



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-4-106-111>
УДК 621.735

Поступила 25.09.2021
Received 25.09.2021

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ МИКРОСТРУКТУРЫ ЭКОНОМНО-ЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ 7ХГ2ВМ В ПРОЦЕССЕ КОВКИ В ИНСТРУМЕНТЕ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ, РЕАЛИЗУЮЩЕМ СДВИГОВЫЕ ДЕФОРМАЦИИ

С. Н. ЛЕЖНЕВ, А. Б. НАЙЗАБЕКОВ, И. Е. ВОЛОКИТИНА, Рудненский индустриальный институт, г. Рудный, Казахстан, ул. 50 лет Октября, 38. E-mail: legnev@mail.ru
Е. А. ПАНИН, Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан, пр. Республики, 30. E-mail: cooper802@mail.ru
Д. В. КУИС, Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь, ул. Свердлова, 13а. E-mail: KuisDV@belstu.by
И. Н. СТЕПАНКИН, Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого, г. Гомель, Беларусь, пр. Октября 48. E-mail: igor-stepankin@mail.ru

В данной работе рассмотрена новая технология ковки, позволяющая реализовать в процессе деформирования интенсивные сдвиговые деформации, и инструмент для ее реализации и выявлено влияние предлагаемой технологии ковки на эволюцию микроструктуры экономнолегированной стали 7ХГ2ВМ. Сравнительный анализ результатов микроструктуры при ковке заготовок из стали марки 7ХГ2ВМ по предлагаемой и действующей технологиям доказывает целесообразность использования инструмента новой конструкции вместо применяемых в настоящее время плоских бойков, так как ковка в предлагаемом кузнечном инструменте обеспечивает более интенсивную и равномерную проработку литой структуры по всему сечению заготовки по сравнению с ковкой в плоских бойках.

Ключевые слова. Ковка, протяжка, сдвиговая деформация, микроструктура.

Для цитирования. Лежнев, С. Н. Исследование эволюции микроструктуры экономнолегированной стали 7ХГ2ВМ в процессе ковки в инструменте новой конструкции, реализующем сдвиговые деформации / С. Н. Лежнев, А. Б. Найзабеков, И. Е. Волокитина, Е. А. Панин, Д. В. Куис, И. Н. Степанкин // *Литье и металлургия*. 2021. № 4. С. 106–111. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-4-106-111>.

INVESTIGATION OF THE MICROSTRUCTURE EVOLUTION OF 7CrMn2WMo ECONOMY-ALLOYED STEEL IN A NEW DESIGN FORGING TOOL IMPLEMENTING SHEAR DEFORMATIONS

S. N. LEZHNEV, A. B. NAIZABEKOV, I. E. VOLOKITINA, Rudny Industrial Institute, Rudny, Kazakhstan, 38, 50 let Oktyabrya str. E-mail: legnev@mail.ru
E. A. PANIN, Karaganda Industrial University, Temirtau, Kazakhstan, 30, Republik ave. E-mail: cooper802@mail.ru
D. V. KUIS, Belarusian State Technological University, Minsk, Belarus, 13a, Sverdlova str. E-mail: KuisDV@belstu.by
I. N. STEPANKIN, Gomel State Technical University named after P. O. Sukhoj, Gomel, Belarus, 48, Oktyabrya ave. E-mail: igor-stepankin@mail.ru

In this paper, a new forging technology realizing intense shear deformations during processing with a tool for its implementation was considered, and the influence of the proposed forging technology on the microstructure evolution of 7CrMn2WMo economy-alloyed steel was revealed. A comparative analysis of the results of the microstructure evolution when forging blanks made of 7CrMn2WMo steel according to the proposed and current technologies proves the usefulness of a new design tool instead of the currently used flat strikers, since forging in the proposed forging tool provides more intensive and uniform processing of the cast structure over the entire section of the workpiece compared to forging in the flat strikers.

Keywords. Forging, fullering, shear deformation, microstructure.

For citation. Lezhnev S. N., Naizabekov A. B., Volokitina I. E., Panin E. A., Kuis D. V., Stepankin I. N. Investigation of the microstructure evolution of 7CrMn2WMo economy-alloyed steel in a new design forging tool implementing shear deformations. *Foundry production and metallurgy*, 2021, no. 4, pp. 106–111. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-4-106-111>.

Экономическое и социальное развитие Республики Казахстан, как и многих других стран мира, в значительной мере определяется ростом объема производства металлов, расширением сортамента изделий из металлов и сплавов и повышением их качественных показателей. Но, к сожалению, применяемые в настоящее время технологии и оборудование как крупными, так и мелкими металлургическими и машиностроительными производителями в Казахстане, в частности кузнечно-прессовое производство, можно считать давно устаревшими и малоэффективными. Общей проблемой для всех является высокая энергоемкость производства, низкая его производительность и качество выпускаемых поковок и заготовок. Именно поковки и заготовки служат исходными материалами для изготовления высококачественных деталей и изделий на предприятиях транспортного и горно-металлургического машиностроения.

Поскольку при выплавке металла неизбежно возникают литейные дефекты, преимущественно в осевых зонах: химическая неоднородность в виде зональной и дендритной ликваций, глубокое расположение усадочных раковин и рыхлости, подкорковые пузыри и плены, а также ряд других, связанных с процессами разлива, кристаллизации и охлаждения стали в изложницах в объеме металла, то перед кузнечно-штамповочным производством стоит задача получить качественный металл с заваренными дефектами при небольших энергозатратах. Решение этой задачи приводит к снижению удельных трудо- и энергозатрат и увеличению выхода годного металла. Как известно, при использовании традиционных операций обработки металлов давлением для повышения качества металла необходимо значительно изменять размеры заготовки, что приводит к значительным энерго- и трудозатратам [1]. Техническое же решение этих проблем основано на реализации сдвиговых и знакопеременных деформаций во всем объеме деформируемого тела [2, 3], т.е. для качественной проработки литой структуры, позволяющей получить поковки и заготовки с заданным уровнем механических свойств, необходимо так построить технологический процесс деформирования, чтобы достаточная сдвиговая (знакопеременная) деформация происходила во всем деформируемом объеме [3]. Ранее чаще всего это достигалось увеличением общего обжатия слитка или исходной заготовки. Преимуществоковки с большими единичными обжатиями состоит в уменьшении абсолютных размеров начальной зоны затрудненной деформации, соответственно увеличивается объем металла, в котором распространены поверхности сдвигов, а области эффективной проработки металла сдвиговыми деформациями охватывают большую часть сечения заготовки, но это приводит одновременно и к существенному росту энерго- и трудозатрат.

Использование зон локализации сдвиговых деформаций может явиться полезным для преобразования литой структуры при уменьшении необходимого общего обжатия, что вместе с регулированием положения зон на практике может быть достигнуто макросдвигом. Технически это достигается несколькими способами. Так, за последнее время в области обработки металлов давлением разработан ряд способов обработки заготовок, направленных на развитие знакопеременных и дополнительных сдвиговых деформаций в объеме деформируемого металла. К таким способам относятся осадка с кручением [4], деформирование с несимметричным приложением нагрузки [5], протяжка заготовки в инструментах со сложным движением бойков [6–8] и многие другие [9–13]. В том числе разработан целый ряд кузнечных инструментов [14–19], позволяющих реализовывать в металле сдвиговые или знакопеременные деформации, что способствует повышению качества поволоков и заготовок.

Также к инструментам, реализующим дополнительные сдвиговые деформации в объеме деформируемого металла, можно отнести и инструмент для протяжки заготовок [20] (рис. 1).

При реализации деформирования в предлагаемом инструменте заготовка на первом и втором этапах подвергается двум типам деформации:

1) осадка, которая вызывается движением одного бойка в сторону другого;

2) простой сдвиг, возникающий в поперечном направлении заготовки при деформировании ее наклонными рабочими поверхностями бойков.

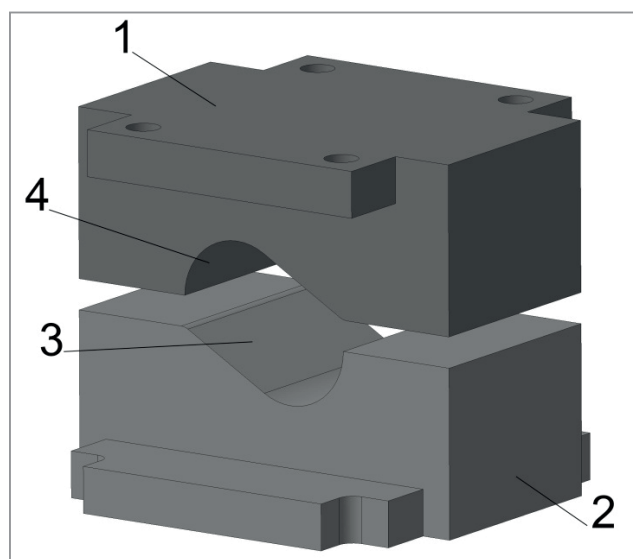


Рис. 1. Инструмент для протяжки заготовок:
1 – верхний боек; 2 – нижний боек; 3 – плоская рабочая поверхность бойка; 4 – рабочая поверхность бойка, выполненная в виде сегмента окружности

На втором этапе деформирования заготовка подвергается кантовке на 90° и последующей аналогичной протяжке в данных бойках (рис. 2), т.е. заготовка подвергается тем же двум типам деформации: осадке и сдвигу. Однако в этом случае процесс формоизменения протекает в направлении, перпендикулярном предыдущему, что способствует проработке заготовки по всему поперечному сечению.

Для проведения лабораторного эксперимента по изучению влияния новой технологииковки поковок в бойках новой конструкции на эволюцию микроструктуры были подготовлены заготовки из стали марки 7ХГ2ВМ размерами $D \times L = 40 \times 250$ мм. Для восстановления начальной структуры заготовки из стали 7ХГ2ВМ перед деформированием подвергали отжигу при температуре 780°C с выдержкой 40 мин в камерной печи сопротивления.

Деформирование заготовок в лабораторных условиях проводили на гидравлическом прессе усилием 1,25 МН. Деформирование заготовок осуществляли следующим образом. Заготовки нагревали до температуры началаковки 1100°C , а затем их подавали в бойки новой конструкции и деформировали по схеме, представленной на рис. 2. Далее, чтобы приблизить форму поперечного сечения продеформированной заготовки к круглой, нами была проведена серия обжатий заготовки в данных бойках с кантовкой ее сначала на 45° , а потом и на 30° . В результате были получены заготовки с формой поперечного сечения, приближенной к кругу, и имеющие диаметр (усредненный) 31,4 мм.

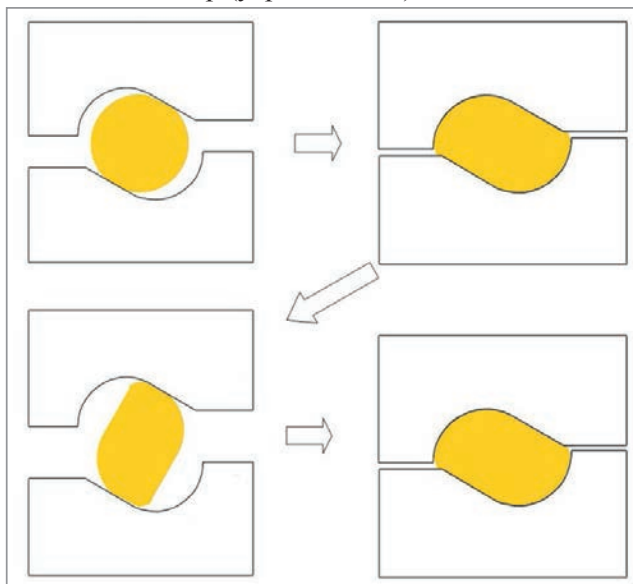


Рис. 2. Схемаковки (протяжки) заготовок в бойках новой конструкции

Для проведения сравнительного анализа вторая партия заготовок из стали марки 7ХГ2ВМ аналогичного типоразмера была подвергнута протяжке в плоских бойках до диаметра 31,4 мм, т.е. с уковом 1,62.

Для изучения микроструктуры из всех продеформированных заготовок были вырезаны темплеты в продольном и поперечном направлениях и подготовлены микрошлифы на полировально-шлифовальном станке SAPFIR 520. Также были подготовлены микрошлифы из исходных недеформированных (после отжига) заготовок.

Проведенный с помощью оптической микроскопии на микроскопе Olympus VX63М микроструктурный анализ показал, что микроструктура недеформированной стали марки 7ХГ2ВМ представляла собой структуру перлита и цементита (рис. 3). Проведенный предварительный отжиг позволил получить равноосную мелкозернистую структуру. За счет отжига произошло полное снятие внутренних напряжений и данный металл обладает хорошей пластичностью и вязкостью, что так необходимо для проведения последующейковки.

Результаты исследования микроструктуры образцов из стали марки 7ХГ2ВМ после деформирования по предлагаемой технологии в бойках новой конструкции и по действующей технологии в плоских бойках приведены на рис. 4 и в таблице.

Анализ микроструктуры продеформированных образцов показал, чтоковка в плоских бойках с уковом 1,62 приводит к незначительному измельчению зерна, структура неравномерна, в продольном сечении заготовки происходит формирование более мелких зерен, чем в поперечном направлении (рис. 4, а, б). При этом микроструктура характеризуется наличием как рекристаллизованных, так и деформированных зерен.

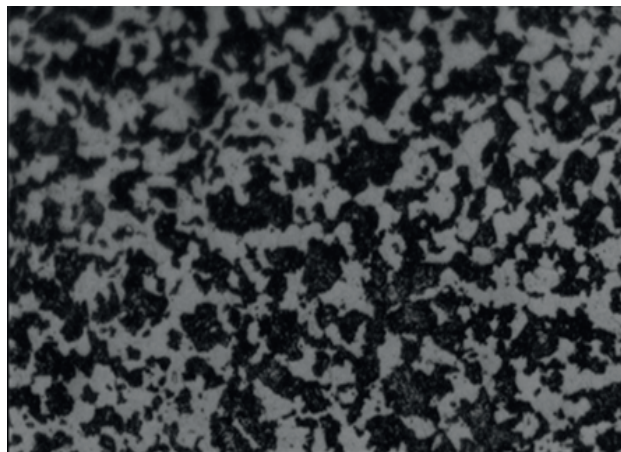
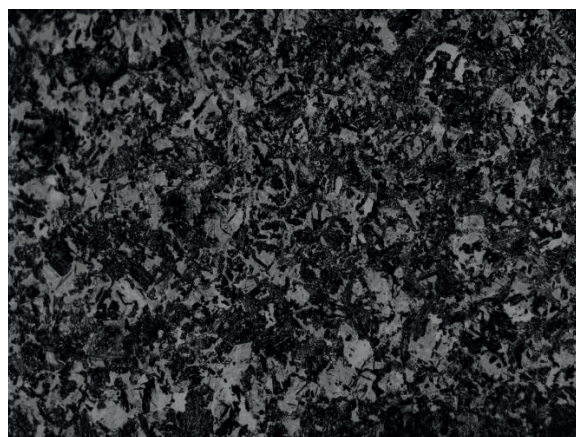


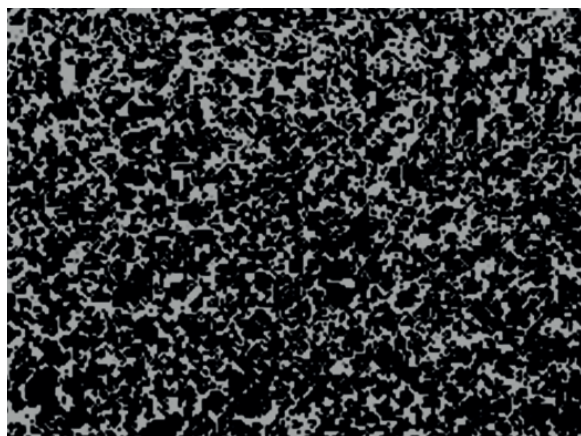
Рис. 3. Микроструктура стали марки 7ХГ2ВМ в исходном состоянии (после гомогенизирующего отжига). $\times 200$



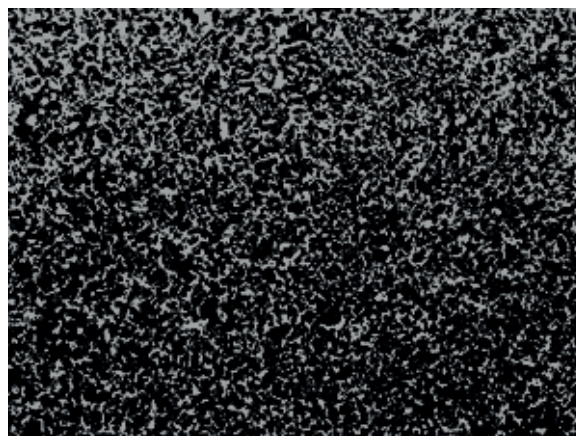
a



б



в



г

Рис. 4. Микроструктура стали марки 7ХГ2ВМ послековки. $\times 200$:
a, б – плоские бойки (*a* – поперечное направление; *б* – продольное направление);
в, г – новый инструмент (*в* – поперечное направление; *г* – продольное направление)

Результаты определения среднего размера зерна стали марки 7ХГ2ВМ

Инструмент	Направление изучения	Исходный (средний) размер зерна, мкм	Средний размер зерна после деформирования, мкм
Бойки новой конструкции	Поперечное	28	14
	Продольное		15
Плоские бойки	Поперечное		22
	Продольное		18

Послековки в новом инструменте полученная структура более мелкозернистая и однородная как в продольном, так и поперечном сечениях (рис. 4, в, з). Полученная структура фрагментирована и содержит значительное число дислокаций и других дефектов кристаллической решетки. Дисперсные выделения карбидных и нитридных фаз препятствуют движению дислокаций в такой стали, вызывая упрочнение матрицы. Присутствие в составе стали относительно не высоких концентраций карбидообразующих элементов и углерода предопределяет получение очень благоприятного распределения избыточных карбидов в ковном металле.

Выводы

Анализ результатов проведенных металлографических исследований показывает, что развитие значительных сдвиговых (знакопеременных) деформаций во всем объеме деформируемого тела при деформировании заготовок из стали 7ХГ2ВМ в предлагаемом кузнечном инструменте позволяет лучше прорабатывать литую структуру металла с получением мелкого равноосного зерна по всему объему деформированной заготовки без существенного изменения ее исходных размеров по сравнению с ковкой аналогичных заготовок по действующей технологии в плоских бойках.

Данное исследование финансировалось Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан (Грант № AP09259236).

ЛИТЕРАТУРА

1. **Охрименко Я. М., Тюрин В. А.** Неравномерность деформации при ковке. М.: Машиностроение, 1979. 182 с.
2. **Найзабеков А. Б.** Условия развития сдвиговых деформаций при ковке. Алматы: Гылым, 1997. 185 с.
3. **Найзабеков А. Б.** Научные и технологические основы повышения эффективности процессовковки при знакопеременных деформациях. Алматы, 2000. 336 с.
4. **Бурлаков И. А., Забелян Д. М., Петров П. А., Степанов Б. А., Бач Ву Чонг.** Применение метода активного эксперимента для определения структуры и пластичности в зависимости от технологических режимов осадки с кручением // Изв. ТулГУ. Технические науки. 2019. № 5. С. 228–234.
5. **Алиев И. С., Жбанков Я. Г., Таган Л. В.** Моделирование кузнечной протяжки в комбинированных бойках несимметричной формы // Вестн. НТУУ «КПИ». Сер. машиностроение. 2013. № 3. С. 77–83.
6. **Сегал В. М., Резников В. И., Павлик Д. А.** Технологические особенностиковки-протяжки с продольным сдвигом бойков // Кузнечно-штамповочное производство. 1980. № 11. С. 8–10.
7. **Naizabekov A. B., Lezhnev S. N., Panin E. A.** Research of the deformation process of blanks in the dies with elastic elements // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. 2017. Vol. 52. No. 2. P. 205–212.
8. **Найзабеков А. Б., Лежнев С. Н., Ногаев К. А., Голумбовская С. Ю.** Роль конструктивных параметров кузнечных инструментов при реализации поперечного сдвига // Тр. университета. 2005. № 4. С. 37–39.
9. **Zhang R., Li Z., Sheng X., Gao Y., Lei Q.** Grain refinement and mechanical properties improvements in a high strength Cu–Ni–Si alloy during multidirectional forging // Fusion Engineering and Design. 2020. Vol. 159. No 111766.
10. **Тюрин В. А.** Инновационные технологииковки с применением макросдвигов // Кузнечно-штамповочное производство. 2007. № 11. С. 15–20.
11. **Каргин С. Б.** Инновационные технологииковки крупных поковок // Обработка материалов давлением. 2012. № 2. С. 101–106.
12. **Андреященко В. А.** Кузнечная протяжка цилиндрических заготовок // Успехи современного естествознания. 2015. № 1. С. 1155–1159.
13. **Черный Б. П.** Новая технология и оборудование для радиальнойковки заготовок из благородных металлов с высокими обжатиями и дополнительными макросдвигами // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. 2005. № 1. С. 39–43.
14. **Найзабеков А. Б., Нурсентов Б. Н., Акбиев К. А.** Влияние формы инструмента на качество поковок // Сталь. 1995. № 5. С. 61–64.
15. **Богаатов А. А., Нухов Д. Ш.** Разработка способа кузнечной протяжки без изменения формы и размеров исходной заготовки // Вестн. МГТУ им. Г. И. Носова. 2015. № 4. С. 16–21.
16. **Машеков С. А., Биякаева Н. Т., Нуртазаев А. Е.** Технологияковки в инструменте с изменяющейся формой. Павлодар: Кереку, 2008. 485 с.
17. **Найзабеков А. Б., Ашкеев Ж. А.** Деформированное состояние заготовок в бойках с трапециевидными выступом и впадиной // Изв. вузов. Черная металлургия. 1998. № 4. С. 13–14.
18. **Марков О. Е.** Исследование технологического процессаковки крупных поковок клиновыми бойками // Изв. вузов. Черная металлургия. 2012. № 12. С. 24–27.
19. **Волокитин А. В., Толкушкин А. О., Панин Е. А., Волокитина И. Е.** Исследование закрытия внутренних дефектов заготовки при протяжке в ступенчато-клиновидных бойках // Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии: материалы Междунар. науч.-техн. конф. 2021. С. 35–36.
20. Инструмент для протяжки заготовок: пат. 5700 РК. И. Е. Волокитина, А. Б. Найзабеков, С. Н. Лежнев, Е. А. Панин, А. В. Волокитин, 2020. Бюл. 52.

REFERENCES

1. **Ohrimenko YA.M., Tyurin V.A.** *Neravnomernost' deformatsii pri kovke* [Unevenness of deformation during forging]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1979. 182 p.
2. **Naizabekov A.B.** *Usloviya razvitiya sdivgovykh deformatsij pri kovke* [Conditions for the development of shear deformations during forging]. Almaty, Gylm Publ., 1997. 185 p.
3. **Naizabekov A.B.** *Nauchnye i tekhnologicheskie osnovy povysheniya effektivnosti processov kovki pri znakoperemennykh deformatsiyah* [Scientific and technological bases for improving the efficiency of forging processes under alternating deformations]. Almaty, 2000. 336 p.
4. **Burlakov I.A., Zabel'yan D.M., Petrov P.A., Stepanov B.A., Bach Vu Chong.** Primenenie metoda aktivnogo eksperimenta dlya opredeleniya struktury i plastichnosti v zavisimosti ot tekhnologicheskikh rezhimov osadki s krucheniem [Application of the method of active experiment to determine the structure and plasticity depending on the technological modes of torsion precipitation]. *Izvestiya TulGU. Tekhnicheskie nauki = News of TulSU. Technical Sciences*, 2019, no. 5, pp. 228–234.
5. **Aliev I.S., Zhbakov Ya.G., Tagan L.V.** Modelirovanie kuznechnoy protyazhki v kombinirovannykh bojkah nesimmetrichnoj formy [Modelling of forging broaching in combined strikers of an asymmetric shape]. *Vestnik NTUU «KPI». Seriya mashinostroenie = Bulletin of NTUU “KPI”. Mechanical Engineering Series*, 2013, no. 3, pp. 77–83.
6. **Segal V.M., Reznikov V.I., Pavlik D.A.** Tekhnologicheskie osobennosti kovki-protyazhki s prodol'nym sdivgom bojkov [Technological features of forging-broaching with a longitudinal shift of the strikers]. *Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo = Forging and stamping production*, 1980, no. 11, pp. 8–10.
7. **Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Panin E.A.** Research of the deformation process of blanks in the dies with elastic elements. *Journal of Chemical Technology and Metallurgy*, 2017, vol. 52, no. 2, pp. 205–212.
8. **Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Nogaev K.A., Golumbovskaya S.Yu.** Rol' konstruktivnykh parametrov kuznechnykh instrumentov pri realizatsii poperechnogo sdivga [Role of design parameters of forging tools in the implementation of transverse shear]. *Trudy Universiteta = Proceedings of the University*, 2005, no. 4, pp. 37–39.
9. **Zhang R., Li Z., Sheng X., Gao Y., Lei Q.** Grain refinement and mechanical properties improvements in a high strength Cu-Ni-Si alloy during multidirectional forging. *Fusion Engineering and Design*, 2020, vol. 159, no. 111766.
10. **Tyurin V.A.** Innovatsionnye tekhnologii kovki s primeneniem makrosdivgov [Innovative forging technologies using macro-shifts]. *Kuznechno-shtampovoye proizvodstvo = Forging and stamping production*, 2007, no.11, pp. 15–20.
11. **Kargin S.B.** Innovatsionnye tekhnologii kovki krupnykh pokovok [Innovative technologies for forging large blanks]. *Obrabotka materialov davleniem = Processing of materials by pressure*, 2012, no. 2, pp. 101–106.
12. **Andreyashchenko V.A.** Kuznechnaya protyazhka cilindricheskikh zagotovok [Forging broaching of cylindrical blanks]. *Uspekhi sovremennoogo estestvoznaniya = Successes of Modern Natural Science*, 2015, no. 1, pp. 1155–1159.
13. **Cherny B.P.** Novaya tekhnologiya i oborudovanie dlya radial'noj kovki zagotovok iz blagorodnykh metallov s vysokimi obzhatiyami i dopolnitel'nymi makrosdivgami [New technology and equipment for radial forging of precious metal blanks with high compression and additional macro-shifts]. *Vostochno-Evropejskiy zhurnal peredovykh tekhnologij = East-European Journal of Advanced Technologies*, 2005, no. 1, pp. 39–43.
14. **Naizabekov A.B., Nurseitov B.N., Akbiev K.A.** Vliyanie formy instrumenta na kachestvo pokovok [Influence of tool shape on the quality of forgings]. *Stal' = Steel*, 1995, no. 5, pp. 61–64.
15. **Bogatov A.A., Nukhov D.Sh.** Razrabotka sposoba kuznechnoy protyazhki bez izmeneniya formy i razmerov iskhodnoj zagotovki [Development of a method of forging broaching without changing the shape and size of the initial workpiece]. *Vestnik MGТУ im. G.I. Nosova = Bulletin of Magnitogorsk State Technical University named after G.I. Nosov*, 2015, no. 4, pp. 16–21.
16. **Mashekov S.A., Biyakaeva N.T., Nurtazaev A.E.** *Tekhnologiya kovki v instrumente s izmenyayushchejsya formoj* [Forging technology in a tool with a changing shape]. Pavlodar, Kereku Publ., 2008, 485 p.
17. **Naizabekov A.B., Ashkeev Zh.A.** Deformirovannoe sostoyanie zagotovok v bojkah s trapecevidnymi vystupom i vpadinoy [Strain state of blanks in strikers with trapezoidal protrusion and depression]. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya = Proceedings of high schools. Ferrous Metallurgy*, 1998, no. 4, pp. 13–14.
18. **Markov O.E.** Issledovanie tekhnologicheskogo processa kovki krupnykh pokovok klinovymi bojkami [Research of the technological process of forging large forgings with wedge strikers]. *Izv. vuzov. Chernaya metallurgiya = Proceedings of high schools. Ferrous Metallurgy*, 2012, no. 12, pp. 24–27.
19. **Volokitin A.V., Tolkushkin A.O., Panin E.A., Volokitina I.E.** Issledovanie zakrytiya vnutrennih defektov zagotovki pri protyazhke v stupenchato-klinovidnykh bojkah [Investigation of the closure of internal defects of the workpiece during broaching in step-wedge strikers.]. *Materialy, oborudovanie i resursosberegayushchie tekhnologii: materialy Mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferentsii = Materials, equipment and resource-saving technologies: materials of the International Scientific and Technical Conference*, 2021, pp. 35–36.
20. **Volokitina I.E., Naizabekov A.B., Lezhnev S.N., Panin E.A., Volokitin A.V.** *Instrument dlya protyazhki zagotovok* [Tool for broaching workpieces]. RK Patent for utility model No. 5700. 2020.