивости давящим пуансоном. На основе комплексного анализа существующих схем пластического структурообразования, а также с учетом перспективных направлений их развития [19, 20], был предложен новый совмещенный процесс «прессование-волочение» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы (рисунок 1), позволяющий получать проволоку с ультрамелкозернистой структурой и повышенным уровнем механических свойств, требуемых размеров и формы поперечного сечения при незначительном количестве циклов деформирования.

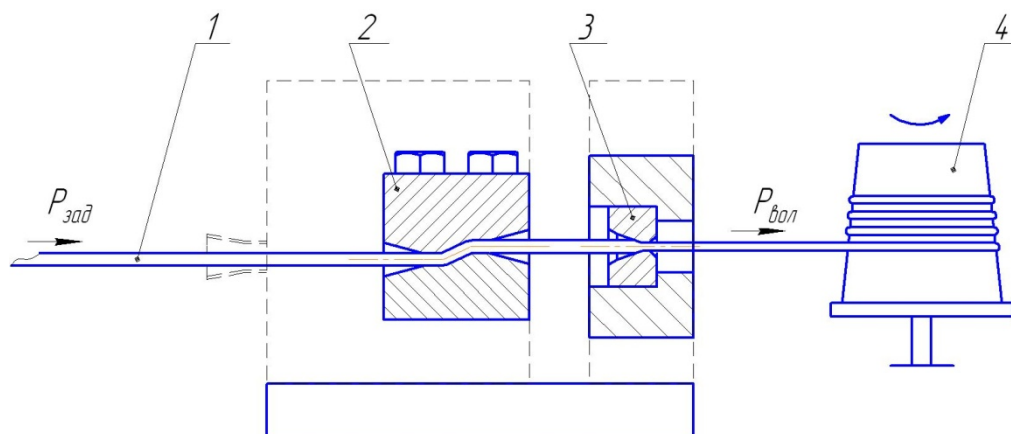


Рисунок 1 – Схема совмещенного процесса прессование-волочение:

1 – проволока; 2 – равноканальная ступенчатая матрица; 3 – волока в волокодержателе; 4 – барабан наматывающий

Методы исследования. Суть предлагаемого способа деформирования заключается в следующем. Предварительно заостренный конец проволоки задается в равноканальную ступенчатую матрицу, а затем последовательно в калибрующую волоку. По своей сути процесс задачи металла не отличается от задачи проволоки в волоку при стандартном процессе волочения. После того, как конец заготовки выйдет из волоки он закрепляется с помощью захватывающих клещей и наматывается на барабан волочильного стана. В данном случае процесс протягивания заготовки через равноканальную ступенчатую матрицу и калибрующую волоку реализуется за счет приложения к концу заготовки вытягивающей силы. Внешнюю нагрузку прикладывают к протягиваемому металлу, и на поверхности контакта металл – инструмент возникают контактные напряжения. В отличие от других способов обработки материалов давлением, реализация которых не может быть

осуществлена без присутствия контактных сил трения, при волочении на разделе металл-инструмент, направленные против движения металла, являются негативными явлениями процесса, что, несомненно, подразумевает использование технологических смазок, уменьшающих трение.

Целью настоящей работы является исследование влияния совмещенного процесса «прессование-волочение» на механические свойства стальной проволоки.

С целью определения влияния нового непрерывного способа деформирования «прессование-волочение» на изменение механических свойств стали 3 был проведен лабораторный эксперимент на промышленном волочильном стане В – I/550 М. Для этого перед волокой была закреплена равноканальная ступенчатая матрица с диаметром каналов равном 7 мм и углом стыка каналов матрицы равном 135° (рисунок 2). Матрица была расположена в контейнере для смазки.

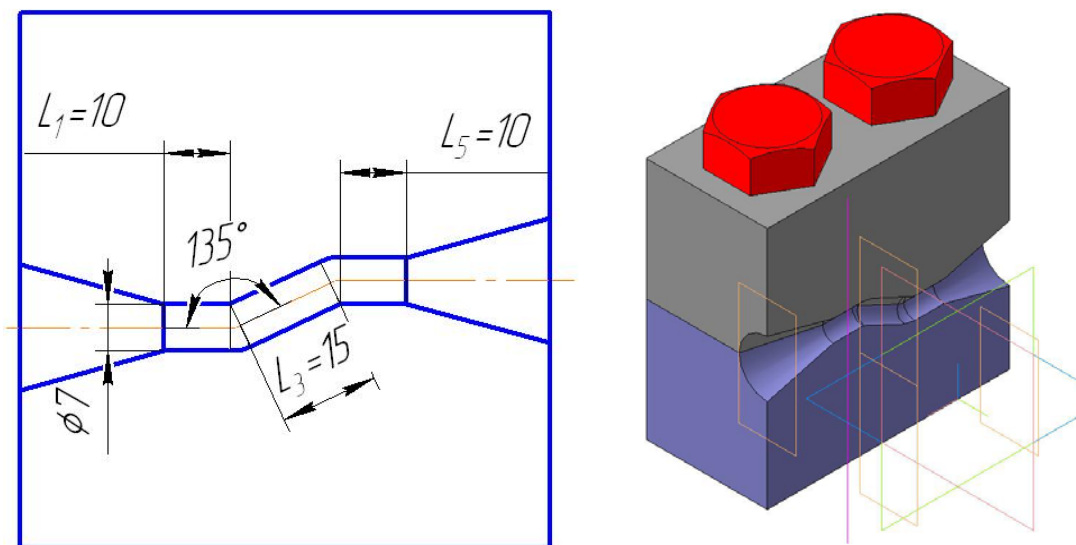


Рисунок 2 – Равноканальная ступенчатая матрица

Волочение отожженной проволоки из стали марки 3 производилось следующим образом: с бунтодержателя бунт катанки был уложен на фигурок, нижний конец заготовки с помощью острильного станка был заострен. Заостренный конец заготовки проталкивали через равноканальную ступенчатую матрицу и волоку, установленную в волокодержателе и осуществили ее захват заправочными клещами, крюк которых введен в один из пазов на барабане. После набора на барабане 5-7 витков проволоки, стан был остановлен. Начальный диаметр проволоки составлял 7,0 мм. После первого прохода с применением процесса «прессование-волочение» диаметр проволоки составил 6,5 мм. Все обжатие было осуществлено только в волоке, после выхода заготовки из равноканальной ступенчатой матрицы диаметр проволоки оставался без изменения и составлял 7,0 мм. Далее была установлена матрица с диаметром каналов равным 6,5 мм. После второго прохода диаметр стальной проволоки составил 6,0 мм. Все обжатие так же было осуществлено только в волоке. Затем установили матрицу с диаметром каналов 6,0 мм. Диаметр проволоки после третьего прохода составил 5,5 мм. В качестве смазки использовали стружку мыла.

Для сравнения различных способов получения проволоки проводились исследования по трем различным технологиям: 1) совмещенный процесс «прессование-волочение», 2) прессование через равноканальную матрицу; 3) обычное волочение.

В данном случае процесс протягивания заготовки через равноканальную ступенчатую матрицу и калибрующую волоку реализуется за счет приложения к концу заготовки вытягивающей силы. Внешнюю нагрузку прикладывают к протягиваемому металлу, и на поверхности контакта металл - инструмент возникают контактные напряжения. При этом после каждого прохода производили измерение диаметра проволоки и производился отбор образцов для исследования механических свойств каждого из образцов.

Процесс прессования заключался в протягивании проволоки через РКУ-матрицу. Для этого потребовалась матрица с различным диаметром каналов равным 7,0, 6,5 и 6,0 мм.

Деформирование осуществлялось в три прохода, после каждого прохода измеряли диаметр проволоки и производился отбор образцов для исследования механических свойств каждого из образцов.

Процесс классического волочения, заключающегося в протягивании проволоки через отверстие в волоке. Начальный диаметр проволоки был 7,0 мм. После первого прохода диаметр стальной проволоки составил 6,5 мм, после второго 6,0 мм и после третьего 5,5 мм. После каждого прохода отбиралось по три образца для проведения исследования.

Для проведения исследований механических свойств были отобраны четыре партии образцов с различными технологиями обработки по три образца в каждой партии. В первой партии образцы представляли собой проволоку в исходном отожженном состоянии. Во второй партии образцы были подвергнуты обработке только в равноканальной ступенчатой матрице. Образцы третьей партии продеформированы по классической технологии волочения. И образцы четвертой партии были продеформированы по предложенной технологии «прессование-волочение».

Результаты исследования. Результаты механических исследований представлены в таблице.

Результаты механических испытаний образцов проволоки

Наименование технологии обработки	Предел прочности σ_b , МПа	Предел текучести σ_T , МПа	Относительное удлинение δ_5 , %	Относительное сужение ψ_5 , %	Твердость, НВ
Отжиг	380	220	28,0	57,0	126
Обработка в РКУ-матрице	480	450	16,5	37,0	176
Классическое волочение	560	450	16,0	50,0	190
Совмещенный процесс «прессование-волочение»	740	700	22,0	49,0	260

Из анализа проведенных механических испытаний образцов по различным технологиям можно сделать вывод, что наиболее лучшими механическими характеристиками обладает проволока, подвергнутая обработке по совмещенной технологии «прессование-волочение». Наблюдается увеличение значений предела текучести и предела прочности, а также показателя твердости, с сохранением пластичности.

Выводы. На основе проведенных исследований можно сделать вывод, что предлагаемый совмещенный способ деформирования «прессование-волочение» обладает существенным преимуществом по сравнению с ранее известными способами получения высокопрочной проволоки, так как данный способ деформирования за счет совмещения двух способов: интенсивной пластической деформации в равноканальной ступенчатой матрице и процесса волочения через волоку, позволяет получать стальную проволоку требуемых размеров и формы поперечного сечения, обладающие повышенными механическими свойствами при незначительном количестве циклов, а так же снимает ограничения по длине исходной заготовки, а следовательно позволяет получать готовые изделия длиной до нескольких десятков метров.

REFERENCES

- [1] 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.
- [2] 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.
- [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] 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.
- [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] 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).
- [10] Naizabekov A., Lezhnev S., Knapinski M., Kurapov G., Volokitina I.E. (2015) Research of influence equal channel angular pressing combined with a heat treatment on the microstructure of the steel 45. 24-th International Conference on metallurgy and materials METAL, Brno, Czech Republic. P. 125.
- [11] 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.
- [12] Flagan, R.C. (1998) Of the NATO ASI on NanoStructured Materials: Science& Technology. Kluwer Acad, Boston, London. P. 31.
- [13] Chow G. M. (1998) Of the NATO ASI on NanoStructured Materials: Science& Technology. Kluwer Acad, Boston, London. P. 15.
- [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] Gleiter, H. (2000) Nanostructured materials: basic concepts and microstructure, Acta Mater. 48:1-29.
- [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] 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.
- [19] 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).
- [20] Lezhnev S., Naizabekov A., Panin E., Volokitina I. (2014) Influence of combined process “rolling-pressing” on microstructure and mechanical properties of copper, Procedia Engineering, 81:1499-1505.

Г. Г. Курапов¹, А. В. Волокитин¹, И. Е. Волокитина², Е. П. Орлова¹

¹Қ. И. Сәтбаев атындағы қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы, Қазақстан,

²Қарағанды мемлекетік индустриалық университеті, Теміртау, Қазақстан

БОЛАТ СЫМНЫҢ «БАСПАЛАУ-СОЗУ» ДЕФОРМАЦИЯЛАУЫ КЕЗІНДЕ МЕХАНИКАЛЫҚ ҚАСИЕТТЕРІН ЖАҢА ӘДІСІМЕН ЗЕРТТЕУ

Аннотация. Қазіргі кезде энерго- және еңбекшығының мөлшері минималды және бүкіл металл көлемі бойынша қарқынды илемділік деформациясын жүзеге асыруға мүмкіндік беретін, салыстырмалы қарапайым және қымбат емес құралдарын қолдану жағдайында, біруақытта жоғары беріктікті және илемділік қасиеттерімен материалдарды алудың қорықару мәселесі актуалды болып келеді. Сым өндіру кезінде бұл мәселені «баспалау-созу» деформациялау әдісін үйлестіру жолымен алуға болады, ол сым өндірісімен салыстырғанда бірқатар ерекшеліктеріне ие болады. Берілген деформациялау әдісі ультраұсақтүйіршікті құрылымын және жоғары деңгейлі механикалық қасиеттерімен сымды, деформациялаудың аз циклдерінде көлденен қима ауданының керекті қимасын және пішінін алуға мүмкіндік береді.

Сонымен қатар мынаны ескергеніміз жөн, бұл деформациялау әдісін өндіріске енгізу кезінде қомақты экономикалық қаражатты талап етпейді және сым өндірісі үшін бар өнеркәсіптік қондырғыларда сымдау машиналардың жаңғыртуын қажет етпей-ақ жүзеге асырылуы мүмкін. Өйткені бұл көпоперациялы процесті жүзеге асыру үшін тек қана бірдейарналы сатылы матрицаны ғана талап етеді.

Түйін сөздер: баспалау-созу, бірдейарналы сатылы матрица, сым, механикалық қасиеттер, болат.

Сведения об авторах:

Курапов Г.Г. – к.х.н., асс. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, kurapov1940@mail.ru

Волокитин А.В. – докторант PhD, магистр, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, dyusha.vav@mail.ru

Волокитина И.Е. – докторант PhD, магистр, Карагандинский государственный индустриальный университет, irinka.vav@mail.ru

Орлова Е.П. – к.т.н., ассоц. профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет им. К. И. Сатпаева, lenochka_60@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). 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

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 13.04.2017.

Формат 60x881/8. Бумага офсетная. Печать – ризограф.

19,2 п.л. Тираж 2000. Заказ 2.