

РАЗРАБОТКА И КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НОВОЙ ТЕХНОЛОГИИ КОВКИ С ДОПОЛНИТЕЛЬНЫМ МАКРОСДВИГОМ

DEVELOPMENT AND COMPUTER SIMULATION OF A NEW FORGING TECHNOLOGY WITH AN ADDITIONAL MACRO-SHIFT

c.t.s. Lezhnev S.¹, d.t.s., prof. Naizabekov A.¹, PhD Panin E.², c.t.s. Kuis D.³, c.t.s. Stepankin I.⁴

¹Rudny industrial Institute, 50 let Oktyabrya str. 38, Rudny, 115000, Kazakhstan; e-mail: sergey_legnev@mail.ru

²Karaganda Industrial University, Republic av. 30, Temirtau, 101400, Kazakhstan; e-mail: cooper802@mail.ru

³Belarusian State Technological University, Sverdlova str. 13a, Minsk, 220006, Belarus; e-mail: dmitrykuis@mail.ru

⁴Pavel Sukhoi State Technical University of Gomel, Oktyabrya av. 48, Gomel, 246746, Belarus; e-mail: igor-stepankin@mail.ru

Abstract: The paper presents the results of computer simulation of the process of forging round blanks in the strikers of the new design. It is shown that the use of a radial joint of the faces has a favorable effect on the stress distribution along the entire length of the metal-tool contact. The analysis of models with different angles of inclination of flat faces showed that the best option is to use strikers with an angle of 30°, since in this case a fairly extensive distribution of strain over the cross section occurs in the workpiece with a significantly lower deformation force than when using strikers with an angle of 0°.

KEYWORDS: FORGING, BROACHING, SHEAR DEFORMATION, COMPUTER MODELING, STRESS-STRAIN STATE

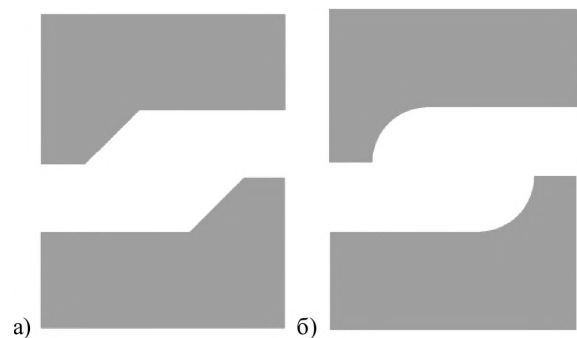
1. Введение

Несмотря на бурное развитие металлургических процессов производства полуфабрикатов, направленных на совершенствование режимов выплавки, разлива и кристаллизации, существенное улучшение свойств любого литого металла, обеспечивающее его широкое применение в современном машиностроении, достигается путем его горячей обработки давлением. Основными аргументами применения горячей обработки металлов давлением, и именноковки, являются: придание металлу необходимой формы и размеров по возможности ближе к конфигурации и размерам детали с наименьшими затратами; устранение дефектов литой структуры; повышение качества металла преобразованием литой структуры в деформированную; распределение свойств металла в объеме поковки и заготовки по закону, удовлетворяющему эксплуатации данной детали на стадии изготовления пластическим деформированием.

В традиционных операциях обработки металлов давлением для повышения качества металла за счет измельчения структуры до мелкозернистого состояния необходимо значительно изменять размеры заготовки, что приводит к значительным энерго- и трудовым затратам. Техническое же решение этих проблем основано на реализации сдвиговых и знакопеременных деформаций [1]. Поэтому для проработки литой структуры с получением качественного металла с однородной или направленно текстурированной мелкозернистой структурой во всем объеме заготовки необходимо так построить технологический процесс деформирования, чтобы достаточная сдвиговая и знакопеременная деформация происходила во всем деформирующем объеме. То есть для качественной проработки литой структуры, позволяющей получить поковки и заготовки с заданным уровнем механических свойств, необходимо так построить технологический процесс деформирования, чтобы достаточная сдвиговая (или знакопеременная) деформация происходила во всем деформируемом объеме [2]. Ранее чаще всего это достигалось увеличением общего обжатия слитка или исходной заготовки. Сейчас же для решения данной задачи разработан целый ряд новых технологических процессов ковки и инструментов для их реализации [3-11], позволяющих реализовывать в процессе деформирования помимо обычного обжатия и дополнительные сдвиговые или знакопеременные деформации.

В работе [12] также была разработана и исследована технология протяжки заготовок, позволяющая реализовывать интенсивную сдвиговую деформацию заготовки по всему объему металла, и предложен кузнечный инструмент для ее реализации – замковые бойки (рис. 1а). Данная технология показала очень хорошие результаты, которые заключались в повышении качества металла поковок за счет получения более равномерной и мелкозернистой структуры и лучшего заваривания внутренних дефектов при ковке в данном инструменте по сравнению с ковкой по действующей технологии в плоских бойках. При этом данный эффект достигается при меньшем улове, что позволяет снизить энергозатраты для производства высококачественных поковок [13]. Но в тоже время у этой технологии имеется и свои небольшие недостатки, и один из них то, что данная технология в основном применима дляковки поковок только прямоугольного сечения а, во-вторых из-за имеющихся в данной конструкции углов, все равно возникали небольшие концентраторы дополнительных растягивающих напряжений.

Поэтому нами был усовершенствован данный инструмент так, чтобы была возможность использовать его дляковки круглых в плане поковок, и избежать возникновения даже небольших концентраторов растягивающих напряжений. При этом конструкция данного инструмента (рис. 1б) будет позволять реализовывать более значительные знакопеременные деформации по всему объему деформируемой заготовки.



а – с угловым стыком; б – с радиальным стыком
Рисунок 1 – Инструменты для протяжки заготовок

Целью данной работы является исследования влияние формы конструкции нового кузнечного инструмента, а также

угла наклона граней бойков, представленных на рисунке 1б на напряжённо-деформированное состояние металла.

2. Компьютерное моделирование

Моделирование проводилось с использованием Deform. В качестве исходного материала была выбрана сталь AISI-1035. Исходная заготовка имела диаметр 45 мм. Деформацию проводили при температуре 1200 °С. Был установлен неизотермический тип расчета. Вертикальная скорость пуансона составляла 1 мм/сек. При контакте заготовки с бойками значение коэффициента трения было установлено равным 0,25. На заготовке была построена абсолютная тетраэдрическая сетка, сгущенная на поверхности для лучшей отрисовки круглой формы. Минимальный размер элемента был установлен на 0,3 мм, максимальный размер элемента был установлен на 0,6 мм, параметры перестроения сетки были установлены по умолчанию.

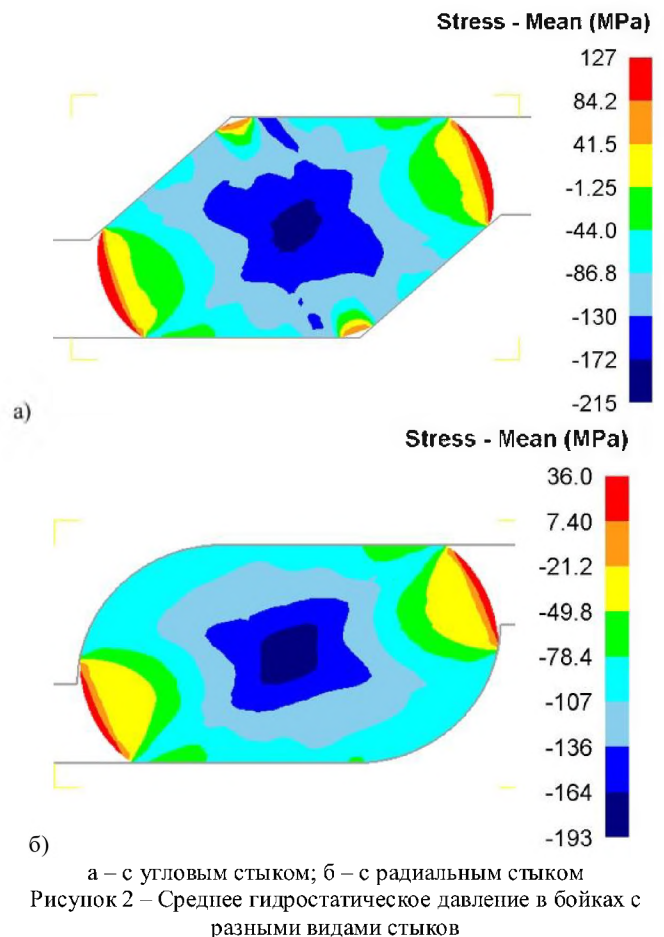
На первом этапе моделирования было проведено сравнение двух конструкций бойков, показанных на рисунке 1, в ходе которого изучалось влияние формы стыка внутренних граней. Было выявлено, что при использовании бойков с угловым стыком (Рисунок 2а) в данной зоне возникает область растягивающих напряжений величиной до 80 МПа. Данный эффект является негативным с точки зрения дальнейшего деформирования с кантовкой заготовки. Наибольшие значения растягивающих напряжений возникают, как правило, в боковых зонах, где контакт с бойками отсутствует и возникает бочкообразование. При кантовке заготовки на 90° данные области становятся контактными с бойками и далее здесь создаются большие сжимающие напряжения, которые аннигилируют негативный эффект от действия растягивающих. Но рассматриваемые зоны металла из области угловых стыков после кантовки становятся бесконтактными. В результате на последующих циклах деформирования здесь так же возникают растягивающие напряжения. Поэтому данные области являются потенциально опасными с точки зрения возникновения поверхностных трещин.

Предлагаемая конструкция бойков (рисунок 2б) за счет радиального стыка граней создает более равномерное напряженное состояние на всей длине контактной поверхности. Отчетливо видно, что никаких областей растягивающих напряжений в этом случае не возникает, а общий уровень напряженного состояния характеризуется действием только сжимающих напряжений в диапазоне -90÷-100 МПа.

При этом необходимо отметить еще одну важную отличительную особенность этих двух конструкций. В обоих случаях у деформируемой заготовки образуются симметрично расположенные бесконтактные зоны, где преобладают растягивающие напряжения. Однако, за счет изменения углового стыка граней на радиальный вид уровень растягивающих напряжений существенно снижается со 120 до 35 МПа. Это является следствием изменения характера течения металла в данных боковых областях. В обоих случаях наклонные грани бойков создают определенный уровень противодействия, который возрастает с повышением величины обжатия. Но если в бойках с угловым стыком рост противодействия носит линейный характер, то в бойках с радиальным стыком он имеет непрерывно растет вплоть до касания металлом области бойка, характеризующей горизонтальное положение радиуса скругления – здесь величина противодействия является максимально возможной.

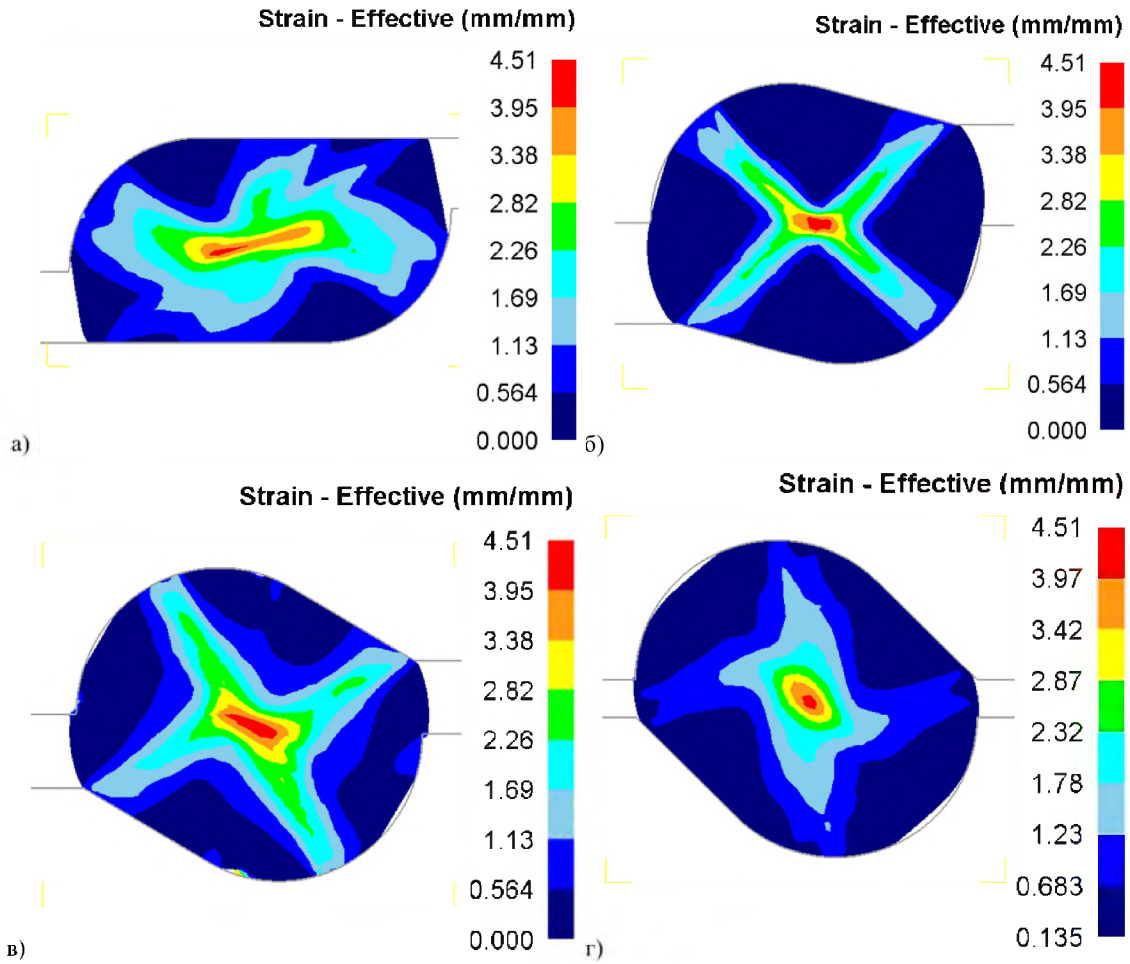
Исходя из данного сравнительного анализа, был сделан вывод о целесообразности применения бойков с радиальным стыком граней. Далее было проведено изучение влияния угла

наклона плоской грани на НДС. Для этого были построены модели с углом наклона в 15, 30 и 45 градусов. Проводилось 4 цикла деформирования с кантовкой заготовки на 90° после каждого обжатия.



В качестве изучаемого параметра было решено выбрать эквивалентную деформацию, поскольку данная характеристика деформированного состояния позволяет оценить уровень проработки металла. Также было рассмотрено возникающее усилие деформирования. При анализе каждой модели, изучение выбранных параметров проводилось на последнем цикле.

Анализ эквивалентной деформации (рисунок 3) показал, что во всех случаях наибольший уровень деформации возникает в центральной части заготовки ($\epsilon \approx 4,5$), а характер распределения деформации имеет форму ковочного креста. При этом отмечено, что наиболее интенсивно уровень деформации развивается в бойках с углом наклона плоской грани 0°, охватывая большую часть поперечного сечения заготовки. Это является следствием действия нормальных напряжений перпендикулярно ходу движения пуансона на достаточно большой протяженности контакта металла с бойками. При увеличении угла уровень нормальных напряжений падает, что, теоретически, должно привести к снижению усилия деформирования. При угле в 15° очаги развития деформации наиболее узкие, угол в 30° дает картину распределения деформации, схожую с бойками с углом 0°. Повышение угла до 45° приводит к концентрации деформации преимущественно в центральной зоне заготовки, существенно снижая ее в поверхностных областях.



а – 0°; б – 15°; в – 30°; г – 45°
 Рисунок 3 – Эквивалентная деформация

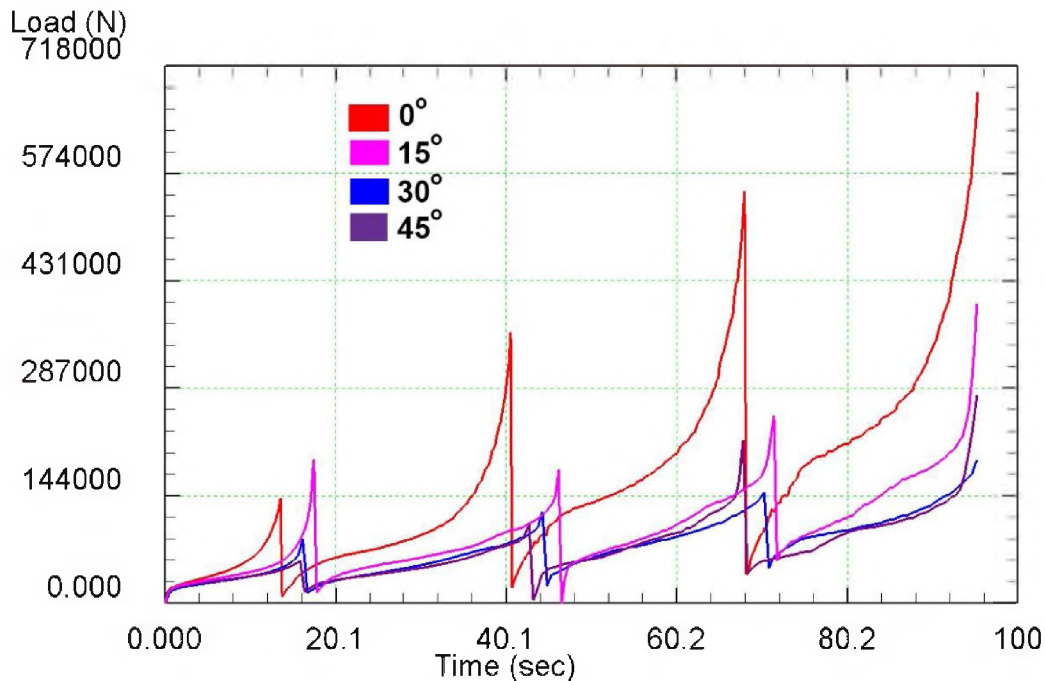


Рисунок 4 – Усилие деформирования

Полученные графики усилий деформирования подтверждают ранее высказанную гипотезу – наибольшие значения усилия возникают при деформировании в бойках с углом 0°, при увеличении угла наклона плоских граней усилие снижается с 710 кН до 150 кН. Таким образом, наиболее оптимальным вариантом будет использование бойков с углом

30°, поскольку в этом случае в заготовке возникает достаточно обширное распределение деформации по сечению (второе по охвату сечения после бойков с углом 0°) при значительно меньшем усилии деформирования.

3. Технологияковки в новом инструменте

Рассматриваемая на рисунке 1б конструкция бойков, но с наклонными гранями, как уже было рассмотрено выше, позволяет создать в металле заготовки благоприятное напряженно-деформированное состояние для получения поковок высокого качества с мелкозернистой структурой и без внутренних дефектов. Однако, для практического применения данных бойков необходимо разработать технологиюковки с их использованием.

При реализации операции протяжки заготовка претерпевает следующие формоизменения: поперечное сечение по площади уменьшается, а длина увеличивается. Причем, зачастую после протяжки заготовка должна иметь такую же форму поперечного сечения, как до деформирования. Это становится возможным благодаря промежуточным операциям

кантовки, т.е. поворота заготовка вокруг оси деформирования. Таким способом, в зависимости от угла кантовки можно получить квадрат, прямоугольник, многоугольник и даже круг. Как показали проведенные в данной работе исследования напряженно-деформированного состояния металла, наиболее оптимальным вариантом являются бойки с углом наклона граней 30° . Потому и было решено использовать именно данную конструкцию бойков для разработки технологии протяжки, конечной целью которой будет получение заготовки с круглым поперечным сечением.

Изначально заготовку необходимо обжать для закрытия возможных внутренних дефектов. Как показали результаты моделирования, представленные в работе [14], одного прохода вполне достаточно для этого. Затем необходимо произвести кантовку заготовки на 90° и опять обжать заготовку (рисунок 5).

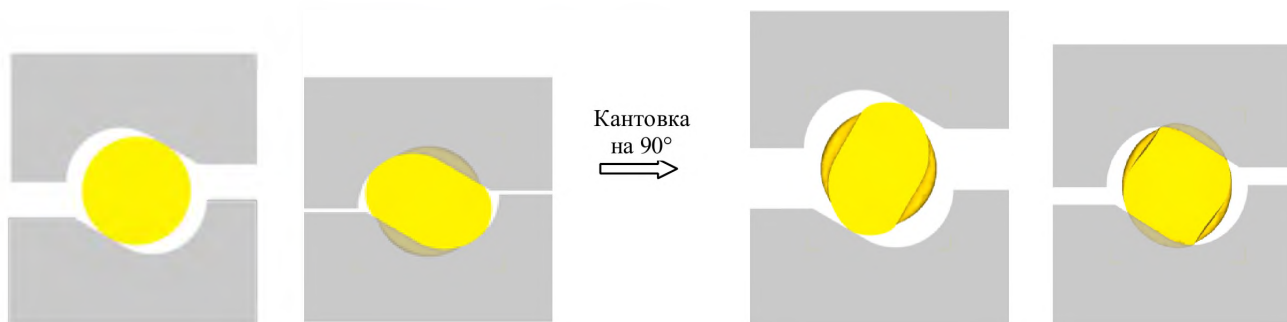


Рисунок 5 – Схемаковки (протяжки) заготовок в бойках новой конструкции

Далее необходимо понижать угол кантовки для того, чтобы приблизить форму поперечного сечения к круглой. Для этого сначала использует чередующуюся систему обжатий и кантовок на 45° , в результате чего получаем восьмиугольник. После этого производим снижение угла кантовки до 30° и так же производим серию обжатий с чередующимися кантовками. В результате получаем заготовку, у которой форма поперечного сечения приближена к кругу (рисунок 6).

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

Литература

1. Найзабеков, А.Б. Условия развития сдвиговых деформаций при ковке, Алматы, Гылым, 1997.
2. Найзабеков, А.Б. Научные и технологические основы повышения эффективности процессовковки при знакопеременных деформациях, Алматы, Гылым, 2000.
3. Каргин, С.Б., Б.С. Каргин, В.В. Кухарь, Инновационные технологииковки валов, Мариуполь, ПГТУ, 2016.
4. Машеков, С.А., Н.Т. Биякаева, А.Е. Нуртазаев. Технологияковки в инструменте с изменяющейся формой, Павлодар, Кереку, 2008.
5. Тюриц, В.А. Инновационные технологииковки с применением макросдвигов, Кузнечно-штамповочное производство. 2007. № 11, С. 15–20.
6. 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.
7. Banaszek, G., H. Dyja, S. Berski, Choosing the forging parameters and tool shape from the point of view of quality improvement of forging, Metalurgija, 2003, Vol. 42, p. 239–244.
8. Найзабеков, А.Б., Ж.А. Ашкеев, Деформированное состояние заготовок в бойках с трапециевидными выступом и впадиной, Изв. вузов. Черная металлургия, 1998. №4, С.13-14.
9. Богатов, А.А., Д.Ш. Нухов, Разработка способа кузнечной протяжки без изменения формы и размеров исходной заготовки, Вестник МГТУ им. Г.И. Носова, 2015, №4, С. 16-21.
10. Banaszek, G, T. Bajor, A. Kawalek, T. Garstka, Analysis of the Open Die Forging Process of the AZ91 Magnesium Alloy. Materials, 2020, Vol. 13(17), №3873.
11. Волокитин, А.В., А.О.Толкушкин, Е.А.Папич, И.Е. Волокитина, Исследование закрытия внутренних дефектов

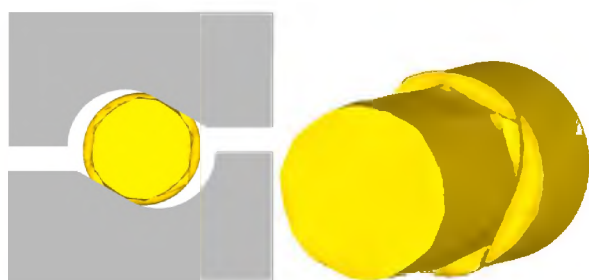


Рисунок 6 – Форма заготовки послековки (протяжки) заготовок в бойках новой конструкции

4. Вывод

В работе представлены результаты компьютерного моделирования процессаковки заготовок круглого сечения в бойках новой конструкции. Показано, что применение радиального стыка граней благоприятно сказывается на распределении напряжений по всей длине контакта металла с инструментом. Анализ моделей с различными углами наклона плоских граней показал, что наиболее оптимальным вариантом является использование бойков с углом 30° , поскольку в этом случае в заготовке возникает достаточно обширное распределение деформации по сечению при значительно меньшем усилии деформирования, чем при использовании бойков с углом 0° .

заготовки при протяжке в ступенчато-клиновидных бойках, Международная конференция «Материалы, оборудование и ресурсосберегающие технологии», 22–23 апреля 2021, С. 35-36.

12. Найзабеков, А.Б., С.Н. Лежнев, А.Ж. Булебаева, Исследование процесса деформирования заготовок в специальном устройстве без существенного изменения начальных размеров, Изв. вузов. Черная металлургия, 2001, №6, С. 23-25.

13. Найзабеков, А.Б., С.Н. Лежнев Исследование деформирования слитков в замковых бойках, Международная

конференция «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030», 12–14 апреля 2002, С.132-134.

14. Толкушкин, А.О., С.Н. Лежнев, Е.А. Панин, Определение оптимальных геометрических параметров нового кузнечного инструмента на основе компьютерного моделирования в программном комплексе Deform-3D, Международная конференции молодых ученых, магистрантов, студентов и учащихся «Родной край – основа всех начинаний поколения молодых», 22-23 апреля 2021, с. 168-173.