

REPORTS OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN

ISSN 2224-5227

Volume 2, Number 312 (2017), 96 – 102

UDC 621.771

A.V. Volokitin¹, G.G. Kurapov¹, I.E. Volokitina², E.A. Panin²

¹K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan;

²Karaganda State Industrial University, Temirtau, Kazakhstan

dyusha.vav@mail.ru, kurapov1940@mail.ru, irinka.vav@mail.ru, cooper802@mail.ru

SIMULATION OF THE COMBINED PROCESS
OF PRESSING-DRAWING

Annotation. In this work simulation in the software package DEFORM in order to determine the possibility of a new continuous method of deformation "pressing-drawing" and its influence on the microstructure changing was developed.

As a result of the simulation it was found that the flow of this process is possible under certain technological factors, and the use of equal channel step die in the process of pressing-drawing positively affects not only the structure but also the hydrostatic compression scheme for the most part of the die.

Simulation of microstructure changes during deformation showed that by using the combined "pressing-drawing" process, there is a refinement of the original structure and for the entire volume of the workpiece increased densities of dislocations formed are observed.

Thus, the process of pressing-drawing in equal channel step die allows obtaining workpieces with equal granular structure and homogeneous distribution of the physical properties throughout the section of the workpiece. Also, this method of deformation when introducing it into the manufacturing does not require significant economic investment and can be implemented at industrial enterprises of Kazakhstan for the production of wire because it does not require retrofitting existing draw benches and requires only the addition in construction of equipment specially made equal channel step die intended for broaching through it the material.

Keywords: simulation, pressing-drawing, die, wire, microstructure.

УДК 621.771

А.В.Волокитин¹, Г.Г.Курапов¹, И.Е.Волокитина², Е.А. Панин²

¹Казахский национальный исследовательский технический университет
имени К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан;

²Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан

МОДЕЛИРОВАНИЕ СОВМЕЩЕННОГО ПРОЦЕССА
ПРЕССОВАНИЕ-ВОЛОЧЕНИЕ

Аннотация. В данной работе проведено моделирование в программном комплексе DEFORM с целью определения возможности протекания нового непрерывного способа деформирования «прессование-волочение» и влияние его на изменение микроструктуры.

В результате проведенного моделирования было установлено, что протекание данного процесса возможно при соблюдении некоторых технологических факторов, а использование в процессе прессование-волочение равноканальной ступенчатой матрицы благоприятно влияет не только на структуру, но и на схему всестороннего сжатия в большей части матрицы.

Моделирование изменения микроструктуры в процессе деформирования показало, что при использовании совмещенного процесса «прессование-волочение» происходит измельчение исходной структуры и по всему объему заготовки наблюдаться повышенные плотности образованных дислокаций.

Таким образом, процесс прессование-волочение в равноканальной ступенчатой матрице позволяет получить заготовки с равнозернистой структурой и однородным распределением физических свойств по

всему сечению заготовки. Также данный способ деформирования при внедрении его в производство не требует значительных экономических вложений и может быть внедрен на промышленных предприятиях Республики Казахстан по производству проволоки, так как не требует переоборудования существующих волочильных станов, а требуется только добавление в конструкцию оборудования специально изготовленной равноканальной ступенчатой матрицы, предназначенной для протягивания через нее материала.

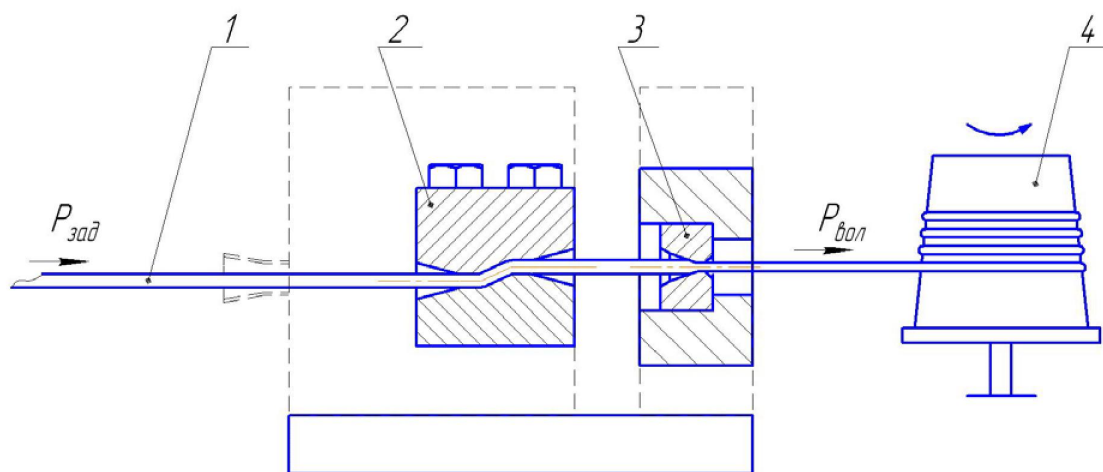
Ключевые слова: моделирование, прессование-волочение, матрица, проволока, микроструктура.

Введение

Разработка ультрамелкозернистых материалов в последние годы становится одной из важнейших задач современного материаловедения, поскольку это открывает возможности разработки технологий получения различных стальных полуфабрикатов в виде листов, прутков, проволоки и других металлоизделий, обладающих уникальными физико-механическими и эксплуатационными свойствами. В настоящее время уже достигнуты большие успехи в получении материалов с ультрамелкозернистой (УМЗ) и нанокристаллической (НК) структурой, сформированной методами интенсивного пластического деформирования (ИПД) [1-4]. Но в большинстве случаев все ранее известные способы обработки металлов давлением, реализующим интенсивные пластические деформации, позволяют получать только небольшие заготовки, имеющие субультрамелкозернистую структуру [5-8]. В то же время в настоящее время возрастает потребность в длинномерных изделиях, обладающих высокими физико-механическими и эксплуатационными свойствами. К таким изделиям можно отнести проволоку и прутки, получаемые из различных металлов и сплавов.

Большинство работ по получению материалов с субмелкокристаллической структурой проведено с использованием метода равноканального углового прессования [9-12]. Этот метод не позволяет достичь экстремальных степеней деформации и измельчения зерна образцов, но его несомненным преимуществом является возможность получения объемных заготовок. Несмотря на все свои преимущества, процесс равноканального углового прессования до сих пор не реализован в промышленных масштабах, и его исследование носит сугубо лабораторный характер [13-14].

Для получения длинномерных размеров разработаны совмещенные процессы, в которых равноканальное угловое прессование осуществляется совместно с прокаткой или с волочением [15-16]. Так, на кафедре «ОМД» Карагандинского индустриального университета был предложен новый способ деформирования заготовок – совмещенный процесс «волочение-прессование» с использованием равноканальной ступенчатой матрицы, который позволяет получать проволоку с субультрамелкозернистой структурой, с применением калибрующего инструмента на выходе (рисунок 1).



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

Рисунок 1 – Схема совмещенного процесса прессование-волочение

Суть предлагаемого способа деформирования заключается в следующем (рисунок 1). 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.

Методы исследования

Как принято в работах по Materials Science новый объект изучения должен быть рассмотрен в единстве и взаимодействии четырех основных аспектов: технологии его получения, результатов исследования структуры, результатов изучения свойств и моделирования основных процессов: процессов технологии, эволюции структуры и связи свойств со структурой [17]. Поэтому в данной статье внимание уделяется моделированию процесса «прессование-волочение».

Моделирование различных процессов деформирования в обработке металлов давлением является актуальной задачей, поскольку оно позволяет исследователю заглянуть «внутрь» процесса, оценить возникающие напряжения и деформации, предсказать появление новых дефектов их развитие и закрытие. Также моделирование позволяет выявить рациональные параметры инструмента и заготовки для наилучшего протекания процесса. А современные программные комплексы моделирования предоставляют широчайшие возможности для работы. Они позволяют смоделировать практически любой процесс, минуя дорогостоящие эксперименты [18].

С целью определения возможности протекания нового непрерывного способа деформирования «прессование-волочение» и влияние его на изменение микроструктуры было проведено моделирование в программном комплексе Deform.

В качестве материала деформируемой заготовки была выбрана сталь марки Ст3. Материал равноканальной матрицы и пуансона были приняты абсолютно жесткими. Температура заготовки, как и температура матрицы, была выбрана равной 20°C - для получения оптимальных значений параметров НДС и усилий деформирования.

Так же для моделируемых экспериментов, согласно литературному обзору, были заданы значения коэффициента трения между заготовкой, матрицей $\mu=0,08$; коэффициент теплообмена с окружающей средой, равный 1; скорость прессования 1мм/с [19].

Результаты исследования

Многократная протяжка проволоки через равноканальную угловую ступенчатую матрицу позволила получить материал с ультрамелкозернистой структурой и улучшить прочностные характеристики протягиваемого материала, однако недостатком данного процесса является изменение поперечного сечения образцов в местах контакта с матрицей (овализация) проволоки (рис. 2), что недопустимо.

Для устранения дефекта геометрии было предложено дополнительно использовать волоку, установленную после равноканальной угловой матрицы для калибровки проволоки и придания требуемого размера и формы профиля поперечного сечения. Данный процесс опять был смоделирован в среде Deform 3D.

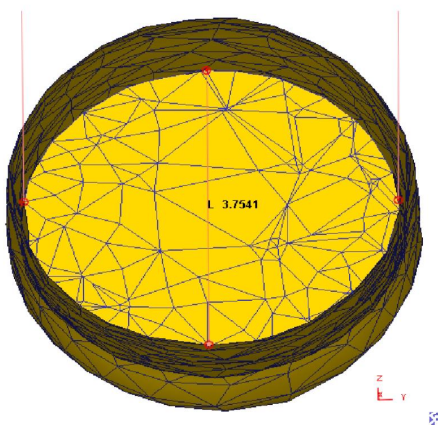
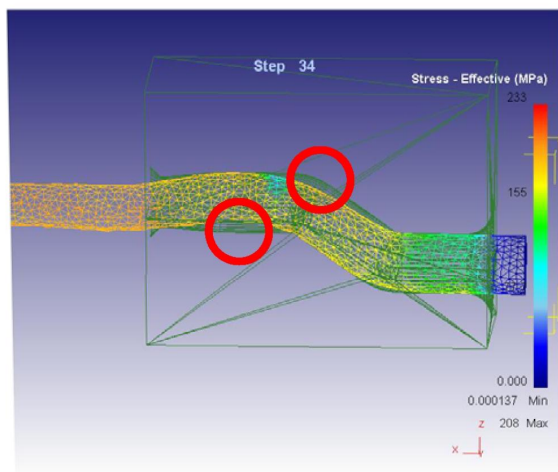


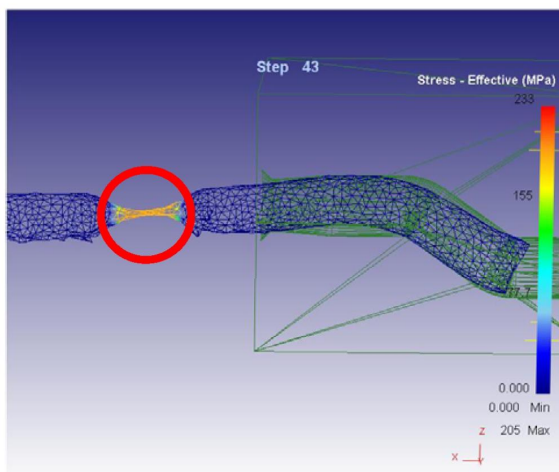
Рисунок 2 – Геометрия поперечного сечения образца

В результате проведенного моделирования было установлено, что протекание данного процесса невозможно из-за чрезмерного возрастания усилия волочения, в разы превышающего предел прочности материала образца, что привело к обрыву проволоки. Пластическая деформация, которая продолжается и после выхода заготовки из инструмента приводит к тому, что возникают затяжки (утонения) и обрывы (рисунок 3б).

Также за счет утонения проволоки при прохождении канала матрицы не происходит полное заполнение его пространства, что также негативно сказывается на прорабатывании поперечного сечения образца (рисунок 3а).



а



б

Рисунок 3 - Моделирование процесса в совмещенной матрице

В ходе выявленных в процессе моделирования недостатков данного процесса нами предлагается к заднему концу задаваемого образца приложить наряду с усилием волочения, заталкивающее усилие. Процесс деформирования по предлагаемой схеме, т.е. прессование-волочение с использованием равноканальной ступенчатой матрицы, волокна и с использованием заталкивающего усилия так же смоделировали в программном комплексе Deform. В ходе проведенного моделирования удалось добиться стабильности протекания процесса. В результате заднего подпора удалось добиться полного заполнения канала матрицы, что улучшит прорабатываемость образца в поперечном сечении (рисунок 4) и исключить обрыв проволоки на выходе из матрицы.

Также хочется отметить, что особенностью последнего варианта совмещенного процесса прессование-волочение процесса является необходимость согласования скоростей заталкивания и вытягивания образца.

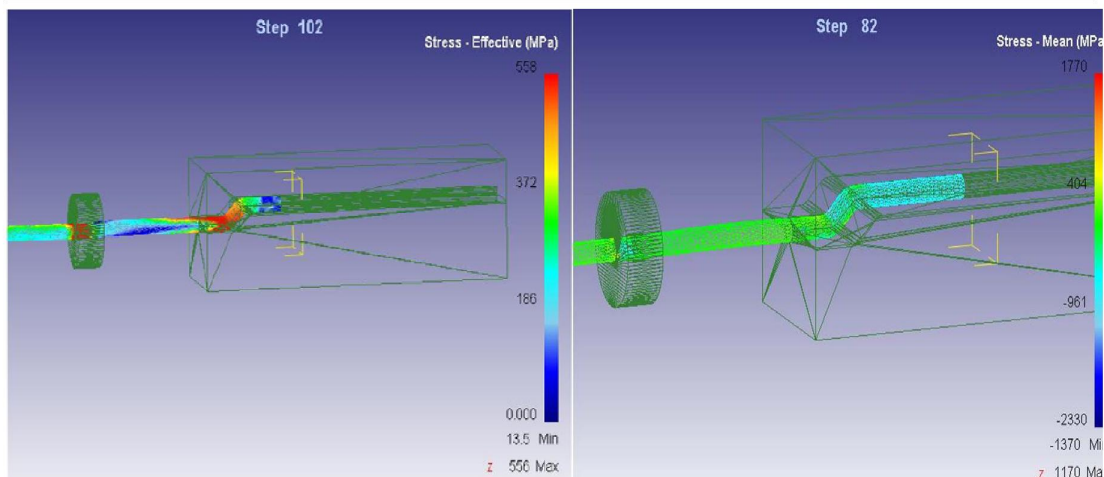


Рисунок 4 - Распределение эквивалентных $\sigma_{\text{экв}}$ (а) и гидростатического (среднее) $\sigma_{\text{ср}}$ (б) напряжений по сечению заготовки

Напряженное состояние заготовки в момент деформирования является важнейшей характеристикой, влияющей на получение качественного металла. Напряженно-деформированное состояние (НДС) при прессовании-волочении было проанализировано по результатам распределения эквивалентного напряжения (stress effective) – $\sigma_{\text{экв}}$.

Анализ полученных результатов показывает, что максимальные значения эквивалентных напряжений при прессовании-волочении сосредоточены в наклонном канале матрицы и волоке. На протяжении всего процесса присутствуют зоны с пониженными значениями напряжений – зоны разгрузки - между матрицей и волокой. Значение эквивалентных напряжений при установившемся процессе практически не изменяются и остаются примерно на одном уровне с незначительными отклонениями до 4-5% (рис. 4а).

Из теории напряжений известно, что знак гидростатического давления характеризует физическое состояние частицы [20]. Когда частица находится под действием растягивающих напряжений гидростатическое давление положительно, и наоборот, когда частица находится под действием сжимающих напряжений гидростатическое напряжение отрицательно. На качество металла (лучшую проработку структуры и заваривание внутренних дефектов) положительно влияет наличие сжимающих напряжений внутри деформируемого тела, возникающих в процессе его деформирования. Эти напряжения можно охарактеризовать распределением среднего напряжения $\sigma_{\text{ср}}$ по сечению заготовки (рис.4б).

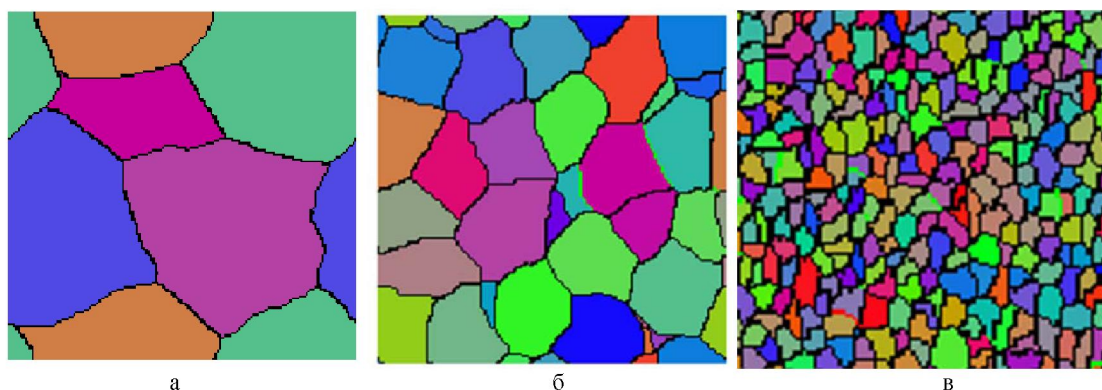
Характер распределения $\sigma_{\text{ср}}$ показывает, что на протяжении всей матрицы, за исключением небольших зон, преобладают сжимающие напряжения, а на выходе из матрицы и в волоке преобладают растягивающие напряжения. Зоны растягивающих напряжений на наклонном канале расположены у верхней стенки, что объясняется повышенным значением коэффициента трения на данном участке, а также действием напряжений изгиба.

Возрастание роли напряжений сжатия в общей схеме напряженного состояния увеличивает пластичность. В условиях резко выраженного всестороннего сжатия является возможным деформировать даже очень хрупкие материалы. Схема всестороннего сжатия является наиболее благоприятной для проявления пластических свойств, так как при этом затрудняется межзеренная деформация и вся деформация протекает за счет внутризеренной. Возрастание роли напряжений растяжения приводит к снижению пластичности. В условиях всестороннего растяжения с малой разностью главных напряжений, когда касательные напряжения малы для начала пластической деформации, даже самые пластичные материалы хрупко разрушаются [19].

Таким образом, схема всестороннего сжатия, обеспечиваемая в большей части матрицы, гарантирует отсутствие макро- и микротрещин в металле и благоприятствует максимальной степени пластичности деформируемой заготовки в матрице, а затем и волоке.

После получения удачной модели нами было принято решение о проведении исследований влияния нового непрерывного способа деформирования «прессование-волочение» на эволюцию микроструктуры. Для исследования влияния нового непрерывного способа деформирования «прессование-волочение» на размер зерна металла деформируемой проволоки провели моделируемый эксперимент с помощью программы Deform-3D, а точнее при помощи его вспомогательного модуля Microstructure-3D. Этот модуль позволяет рассматривать эволюцию микроструктуры на каждом шаге деформирования с целью определения необходимого числа циклов деформирования для получения наноструктуры, не прибегая к реальному эксперименту.

Результаты моделирования с целью изучения влияния нового непрерывного способа деформирования «прессование-волочение» на эволюцию микроструктуры представлены на рисунке 5.



а – начальное (недеформированное) зерно; $d_{cp}=50,0$ мкм; б – первый цикл деформирования; $d_{cp}=31,0$ мкм; в – третий цикл деформирования; $d_{cp}=15,0$ мкм

Рисунок 5 – Данные по микроструктуре в программном комплексе

Из результатов моделирования микроструктуры видно, что при использовании совмещенного процесса «прессование-волочение» происходит измельчение исходной структуры, и по всему объему заготовки наблюдаются повышенные плотности образованных дислокаций. Таким образом, процесс прессование-волочение в равноканальной ступенчатой матрице позволяет получить заготовки с равнозернистой структурой и однородным распределением физических свойств по всему сечению заготовки.

Выводы:

На основании полученных данных можно с уверенностью сделать вывод о возможности протекания совмещенного процесса «прессование-волочение». Использование же в данном процессе равноканальной ступенчатой матрицы благоприятно влияет не только на структуру, но и на схему всестороннего сжатия в большей части матрицы, обеспечивающую отсутствие макро- и микротрещин в металле и благоприятствующую максимальной степени пластичности деформируемой заготовки в матрице, а затем и волоке.

REFERENCES

- [1] 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
- [2] Mao ZP, Ma J, Wang J, Sun BD. (2009) The effect of powder preparation method on the corrosion and mechanical properties of TiN – based coating by reactive plasma spraying, *Applied surface science*, 6:3784-3788.
- [3] Liakishev N. Alimov M. (2007) Preparation and physico-mechanical properties of bulk nanocrystalline materials. ЭЛИЗ, Moscow. ISBN: 978-5-901179-07-9 (In Russian)
- [4] 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
- [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] Slesarenko V. Yu., Gunderov D. A., Ulyanov P. G., Valiev R. Z. (2014) Formation of amorphous states in $Ti_{50}Ni_{25}Cu_{25}$ alloy subjected to severe plastic deformation, *Nanoglass issue*, IOP Conf. Series, Materials Science and Engineering. P63. DOI:10.1088/1757-899X/63/1/012166

- [7] Zhilyaev A. P., Langdon T. G. (2008) Using high-pressure torsion for metal processing: Fundamentals and applications, Progress in Materials Science, 53:893–979
- [8] 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)
- [9] Valiev R.Z., Alexandrov I.V. (2000) Nanostructured materials obtained by severe plastic deformation. Logos, Moscow. ISBN: 5-9221-0582-5 (In Russian)
- [10] Raab G., Valiev R., Lowe T., Zhu Y. (2004) Continuous processing of ultrafine grained Al by ECAP-Conform, Materials Science and Engineering, 382: 30-34
- [11] Nayzabekov 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] Nayzabekov 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)
- [13] 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
- [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] 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. DOI: 10.1007/s10853-013-7279-8
- [16] Azbanbaev E.M. (2011) The technology of production of metals and recycled materials [Tehnologija proizvodstva metallov i vtorichnyh materialov] 1:12-16. (In Russian)
- [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] Naizabekov A., Lezhnev S., Volokitina I., Panin E. (2014) Computer modeling of the rolling process of reinforcing steel, Advanced Materials Research, Vol.1030-1032:1286-1291.DOI:10.4028/www.scientific.net/AMR.1030-1032.1286
- [19] Gromov N.P. (1978) Theory of metal forming [Teoriya obrabotki metallov davleniem] M.: Metallurgy., 360 p. (In Russian)
- [20] Raab G.I., Aleksandrov I.V., Budilov I.N. (2001) Perspective technologies of physical and chemical dimensional processing and shaping of operational properties of metals and alloys [Perspektivnye tehnologii fiziko-himicheskoy razmernoj obrabotki i formirovaniya jekspluatatsionnyh svoystv metallov i splavov] 5:295-301. (In Russian)

ӨОЖ: 621.771

А.В. Волокитин¹, Г.Г. Курапов¹, И.Е. Волокитина², Е.А. Панин²

¹ Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Алматы қ., Қазақстан;

² Қарағанды мемлекеттік индустриалық университеті, Теміртау қ., Қазақстан

БАСПАЛАУ-СОЗУ АРАЛАС ПРОЦЕСІНІҢ МОДЕЛЬДЕУ

Аннотация. Аталған жұмыста «баспалау-созу» жаңа үздіксіз деформациялау тәсілінің өту мүмкіндік-терін және оның микроқұрылымды өзгертуін анықтау мақсатында DEFORM бағдарламалық кешенінде модельдеу іске асырылған.

Модельдеуді іске асыру барысында аталған үрдістің өтуі кейбір технологиялық факторларды сақтаған жағдайда мүмкін болатындығы анықталды, ал «баспалау-созу» процесінде тең арналы сатылы матрицаны қолдану құрылымға ғана қолайлы әсер етіп қоймай, сондай-ақ матрицаның кең бөлігіндегі жан-жақты қысу схемасына да қолайлы әсер етеді.

Деформациялау процесі барысындағы микроқұрылымның өзгерісін модельдеу «баспалау-созу» процестерін біріктіре қолданған кезде бастапқы құрылымның ұсақталатындығын және дайындаманың бүкіл көлемі бойынша түзілген дислокациялардың тығыздығы артатындығын көрсетті.

Осылайша, тең арналы сатылы матрицада баспалау-созу процесі түйіршіктері бірдей және бүкіл қимасы бойынша физикалық қасиеттерінің таралуы бірқалыпты болатын дайындама алуға мүмкіндік береді. Осымен қоса, аталған деформациялау тәсілін өндіріске енгізу айтарлықтай экономикалық салымдарды талап етпейді және үрдісті Қазақстан Республикасының сым өндірумен айналысатын өнеркәсіптік кәсіпорындарына енгізуге болады, себебі үрдісі қолданыстағы созу стандартын қайта жабдықтауды қажет етпейді, тек арнасы-нан материалды тартып созуға арналған арнайы тең арналы сатылы матрицаны созу станының конструкция-сына қосу жеткілікті.

Түйін сөздер: үлгілеу, баспалау-созу, матрица, сым, микроқұрылым.

Сведения об авторах

Волокитин А.В. - Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, докторант PhD, магистр, +77012509363, dyusha.vav@mail.ru;

Курапов Г.Г. - Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, к.х.н., профессор, +77762861940, kurapov1940@mail.ru;

Волокитина И.Е. - Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан, докторант PhD, магистр, +77477115005, irinka.vav@mail.ru;

Панин Е.А. - Карагандинский государственный индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан, магистр, +77017754616, cooper802@mail.ru