
АННОТАЦИИ

Чигиринский В. В., Науменко Е. Г. Некоторые особенности решения плоской задачи механики сплошной среды // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

На базе метода аргумент функций получено решение плоской задачи теории упругости в классической постановке. Введены в рассмотрение аргумент функции базовых переменных. При подстановке в дифференциальные уравнения формируются операторы, определяемые этими аргумент функциями, выполняющие роль своеобразных регуляторов поиска. В результате этого поиска показаны закономерности существования решений в виде соотношений Коши-Римана и уравнений Лапласа. Сопоставлены решения плоской задачи теории упругости и пластичности, полученные одинаковым методом. Показано, что между ними существуют соответствия по принципиальным соотношениям, которые проявляют себя при решении задач методом аргумент функций. К ним относятся соотношения Коши-Римана, дифференциальные уравнения Лапласа, которым должны удовлетворять аргумент функции, входящие в состав базовых тригонометрических и экспоненциальных функций. Получение нового результата связано с усложнением задачи, за счет рассмотрения зоны деформирования в двух состояниях – упругом и пластичном, совместном их влиянии на деформированное и напряженное состояние среды. К таким комбинированным очагам деформации можно отнести зоны пластической обработки заготовок средней и большой толщины, в которых на контакте с инструментом присутствует развитая зона прилипания. Влияние контактного трения способствует ее распространению вглубь очага деформации, образуя область заторможенной деформации.

Ключевые слова: упругость, пластичность, плоская задача теории упругости, аргумент функции, сопоставимость решений, соотношения Коши-Римана, уравнения Лапласа, зона прилипания.

Алюшин Ю. А. Механизмы собственных колебаний в упругих телах // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Рассмотрена энергетически изолированная система в виде упругого стержня, закрепленного между двумя абсолютно твердыми опорами. На основе энергетической модели механики получено распределение по объему и изменение во времени составляющих упругой и кинетической энергии для основных форм продольных, поперечных и крутильных колебаний. На основе анализа структуры кинематических инвариантов, ассоциируемых с энергией, получены уравнения для расчета 8 видов локальной энергии для участвующих в колебаниях частиц, в том числе 2 вида, которые не влияют на интегральную по объему тела энергию деформации. Показано, что, по аналогии со свободными колебаниями упругих тел, когда изменение геометрической структуры происходит без притока энергии через внешние границы системы, возможны изменения в микрообъемах, проявляемые в уравнениях движения и происходящие за счет внутренних источников энергии без обмена энергией с соседними частицами. Высказано предположение, что влияющие на интегральные по объему части энергии обеспечивают выполнение закона сохранения, а два других вида отражают особенности дифференциальных уравнений движения. Частицы в сечениях, через которые происходят внешние воздействия для возбуждения поперечных и крутильных колебаний, не меняют форму и объем, энергия на деформацию частиц не расходуется. Полученные результаты, в том числе по периоду и частотам колебаний, а также выполнению закона сохранения для интегральных по объему значений кинетической и упругой энергии, в дополнение к известным решениям для абсолютно твердых и деформируемых тел, можно рассматривать как дополнительные аргументы правомерности применения энергетической модели для решения различных задач механики.

Ключевые слова: уравнения движения, переменные Лагранжа, инварианты, энергетическая модель, собственные колебания.

Алиева Л. И., Алиев И. С., Грудкина Н. С., Малий К. В. Моделирование процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания деталей с фланцем // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Рассмотрены способы изготовления стержневых деталей с фланцем и осевым отростком выдавливанием. Приведены результаты моделирования процесса комбинированного радиально-обратного выдавливания стержневой детали с фланцем и отростком энергетическим методом верхней оценки. Для оперативного расчета компонент приведенного давления для кинематических элементов параллельного течения металла разработаны и подготовлены зависимости для расчета приведенных давления элементов деформирования, сдвига и трения на границах модуля.

Установлено, что при комбинированном выдавливании с истечением металла в радиальном и обратном направлениях, очаги интенсивной пластической деформации сосредоточены в зонах выходных отверстий, на переходных кромках деформирующего инструмента. Между ними размещена недеформируемая жесткая зона. Кинематические параметры процесса находят из условия равновесия данной зоны. По этому условию мощности, приложенные к жесткой зоне с обеих сторон, равны. Дана также оценка закономерностям

формоизменения и развития деформированного состояния заготовки в процессе комбинированного выдавливания. Представлены графические зависимости формоизменения заготовки, которые позволяют прогнозировать получение полуфабрикатов с необходимыми геометрическими параметрами.

Дано сопоставление расчетных значений параметров формоизменения и силового режима, полученных методом конечных элементов с энергетическим методом верхней оценки и экспериментальными данными. Сравнение теоретических и экспериментальных значений давлений деформирования и скоростей течения между собой, а также с результатами, полученными методом конечных элементов, показало приемлемость полученных зависимостей для технологических расчетов силовых параметров и оценки формообразования деталей.

Ключевые слова: детали с фланцем и отрезком, комбинированное радиально-обратное выдавливание, деформированное состояние, метод конечных элементов, формоизменение, силы деформирования.

Алиева Л. И., Титов А. В., Корденко М. Ю. Моделирование процессов поперечного бокового выдавливания // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Моделирование силового режима процесса бокового выдавливания методом верхней оценки позволило оценить влияние геометрических параметров и вида поля скоростей на приведенное давление деформирования. Установлено, что оптимальное число жестких элементов зависит от относительной толщины выдавливаемого отрезка. Расчетные формулы для плоского бокового выдавливания, полученные методом верхней оценки, показывают результаты, близкие аналогичным решениям для других задач плоского деформирования в процессе доштамповки и осадки, отличающихся видом разрывного поля скоростей. Получены уточненные зависимости для расчета давления деформирования в матрицах с конической и закругленной переходной кромкой. Для последнего случая применен криволинейный треугольный модуль, для которого описана методика построения и расчета компонентов приведенного давления на линиях разрыва скоростей. Метод верхней оценки позволил оценить неравномерность распределения деформаций по сечению выдавленного отрезка и рассчитать величину тепловыделения соответствующей накопленной деформации вдоль линий тока металла. Рассмотрен процесс бокового выдавливания отрезка в матрице с конической переходной кромкой и подтверждена возможность взаимной компенсации неравномерности деформаций при простых схемах выдавливания, при их взаимном сочетании или дополнении. Подбор схем выдавливания в многопереходном процессе или при комбинированном деформировании, проведенный с учетом характера распределения деформаций, может быть эффективным методом снижения неравномерности деформации заготовки.

Ключевые слова: боковое выдавливание, метод верхней оценки, приведенное давление, криволинейные кинематические элементы, неравномерность деформации, тепловыделение.

Калюжный В. Л., Левченко В. Н. Использование метода баланса мощностей и инженерного метода для анализа стационарной стадии холодного обратного выдавливания с раздачей // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Методом баланса мощностей совместно с инженерным методом проведен анализ холодного обратного выдавливания с раздачей в подвижной матрице полых изделий на стационарной стадии. Использование метода баланса мощностей позволяет определить влияние трения на контактирующих поверхностях инструмента с очагом деформации и упругими объемами сдеформированной заготовки. Применение инженерного метода позволило найти напряжения в очаге деформации для последующего учета трения по Кулону при определении мощностей на преодоление сил трения. В решении учтено упрочнение металла в очаге деформации при формоизменении по степенной аппроксимации диаграммы истинных напряжений. Получены формулы для определения усилия выдавливания и удельных усилий на пуансоне и матрице, а также предела текучести сдеформированного металла. Для проверки адекватности результатов расчетов по полученным зависимостям выполнено моделирование выдавливания полых изделий конкретных размеров из стали 10 с использованием метода конечных элементов. Сравнение результатов расчетов по усилию выдавливания, упрочнению металла в очаге деформации, удельным усилиям на пуансоне показало возможность использования полученных формул для практических расчетов процесса обратного выдавливания с раздачей.

Ключевые слова: обратное выдавливание, полое изделие, метод баланса мощностей, инженерный метод, усилие и удельные усилия, упрочнение, метод конечных элементов, сравнение результатов расчетов.

Титов В. А., Бень А. Н. Моделирование технологического процесса выдавливания заготовок компрессорных лопаток // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Целью работы является численное моделирование процесса выдавливания заготовок лопаток компрессоров авиационных двигателей при решении задач пластической деформации, сравнение результатов моделирования с реальными результатами.

Показан способ использования современных систем моделирования, позволяющий значительно сократить расходы и время разработки новой оснастки за счет виртуального моделирования процесса штамповки, без изготовления оснастки и загрузки кузнечно-прессового оборудования. В качестве системы моделирования процессов использовано программу QForm 2D/3D, с помощью которой можно варьировать различными параметрами процесса деформирования.

Проведено моделирование технологического процесса выдавливания заготовок компрессорных лопаток газотурбинных двигателей. Процесс выдавливания моделировался по фактическим размерам лопатки

и штамповой оснастки. По форме профиля заготовки компрессорной лопатки с учетом температурного расширения созданы модели штамповой оснастки. Рассмотрены особенности создания трехмерной модели, задания параметров модели в расчетный модуль и нанесения сетки конечных элементов. Приведены результаты компьютерного моделирования, показан характер течения металла при деформации, силовые и энергетические параметры процесса. Приведены результаты экспериментальных исследований, выполненные на серии заготовок, которые были получены с постепенным увеличением длины пера до технологических параметров.

Представлено соответствие формы выдавленной заготовки, полученной расчетным путем, внешнему виду реальной заготовки, характер заполнения полости матрицы, а также места образования возможных дефектов. Показано применение прикладных технологий для моделирования процесса деформации и изготовления штамповочного оборудования.

Ключевые слова: компрессорная лопатка, выдавливание, численное моделирование, пластическая деформация, трехмерная модель, перо, заготовка, газотурбинный двигатель.

Медведев В. С., Базарова Е. В. Математическая модель формоизменения металла в черновых закрытых балочных калибрах // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Закрытые балочные калибры применяются на сортовых станах при производстве двутавровых профилей широкого сортамента. В черновых калибрах из прямоугольной заготовки за несколько проходов формируют подкаты двутавровой формы со стенкой и достаточно высокими фланцами. Для повышения точности готовых двутавровых профилей подкаты в черновых калибрах необходимо формировать с симметричными фланцами и с высотой, обеспечивающей надежное высотное обжатие фланцев в последующих контрольных калибрах и получение точных размеров по ширине полок в чистовых универсальных калибрах. Для решения этой задачи разработчик технологии должен располагать надежными методами расчета формоизменения металла в калибрах.

Целью данной работы является разработка математической модели формоизменения металла в закрытых балочных калибрах с отношением толщины стенки к высоте профиля, равным 0,2–0,4.

В результате теоретических исследований разработана математическая модель расчета интегральных характеристик формоизменения металла (коэффициентов высотной деформации полки, открытого и закрытого фланцев) в зависимости от прямого обжатия стенки, бокового обжатия фланцев и геометрических параметров очага деформации. В основу математической модели положен многофакторный теоретический эксперимент в динамической постановке с варьированием безразмерных технологических параметров прокатки (коэффициента обжатия стенки по толщине, среднего коэффициента бокового обжатия по толщине открытых и закрытых фланцев и отношения ширины стенки к ее толщине). Границы варьирования безразмерных технологических параметров прокатке выбраны по результатам анализа действующих калибровок прокатных валков. Течение металла в калибрах исследовали с использованием метода конечных элементов и программного комплекса SIMULIA/ABAQUS. Приведены графики изменения коэффициентов высотной деформации полок, открытых и закрытых фланцев от обжатия стенки, бокового обжатия фланцев и ширины стенки. Результаты моделирования обработаны классическими методами регрессионного анализа с использованием программ MathCad14 и SPSS и представлены в виде регрессионных зависимостей. Математическая модель адекватно описывает формоизменение металла в черновых закрытых балочных калибрах и ее рекомендуется использовать на практике при разработке технологии прокатки и рабочих калибровок валков для производства двутавровых профилей повышенной точности.

Ключевые слова: прокатка, калибровка валков, двутавровый профиль, балочный калибр, формоизменение, приращение фланцев, график, математическая модель, деформация металла.

Ремез О. А., Огинский И. К., Кузьмина О. М. Моделирование процесса непрерывной прокатки в калибрах системы «овал-круг» // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Разработка технологии прокатки для различных групп сталей на непрерывных станах в настоящее время выполняется в отсутствие достоверных сведений о взаимосвязи высотной и поперечной деформаций в условиях переднего, заднего натяжения и совместного их действия. Недостаточно исследованным является влияние систем вытяжных калибров на параметры прокатки в непрерывных станах. Исследования параметров прокатки в калибрах системы «овал-круг» (рассмотрены на примере схемы «круг-овал» при прокатке круглой заготовки в овальном калибре) проводилось с использованием конечно-элементной программы FORGE 3D. Исследования проводились для стали 08X13, относящейся к материалам, склонным к повышенному уширению. Эта особенность течения металла при деформации изучена недостаточно, что создает трудности при разработке режимов обжатий. Результаты, представленные в статье, предназначены, в частности, для подготовки экспериментальных исследований.

Целью настоящей работы является развитие методов исследования кинематических параметров непрерывной сортовой прокатки с помощью методов компьютерного моделирования, и определения на этой основе закономерностей изменения технологических параметров при непрерывной прокатке в системе вытяжных калибров «овал-круг».

Моделирование по указанной схеме выполнялось для случаев прокатки с различными сочетаниями переднего и заднего натяжения. Исследования проводились для условий рассогласования скоростей переднего, заднего, одновременно переднего и заднего концов полосы. Диапазон относительного рассогласования скоростей (по отношению к прокатке без натяжения) составил 2,5...10 % с кратностью 2,5.

Диапазон изменения коэффициентов вытяжки составил $\lambda = 1,043 \dots 1,529$, он является достаточно характерным для данной системы калибров.

Ключевые слова: МКЭ, система калибров, реология, натяжение, коэффициент вытяжки, прокатка, уширение, марка стали, непрерывный стан.

Герасименко А. В., Марков О. Е., Косилов М. С., Хвацинский А. С., Иванов П. П. Исследование процесса раскатки ступенчатых конусных колец // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

В работе исследован новый способ раскатки крупногабаритных конусных колец со ступенчатым профилем. Предложенный способ заключается в деформировании заготовки с уступом ступенчатым бойком. В работе предложена методика проведения исследований методом конечных элементов. Методика предназначена для определения зависимостей напряженно-деформированного состояния и формоизменения заготовки в процессе раскатки ступенчатым бойком. Переменными параметрами были относительная высота выступа ступенчатых заготовок, которая варьировалась в интервале 2,3 ... 2,4. На основе конечно-элементного моделирования были установлены: распределение интенсивности деформаций в сечении поковки после раскатки ступенчатым бойком. Определялась конусность поковок, которая образуется при раскатке по данному способу. Конечно-элементное исследование позволило установить, что раскатка ступенчатым бойком приводит к образованию конусной формы поковки. Это объясняется тем, что при обжатии уступа идет большая тангенциальная деформация кольцевой заготовки в зоне уступа, чем зоне выступа вследствие различной высоты ступенчатой заготовки. Установлено, что при раскатке заготовки с разницей относительных диаметров 0,43 при раскатке одновременно деформируются выступ и уступ. При этом диаметр уступа увеличивается интенсивнее, чем выступа, вследствие чего поковка приобретает конусную форму. Это объясняется различными степенями деформации, которые образуются в выступе и уступе. Более того, степень деформации в уступе увеличивается интенсивнее, чем в выступе. Разница в степенях деформации возникает из-за разницы в толщине стенок выступа и уступа. В результате исследований, выполненных в работе, было установлено, что раскатка ступенчатых конусных заготовок возможна, это расширяет технологические возможности процесса раскатки крупногабаритных поковок.

Ключевые слова: ступенчатое конусное кольцо, раскатка, ступенчатый боек, распределение деформаций, формоизменение, конусность.

Марков О. Е., Злыгорев В. Н., Житников Р. Ю., Инчаков Е. В., Ризак П. И. Совершенствование процесса осадки четырехлучевых заготовок с углом вогнутых граней 150° // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Предложен новый способ осадки заготовок. Способ заключается в осадке заготовок с вогнутыми гранями. Разработана методика теоретических исследований. Эта методика заключалась в исследовании механизма закрытия искусственных осевых дефектов в заготовках. Исследования производились на основе метода конечных элементов. Основным параметром исследования была глубина вогнутых граней заготовки. Этот параметр варьировался в диапазоне 25 %; 20 % и 15 %. Угол вогнутых граней составлял 150°. Результатами теоретических исследований являлись распределения: деформаций и напряжений в теле заготовки в процессе осадки заготовок с вогнутыми гранями. На основе этих параметров устанавливался показатель напряженного состояния в осевой зоне заготовки. В результате теоретических исследований было установлено, что эффективной глубиной вогнутых граней является соотношение диаметров выступов и уступов, равных 15 %. Для этого соотношения происходит интенсивное закрытие осевого дефекта. Это объясняется высоким уровнем сжимающих напряжений при осадке заготовок с вогнутыми гранями. Установлена эффективная степень деформации, при которой происходит интенсивное закрытие дефектов. Установлены распределения деформаций по сечению и высоте заготовки, а также изменение показателя напряженного состояния в процессе осадки заготовок с вогнутыми гранями. Проведенные исследования позволили сделать вывод о высокой эффективности предлагаемого нового способа осадки заготовок с вогнутыми гранями.

Ключевые слова: вогнутые грани, осадка, напряженно-деформированное состояние, осевые дефекты слитка, высококачественные поковки.

Старков Н. В., Стрелковская Л. И. Экспериментальное исследование пластичности алюминиевого сплава 2024-T4 при импульсной электрогидравлической штамповке // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

В современной авиационной промышленности традиционно используется листовая прокат из алюминиевых сплавов с повышенными прочностными характеристиками. При использовании таких материалов в листовой штамповке на механических прессах часто возникает проблема, связанная с их склонностью к разрушению при относительно малой (до 10 %) степени деформации. В этой связи появилась необходимость использовать новые прогрессивные технологии и оборудование для изготовления деталей из этих сплавов.

Статья посвящена исследованию пластических свойств среднепрочного конструкционного алюминиевого сплава 2024-T4, который широко используется в самолётостроении, и технологических возможностей импульсной электрогидравлической (ЭГ) штамповки. Эта технология позволяет дозировать энергию разряда с регулированием интенсивности и точным приложением нагрузки к заданным участкам поверхности детали, использовать более простую технологическую оснастку.

В режиме многоимпульсного деформирования детали под действием высокого давления жидкости и при кратковременном его действии усиливаются релаксационные процессы с уменьшением деформационного упрочнения и остаточных напряжений в детали. За счёт этого увеличивается предельная степень пластической деформации сплава и устраняется пружинение деталей. Это даёт возможность изготавливать детали сложной формы и стабилизировать их форму и размеры в процессе импульсного нагружения. Эти качества ЭГ штамповки создают хорошие предпосылки для дальнейшего расширения сферы её использования.

Установлено, что предельная степень деформации деталей из сплава 2024-T4 в процессе вытяжки зависит от технологического процесса их изготовления. Экспериментально показано, что предельная степень деформации при импульсном высокоскоростном процессе ЭГ штамповки возрастает и для исследуемого сплава она больше, чем в 1,36 раза по сравнению с механической штамповкой на гидропрессе.

При ЭГ штамповке можно добиться высокого качества поверхности деталей, что важно для изделий, используемых в авиационной промышленности, к которым предъявляются высокие требования, особенно при плакировании штампуемых листов мягкими металлами.

Ключевые слова: электрогидравлический, штамповка, сплав, алюминий, деформация, деталь, технология, пресс, прочность.

Бейгельзимер Я. Е., Кулагин Р. Ю., Саввакин Д. Г., Давиденко А. А., Дмитренко В. Ю., Оришнич Д. В. Влияние интенсивной пластической деформации на характеристики сплава системы Ti-Zr-Nb // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Сплавы системы Ti-Zr-Nb являются перспективными материалами для изготовления конструкционных деталей, работающих в химически-агрессивных средах. Благодаря ниобию модуль Юнга этих сплавов снижается с 95–110 ГПа, что характерно для сплавов циркония и титана, до 50–60 ГПа и ниже. Это позволяет приблизить его значения к соответствующей характеристике костной ткани, что необходимо для механической совместимости материалов медицинских имплантатов, а также может быть использовано в технике для изготовления упругих элементов различного назначения.

Ранее было показано, что сплавы системы Ti-Zr-Nb можно получать методом холодного прессования и вакуумного спекания порошковых смесей гидрида титана, гидрида циркония и ниобия. При использовании порошков гидридов, водород играет роль временного легирующего элемента и удаляется из металлов в процессе вакуумного нагрева, одновременно активируя диффузионно-контролируемые процессы спекания и химической гомогенизации порошковой системы, а также очищая поверхность титановых частиц от примесей (кислород, хлор, углерод). Несмотря на положительное воздействие водорода, при спекании в отсутствие деформационных процессов (без давления) не удается снизить объемную долю пор ниже 5–8 % в зависимости от состава сплавов, что негативно отражается, в первую очередь, на усталостной прочности, а также характеристиках пластичности и прочности.

В статье исследуется влияние кручения под высоким давлением на характеристики сплава 51Zr-31Ti-18Nb (ат.%), полученного путем холодного прессования и вакуумного спекания порошковых смесей гидрида титана, гидрида циркония и ниобия. Показано, что интенсивная пластическая деформация приводит к следующим эффектам: обеспечивает значительное снижение как общей пористости, так и размеров отдельных пор; устраняет химическую неоднородность сплава, которая сохраняется после спекания; формирует в сплаве субмикроструктурную структуру; увеличивает твердость сплава. Полученные результаты указывают на большой потенциал метода кручения под высоким давлением при создании коррозионно и биологически совместимого сплава с высоким комплексом механических характеристик.

Ключевые слова: нанокристаллические металлы, фазовые превращения, микротвердость, спекание, сдвиговая деформация, кручение под высоким давлением.

Белошенко В. А., Бейгельзимер Я. Е., Возняк Ю. В., Чишко В. В. Модификация полимерных материалов интенсивной пластической деформацией // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Обобщены результаты исследований и проведен анализ влияния интенсивной пластической деформации, реализуемой методами кручения под высоким давлением, равноканальной угловой и многоугловой экструзии, Т-образной равноканальной экструзии, винтовой и плоской винтовой экструзии, на структуру и физико-механические свойства полимерных материалов различной архитектуры. Показана эффективность применения методов обработки, основанных на использовании деформации простым сдвигом, для модификации структуры полимеров и полимерных композитов. Интенсивная пластическая деформация позволяет сформировать ориентацию в блочных образцах полимеров, которая обуславливает уникальный комплекс свойств. В частности, равноканальная многоугловая экструзия допускает в стеклообразных полимерах реализацию структурного состояния, обеспечивающего повышение их деформационно-прочностных и ударных характеристик независимо от направления нагрузки. В случае аморфно-кристаллических полимеров приводит к многократному повышению жесткости и прочности при сохранении исходной пластичности, «инварному эффекту», существенному улучшению трибологических характеристик. У полимерных композитов изменение структурных параметров наполнителей и полимерной матрицы обеспечивает дополнительные возможности в управлении их морфологией и свойствами. Обсуждаются физические механизмы выявленных эффектов структурной модификации.

Ключевые слова: полимерные материалы, интенсивная пластическая деформация, структура, физические и механические свойства.

Лежнев С. Н., Волокитина И. Е., Арбуз А. С., Гайдаренко Г. А. Исследование процесса деформирования алюминиевого сплава в равноканальной угловой матрице с углом стыка каналов 45° // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Описаны всевозможные схемы интенсивной пластической деформации с помощью процесса равноканального углового прессования (РКУП), которые позволяют получить металл с ультрамелкозернистой структурой. Представлены результаты компьютерного моделирования и исследования на просвечивающем электронном микроскопе алюминиевого сплава 6060. Показано, что при равноканальном угловом прессовании в предлагаемой матрице с углом стыка каналов под углом 45° обеспечивается образование однородной субзернистой структуры размером около 0,5 мкм, что положительно влияет на механические свойства алюминиевого сплава. По результатам испытаний на растяжение получено, что уровень прочности заготовок, подвергнутых прессованию в матрице с углом стыка каналов 45°, значительно превосходит аналогичный для образцов, подвергнутых традиционному прессованию в матрице с углом 90°. Так значения предела прочности и текучести увеличиваются за шесть проходов для традиционного РКУП (в матрице с углом стыка 90°) с 250 до 462 МПа (абсолютный прирост значения предела прочности составляет 212 МПа) и с 206 до 420 МПа (абсолютный прирост значения предела текучести составляет 214 МПа). С применением матрицы с углом стыка каналов 45° предел прочности и текучести увеличиваются за шесть проходов с 250 до 505 МПа (абсолютный прирост значения предела прочности составляет 255 МПа) и с 206 до 447 МПа (абсолютный прирост значения предела текучести составляет 241 МПа), соответственно. Пластические свойства алюминиевых образцов в процессе РКУП снижаются в обоих случаях. Так экспериментальные исследования изменения относительного удлинения при испытании на растяжение показали, что уровень пластических свойств алюминия после 6 проходов падает в обоих случаях практически в 2 раза.

Ключевые слова: РКУП, ультрамелкозернистая структура, интенсивная пластическая деформация, алюминиевый сплав 6060.

Карнаух С. Г. Экспериментальные исследования процесса разделения проката по схеме трехточечной холодной ломки изгибом при статико-динамическом нагружении // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Целью данной работы является экспериментальная проверка адекватности математической модели процесса разделения образцов по схеме трехточечной холодной ломки изгибом при статико-динамическом нагружении и разработка перспективных схем оборудования для реализации этого процесса. Комбинированное статико-динамическое нагружение образцов при холодной ломке изгибом положительно влияет на качество разделяемых заготовок, что подтверждает теоретические выводы. Высокое качество заготовок наблюдалось при разделении образцов из стали 50ХФА: величина отклонения траектории трещины от прямолинейности практически равна нулю, поверхность разрушения матовая, области пластической деформации в зоне поверхности излома отсутствовали. При разделении образцов из сталей 30, 40 по схеме трехточечной холодной ломки изгибом наблюдалось повышение качества заготовок по сравнению со статическим и динамическим нагружением: величина отклонения траектории трещины в среднем составила (0,8 ... 1,4) мм, на поверхности излома имелись отдельные сколы, вырывы металла, микро- и макротрещины, высота макронеровностей не превышала 0,3 мм. Анализ зависимостей высоты микронеровностей от величины статической силы показывает, что для получения заготовок высокого качества рекомендуется выбирать величину статической силы в диапазоне (40 ... 50) % от силы трехточечной холодной ломки изгибом. На основании анализа зависимости величины отклонения траектории трещины от значения предела прочности разделяемых образцов установлено, что с увеличением прочности материала повышается качество получаемых заготовок. Разработана конструкция пресс-молота с клиношарнирным механизмом с вогнутым клином для разделительных операций при статико-динамическом нагружении, которая значительно расширяет технологические возможности оборудования и обеспечивает высокое качество разделяемых заготовок.

Ключевые слова: прокат, заготовка, разделение, ломка, качество, сила, статико-динамическое нагружение.

Анищенко А. С., Кухарь В. В., Присяжный А. Г. Влияние радиусов кривизны и утонения на напряженное состояние оболочек при сверхпластической формовке // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Показано, что главные напряжения, в особенности тангенциальное напряжение, зависят от главных радиусов кривизны, а интенсивность напряжений зависит также и от утонения оболочек при сверхпластической формовке. Эти результаты достигнуты при сверхпластической формовке заготовок из алюминиевых сплавов AlMg5 и AlMg6 (заготовка имела переменную толщину) и модельного сплава Sn-38 %Pb сверхпластичной и несверхпластичной модификации, определяемой по величине коэффициента скоростного упрочнения, равного 0,60 и 0,25 соответственно. Для оболочек с высотой, равной радиусу их основания, тангенциальные и меридиональные напряжения для сверхпластичного сплава Sn-38 %Pb приблизительно равны (погрешность – не более 18 %). Ухудшение сверхпластических свойств сплавов вызывает превышение тангенциальных напряжений над меридиональными на 20–50 % в связи с существенным ростом меридиональных радиусов кривизны. В оболочках из заготовок переменной толщины соотношение главных напряжений, являющееся функцией относительного радиуса основания, имеет вид параболы с минимумом в местах сопряжения зон заготовки различной толщины. Погрешность отношения интенсивности напряжений в изучаемых оболочках к аналогичному показателю для формовки идеально сферической оболочки с неравномерной толщиной стенки равна 10 % для

сверхпластичного сплава Sn-38 %Pb и возрастает до 20–30 % для других сплавов. Если предположить, что оболочка имеет контур идеальной сферы и равномерное утонение стенок вдоль контура, то указанная ранее погрешность отношения интенсивности напряжений возрастает до 50–130 %.

Ключевые слова: сверхпластическая формовка, контур, радиус кривизны, напряжения, интенсивность, меридиональное, тангенциальное.

Омаров Ш. А., Махмудов К. Д. Экспериментальные исследования магнитно-эластоимпульсной формовки // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Основной целью экспериментальных исследований магнитно-эластоимпульсной формовки является определение параметров разрядного контура, в частности разрядного тока, напряженности магнитного поля в зазоре между индуктором и подвижным элементом, параметров давления в эластичной среде при деформировании заготовки, а также параметров прогиба заготовки и толщиной деформации. Данные измерения должны выполняться синхронно для того, чтобы осуществить проверку корректности расчетной модели. В основу данных измерений положены методы измерения давлений, конструкции датчиков давления и их тарировка, методы измерения разрядного тока поясом Роговского, напряженности магнитного поля – индукционными датчиками. Предложена система безразмерных параметров, влияющих на коэффициент эффективности. На основе обработки экспериментальных данных получена эмпирическая зависимость коэффициента эффективности от безразмерных параметров. Предлагается измерительный стенд для комплексной проверки расчетной модели по параметрам разрядного тока, электромагнитного давления на подвижный элемент и параметры давления в эластичной среде при деформировании заготовки в процессах магнитно-эластоимпульсной формовки. При этом сделана тарировка всех измерительных преобразователей. Сопоставление математической модели по параметрам разрядного тока, среднего электромагнитного давления и давления в эластичной среде с результатами экспериментальных измерений показало, что значения погрешности прогнозирования данных параметров находятся в пределах значений точности задания параметров кривой деформационного упрочнения материала и динамического модуля объемного сжатия эластичной среды (полиуретана).

Ключевые слова: экспериментальные исследования, измерительный стенд, магнитно-эластоимпульсная формовка, напряженность магнитного поля, разрядный контур, кривая деформационного упрочнения, динамический модуль.

Шевцов С. А. Анализ влияния выбора температурного режима процесса ротационной обкатки инструментом трения на герметичность днищ баллонов // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Значительное место среди промышленных изделий занимает продукция с днищем. Проведен анализ состояния вопроса об изготовлении баллонов различными способами. Достаточно часто баллоны изготавливают из нескольких частей, которые свариваются. Такой метод не гарантирует высокую надежность соединения металла днища и корпуса баллона, а также требуют значительного количества разнообразных производственных операций и оборудования, а также рассмотрены другие способы производства пустотелых изделий. Одним из методов изготовления баллонов повышенной прочности и герметичности является способ использования операции обкатки заготовки из стальной трубы инструментом трения. Этот способ целесообразен с точки зрения снижения себестоимости для крупносерийного производства. Эта технология проста в реализации, хорошо поддается автоматизации и не требует значительных капиталовложений для создания серийного производства. Но при нарушении определенных технологических схем процесса обкатки возникают дефекты, снижающие качество изделий или требующие устранения дефектов. Целью работы является установление влияния температурного режима обкатки на процесс для повышения качества днищ баллонов и емкостей из трубчатых разнотолщинных заготовок. Объектом исследований является процесс изготовления днищ баллонов повышенной прочности и герметичности ротационной обкаткой инструментом трения. Математическое моделирование процесса на основе уравнений теплопроводности с учетом напряженно-деформированного состояния заготовки позволило установить диапазоны основных параметров процесса для дальнейшего моделирования методом конечных элементов. Такими рекомендациями будут: начальная температура, относительная толщина стенок и относительная подача заготовки к инструменту трения. После моделирования были сделаны выводы, что до начала процесса обкатки оптимальной температурой нагрева заготовки является температура примерно равна $T_{\text{ком}} = 0,8$. Подогрев в процессе обкатки заготовки не требуется. Для тонкостенных заготовок для предотвращения эффектов переплавки и перегрева возникает необходимость охлаждения заготовки. Для толстостенных заготовок рекомендуется нагрев проводить максимально близким к температуре $T_{\text{ком}} = 0,8$.

Ключевые слова: обкатка, инструмент трения, температурный режим, баллон, метод конечных элементов.

Каргин Б. С., Каргин С. Б., Ашихмин А. Г. Влияние формы рабочей грани пуансона и технологической смазки на энергосиловые параметры вырубki-пробивки // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Представлены результаты лабораторных исследований влияния формы рабочей грани пуансона и технологической смазки (ТС) на энергосиловые параметры вырубki-пробивки. Силовые параметры определялись по показаниям разрывной машины Р20. Пуансоны имели следующую форму рабочей грани: плоский, с односторонним наклоном рабочей режущей кромки ($\alpha = 15^\circ$), с двусторонним наклоном режущих кромок ($\alpha = \alpha = 15^\circ$),

с рифленой рабочей боковой поверхностью (шаг $t = 0,5$ мм и $t = 1$ мм). Пуансоны были изготовлены из стали У8А и имели твердость HRC 56–59. Эксперименты проводились на листовых заготовках из стали Ст3сп толщиной 2 мм. Диаметр вырубленной детали 52 мм.

Установлено, что сила вырубки пуансоном с односторонним наклоном режущих кромок имела минимальное значение, которое в 2,4 раза меньше, чем при вырубке плоским пуансоном.

Установлено влияние шага рифления боковой поверхности пуансона. В частности показано, что применение пуансона с шагом рифления $t = 0,5$ мм позволяет снизить силу вырубки на 22 % по сравнению с пуансоном, имеющим шаг рифления $t = 1$ мм. Показано, что снижение силовых параметров на рабочие грани пуансона позволяет повысить их стойкость. Наиболее эффективной технологической смазкой оказалась ТС «Укринол-8». Ее применение позволяет на 10 % снизить силу вырубки и получить более качественную поверхность у вырубленной детали.

Ключевые слова: вырубка-пробивка, заготовка, деталь, пуансон, сила, технологическая смазка, режущая кромка, рифление, стойкость, себестоимость, сталь.

Орлюк М. В., Пиманов В. В., Савченко А. В. Снижение вероятности гофрообразования при многопереходной вытяжке деталей из нержавеющей стали 08X18H10T // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

В данной работе приведены результаты исследований, выполненных на заказ коммерческой организации. Был проведен анализ возможности оптимизации традиционной технологии многопереходной вытяжки на примере конкретного осесимметричного изделия из стали 08X18H10T. Согласно рекомендациям справочной литературы для изготовления данной детали, необходима вытяжка за два перехода с прижимом заготовки на каждом. С помощью численного моделирования в программном комплексе Deform 3D исследованы особенности процесса изготовления изделия. Проверена и подтверждена возможность прогнозирования гофрообразования в среде Deform 3D путём численного моделирования первого перехода вытяжки без применения прижима. Установлено, что реализация первого перехода вытяжки без прижима заготовки невозможна. Проведено численное моделирование изготовления изделия по предложенной технологии за два технологических перехода. Определено напряженно-деформированное состояние полуфабриката на переходах вытяжки, получены графики зависимости усилия процесса от перемещения пуансона. Полученные результаты показали, что при создании более благоприятной схемы деформирования (при рациональном сочетании параметров процесса) появляется возможность реализации последующих переходов вытяжки без прижима. Повышение устойчивости фланца на последующих переходах за счет рационального распределения степеней деформации и использования оптимальной геометрии матрицы с конусно-тороидальной формой рабочей поверхности подтверждено практической реализацией разработанной технологии. Разница числовых значений усилий процессов вытяжки, полученных численным моделированием и в ходе практических экспериментов, не превышает 10 %.

Ключевые слова: вытяжка, прижим, коэффициент вытяжки, численное моделирование, метод конечных элементов, конусно-тороидальная матрица, полое изделие, гофрообразование.

Михайлов О. В., Михайлов А. О., Баглюк Г. А., Штефан Е. В. Исследование уплотнения и формоизменения пористых заготовок при получении изделий с внутренней конусообразной поверхностью // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Методом компьютерного моделирования исследован процесс штамповки порошковых изделий, имеющих наклонную коническую поверхность. Штамповка осуществлялась в штампе с кольцевым коническим компенсатором. Исследованы закономерности уплотнения и формоизменения заготовок двух типов: с однородным распределением начальных свойств по объему и биметаллические.

Моделирование выполнено на основе континуального подхода. В качестве определяющих соотношений использовались соотношения теории пластичности пористого тела, представляющие собой обобщение существующих эллипсоидальных моделей. Определены формы штампуемой заготовки, а также полей плотности, напряжений и деформаций выполнено на основе метода конечных элементов.

Установлено, что деформирование заготовки происходит в несколько стадий. Вначале наблюдается радиальное течение материала от центра. Затем материал достигает поверхности матрицы и начинается вытекание в компенсатор. На заключительной стадии материал полностью заполняет полость штампа и происходит выравнивание плотности по объему штампуемого изделия.

При штамповке биметаллических заготовок, материал верхнего слоя которых более прочный, чем материал нижнего слоя, происходит выдавливание нижнего слоя из-под верхнего. Избежать этого явления можно за счет различия начальных пористостей слоев.

Ключевые слова: штамповка, порошковая заготовка, биметаллическая заготовка, конусообразная поверхность, пористость, теория пластичности, метод конечных элементов.

Грибков Э. П., Бережная Е. В., Ивчик Р. С., Коваленко А. К. Исследование влияния дискретизации объема на точность расчета процесса правки листов методом конечных элементов // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Основной задачей при проектировании процессов правки является определение влияния режимов правки на энергосиловые параметры процесса и конечную кривизну листов. Наиболее точным методом моделирования процесса правки является метод конечных элементов. Основным недостатком этого метода является

большое время реализации, что затрудняет решение задач оптимизационного плана. Основной целью работы было определение минимально достаточного количества конечных элементов для получения результатов с относительно минимальным размахом своих значений по мере протекания процесса. На основе реализации конечно-элементной модели процесса правки листов проанализировано влияние дискретности разбиения объема деформируемого материала на точность и время расчета с целью снижения затрат машинного времени при решении задач оптимизационного плана для определения режимов правки. Расчетная схема представляла деформируемый лист, 11 рабочих роликов с шагом 275 мм и диаметром 260 мм. Моделирование процесса правки было выполнено для листа толщиной 10 мм, шириной 2000 мм и длиной 3200 мм. Лист был представлен в виде пластически деформируемого тела, ролики – в виде абсолютно жестких тел. Задача была решена в двухмерной плоскости и в динамической постановке. По толщине из характера самого процесса правки листы были разбиты на пять элементов. При расчете силы правки на третьем ролике и ее коэффициента вариации было установлено, что при моделировании рациональным количеством является 6000 конечных элементов или 1875 элементов на погонный метр. При этом время реализации модели составило порядка 1,17 часа (Intel Core i5, 8Gb RAM) при вариации силы правки 0,01 и погрешности расчета меньше 1 % относительно более точного решения. Именно эта дискретизация является рациональной для постановки и решения задач по оптимизации технологических настроек многороликовой правильной машины.

Ключевые слова: листоправильная машина, правка листов, конечно-элементная модель, рабочие ролики, технологические настройки.

Максименко О. П., Оробцев А. Ю., Самохвал В. М., Штода М. Н., Марченко К. К. Методика исследования и анализ износа калибров валков проволочного блока // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Изучение износа валков, как основного рабочего инструмента в процессах прокатки, остается актуальной задачей, несмотря на многочисленные работы в этой области. Применение новых валковых материалов, обеспечивающих более высокую износостойкость, требует дополнительного изучения особенностей их износа и совершенствования методик измерения износа. В связи с этим, целью настоящей работы является разработка методики экспериментального изучения износа валков, на примере проволочного блока. Выполнены экспериментальные исследования износа валков проволочного блока с использованием часового индикатора и оптико-светового метода. Статистическая обработка полученных данных подтвердила однородность результатов измерений и возможность применения оптико-светового метода как более информативного. Этот метод позволяет определять износ по всему контуру ручьев валков. Исследования, выполненные при прокатке катанки диаметром 5,5 мм с использованием оптико-светового метода, позволили установить, что глубина износа ручьев валков распределена неравномерно и существенно зависит от характера изменения среднего давления металла на валки. Наиболее подвержены выработке калибры четвертой и пятой клетей, где преобладает абразивный износ. В первых двух клетях наблюдается осповидный износ. На износ калибров валков определенное влияние оказывает также величина зазора между валками. При увеличении этого зазора вероятность сваливания раската в калибре возрастает, что отражается на его выработке.

Ключевые слова: ручьи валков, калибры, износ, проволочный блок, оптико-световой метод.

Найзабеков А. Б., Лежнев С. Н., Панин Е. А., Арбуз А. С. Влияние радиально-сдвиговой прокатки на микроструктуру и механические свойства технического титана // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Улучшение качества металлоизделий через улучшение микроструктуры является одним из самых главных трендов современной металлургии. Такой подход позволяет добиваться особых свойств без расхода дорогостоящих легирующих добавок. Основная идея заключается в измельчении зеренной структуры материала до размеров менее микрона. При указанных размерах зерна начинают проявляться свойства упрочнения при относительно небольшой потере пластичности. В этом случае можно говорить об ультрамелкозернистых (УМЗ) материалах. Данное направление особенно актуально для областей науки и техники, где очень жесткие требования к размеру и весу деталей при высокой их прочности. Это аэрокосмическая техника и медицина (имплантология и ортопедия). Поэтому имеет смысл проводить исследования, прежде всего, на актуальных материалах. Титан известен своей биологической инертностью, поэтому является основой для протезирования. В данной работе были проведены эксперименты на технически чистом титане по технологии, близкой к промышленной реализации. Был проведен эксперимент, в ходе которого длинномерная заготовка при температуре 500 °С прокатывалась с диаметра 30 мм до диаметра 13 мм на стане СВП-08. После чего заготовка охлаждалась водой и из нее изготавливались образцы для исследования микроструктуры и образцы для исследования механических свойств. Анализ микроструктуры показал наличие равноосной ультрамелкозернистой структуры в периферийных областях заготовки и наличие вытянутой волокнистой структуры в осевой зоне. Прочность заготовки возросла более чем в 2 раза, при этом пластичность уменьшилась не столь значительно.

Ключевые слова: радиально-сдвиговая прокатка, ультрамелкозернистая структура, титан, механические свойства, интенсивная пластическая деформация.

Фролов Я. В., Дёмина Е. Г., Андреев В. В. Сопоставительный анализ результатов моделирования и оценки прорабатываемости структуры стали 09Г2С в процессе продольной прокатки трубной заготовки Ø 250 мм // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Для развития метода оценки деформированного состояния металла по изменению параметров бывшей дендритной структуры в работе выполнены анализ напряжённо-деформированного состояния, сформировавшегося при прокатке в последнем, круглом, калибре клетки 900 трубозаготовочного стана 900 / 750 – 3, и сопоставление результатов математического моделирования с оценкой прорабатываемости структуры трубной заготовки Ø 250 мм. Результаты математического моделирования и металлографического анализа показали хорошую сходимость. На основании полученных результатов определены зоны активной и пассивной деформации и их расположение в направлении $\frac{1}{2}$ вертикальной оси поперечного сечения исследованной заготовки. Глубина зоны прилипания составляет 12,5 мм, зона интенсивной пластической деформации сосредоточена на расстоянии 50–112,5 мм от центра заготовки, центральные слои заготовки представляют собой зону пассивной деформации. Впервые показано, что изменение сдвигового напряжения τ_{zx} полностью отображает характер изменения коэффициента прорабатываемости структуры K крупносортного проката. При исследовании влияния деформационного воздействия на микроструктуру стали использование её структурной составляющей – химической неоднородности, наследуемой от дендритной ликвиции кремния и марганца, – позволяет выполнить не только количественную оценку интенсивности и локализации деформации, но и качественно судить об изменении напряжения сдвига по сечению заготовки. Дальнейшие исследования в данном направлении позволят расширить теоретические представления о формировании напряжённо-деформированного состояния металла в высоких очагах деформации при прокатке и стать основанием для разработки практических рекомендаций по совершенствованию технологии производства крупносортного проката.

Ключевые слова: моделирование, продольная прокатка, высокий очаг деформации, трубная заготовка, напряжённо-деформированное состояние, сталь, дендритная структура, коэффициент прорабатываемости.

Боровик П. В. Обоснование профилировки фасонного ножа для разделения квадратной заготовки в горячем состоянии // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Проанализированы преимущества и недостатки процесса горячего разделения непрерывнолитой квадратной заготовки на ножницах с фасонными ножами. Отмечается целесообразность проведения теоретических исследований разделительных операций на ножницах на базе метода конечных элементов. Целью данной работы являлось теоретическое обоснование профилировки фасонного ножа для разделения квадратной заготовки в горячем состоянии путем математического моделирования на базе метода конечных элементов. Представлено описание трехмерной математической модели, на базе которой выполнены теоретические исследования процесса разделения квадратной заготовки сечением 120×120 мм из стали 20 при температуре 970°C со скоростью 70 мм/с. Для оценки влияния профилировки ножей на формообразование заготовки в зоне реза приведены результаты симуляций процесса с ножами различной конфигурации. В ходе обработки данных моделирования были получены три относительных параметра, два из которых характеризуют смятие (утяжку) концов раската, и еще один – ромбичность торцевой поверхности. По результатам исследований отмечено, что на качество поверхности реза существенное влияние оказывает профилировка ножей. Получены уравнения регрессии для всех трех параметров качества реза, позволяющие определить рациональные значения углов раскрытия и наклона режущих кромок ножей, при обеспечении необходимых параметров качества реза. Предложено угол раскрытия режущих кромок ножей принимать равным $95,6^\circ$ при угле наклона 7° , что позволит обеспечить ромбичность 1,05. Результаты работы могут быть рекомендованы к использованию при принятии проектно-конструкторских и технологических решений в вопросах горячего разделения непрерывнолитой квадратной заготовки фасонными ножами на угол.

Ключевые слова: фасонный нож, разделение квадратной заготовки в горячем состоянии, ножницы, математическая модель.

Корчак Е.С., Беленец Е. Е. Исследование триботехнических свойств силовых цилиндров гидравлических прессов на базе инженерной методики оценки их ресурса безотказной работы // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Целью работы является повышение ресурса безотказной работы силовых цилиндров гидравлических прессов на основе исследования их триботехнических свойств, а также разработка мер снижения общего уровня их износа. Наиболее значимыми из факторов износа являются давление сопряжения поверхностей трения и скорость их относительного перемещения в узлах уплотнений силовых гидроцилиндров, а также уровень перепадов давления и связанные с ним кавитационные явления для корпусов и плунжеров силовых гидроцилиндров. По результатам исследований ресурсов износа базовых узлов на базе инженерной методики оценки их триботехнических свойств построены четыре группы кривых, представляющих собой зависимости коэффициента ускорения испытаний, продолжительности испытаний, скорости износа деталей и ресурса безотказной работы детали от усилия гидравлического пресса. Исследованиями установлено, что с увеличением усилия гидравлического пресса: коэффициент ускорения испытаний рабочего и возвратного цилиндров, уплотнений и направляющих подвижной поперечины уменьшается; продолжительность испытания рабочего и возвратного цилиндров увеличивается, незначительно увеличивается время испытания работы уплотнений, а направляющих

подвижной перекалдины – наоборот уменьшается; скорость износа рабочего и возвратного цилиндров, направляющих подвижной поперечины уменьшается; ресурс безотказной работы рабочего и возвратного цилиндров и уплотнений увеличивается, а направляющие подвижной поперечины имеют большой скачок вверх. Разработка мероприятий постоянного автоматического контроля и предотвращения приближения работы гидравлического пресса к аварийной границе являются решающим фактором обеспечения безотказной работы его базовых узлов при условии рационального их проектирования и соответствия показателей работы заданным эксплуатационным характеристикам.

Ключевые слова: пресс гидравлический, цилиндр силовой, давление, жидкость рабочая, корпус цилиндра, изнашивание.

Минков К. А., Минков А. Н., Мартынов С. В., Калинов А. М. Мобильный комплекс для регулируемой водо-воздушной закалки кузнечной оснастки // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Рассмотрена проблема повышения стойкости инструмента для горячего деформирования сталей. Рассмотрены требования к наиболее используемым для производства оснастки сталям 5ХНМ и 4Х5МФС, а также существующие традиционные способы их обеспечения. Описаны закалочные среды, применяемые при упрочнении оснастки, показаны их сильные и слабые стороны. Представлен сравнительно новый способ упрочнения – регулируемая водо-воздушная закалка, его преимущества перед объёмным погружением в среду, а также его экологическая чистота. Описаны некоторые стационарные и передвижные установки, используемые в настоящее время, а также предприятия, на которых такие установки работают. Даны их описания и принцип работы.

Описана установка, разработанная на ПАО «Русполимет». Показаны ее принципиальные отличия от подобных установок: применение компьютерного управления работой двухфазных водо-воздушных форсунок при помощи специализированного программного обеспечения, наличие запорных электроклапанов и системы пароулавливания. Дано ее описание, приведены эскизы и описан принцип работы. Преимуществом компьютерного управления авторы статьи считают возможность изменения интенсивности орошения поверхности охлаждаемого изделия непосредственно в процессе охлаждения, что особенно важно при закалке крупногабаритных штампов, так как позволяет обеспечить изотермические условия в области мартенситного превращения, предотвращая тем самым трещинообразование и поводки металла, в отличие от непрерывного охлаждения металла в процессе объёмной закалки при использовании традиционных способов. Наличие же двух дискретно регулируемых охлаждающих контуров установки позволяет получить дифференцированную твердость рабочей зоны штампа и хвостовика.

Представлено разработанное авторами устройство для получения водо-воздушной смеси высокой однородности и плотности – двухфазная водо-воздушная форсунка. Дано ее описание и преимущества перед подобными устройствами. Разработана методика определения интенсивности охлаждения с использованием специализированного стенда.

Ключевые слова: установка для закалки, способ упрочнения, сталь 5ХНМ, штамп, форсунка, методика.

Чоста Н. В. Рекомендации по конструированию кузнечно-прессового оборудования с клиношарнирным механизмом с вогнутым клином для разделительных процессов // Обработка материалов давлением. – 2019. – № 1 (48).

Целью данной статьи является разработка рекомендаций по конструированию оборудования с клиношарнирным механизмом с вогнутым клином для разделительных операций. Разработаны математические модели для расчетов геометрических, кинематических и силовых параметров клиношарнирного механизма с вогнутым клином. Для практического использования предложенных математических моделей результаты расчетов геометрических и силовых характеристик представлены в виде номограмм. С использованием номограмм разработана конструкция пресса с клиношарнирным механизмом с вогнутым клином. Предлагаемый пресс с клиношарнирным механизмом с вогнутым клином принципиально не имеет ограничений по диаметру разделяемых заготовок, поскольку такой механизм обеспечивает значительный выигрыш в силе и переменность соотношения между приводной и технологической силами. Кроме того, пресс имеет большую закрытую высоту штампового пространства, что позволяет расширить его технологические возможности за счет реализации более совершенных схем отрезки с использованием штамповой оснастки. В результате повышения жесткости предложенного клиношарнирного пресса с вогнутым клином в 1,2 ... 1,3 раза, по сравнению с традиционными механическими прессами, уменьшается упругая деформация его деталей и привода при реализации разделительных процессов, а значит – повышается надежность работы оборудования. При этом повышается коэффициент использования оборудования по усилию – от 0,3 ... 0,4 (из-за упругой мгновенной разгрузки пресса) до 0,7 ... 0,8. Также повышается КПД нового пресса вследствие того, что примерно на 60 % уменьшается величина работы, расходуемой на разделение, а именно – величина работы упругой деформации машины. В целом снижается себестоимость нового пресса, по сравнению с традиционными механическими прессами для разделительных операций, в том числе и потому, что детали клиношарнирного механизма более технологичны в изготовлении.

Ключевые слова: прокат, заготовка, разделение, сила, качество, коэффициент полезного действия, жесткость, клин, шарнир, ползун.

АНОТАЦІЇ

Чигиринський В. В., Науменко О. Г. Деякі особливості рішення плоскої задачі механіки суцільного середовища // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

На базі методу аргумент функцій отримано рішення плоскої задачі теорії пружності в класичній підстановці. Введено до розгляду аргумент функції базових змінних. При підстановці у диференційні рівняння формуються оператори, які визначаються цими аргумент функціями, та виконують роль своєрідних регуляторів пошуку. В результаті цього пошуку наведені залежності існування рішень у вигляді співвідношень Коші-Рімана та рівнянь Лапласу. Зіставлені рішення плоскої задачі теорії пружності та пластичності, які отримані однаковим методом. Показано, що поміж ними існують відповідності за принциповими співвідношеннями, які проявляють себе при рішенні задач методом аргумент функцій. До них відносять співвідношення Коші-Рімана, диференційні рівняння Лапласу, яким повинні задовольняти аргумент функції, що входять до складу базових тригонометричних та експоненціальних функцій. Отримання нового результату пов'язано з ускладненням задачі за рахунок розгляду зони деформування в двох станах: пружному і пластичному, врахування одночасного впливу цих станів на деформований та пружний стан середовища. До таких комбінованих центрів деформації можливо віднести зони пластичної обробки заготовки середньої та великої товщини, в яких при контакті з інструментом присутня розвинена зона прилипання. Вплив контактного тертя сприяє її розповсюдженню в глибину центру деформації, утворюючи область загальмованої деформації.

Ключові слова: пружність, пластичність, плоска задача теорії пружності, аргумент функції, порівняльність рішень, співвідношення Коші-Рімана, рівняння Лапласу, зона прилипання.

Алюшин Ю. А. Механізми власних коливань в пружних тілах // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Розглянуто енергетично ізольована система у вигляді пружного стрижня, закріпленого між двома абсолютно твердими опорами. На основі енергетичної моделі механіки отримано розподіл за обсягом і зміна в часі складових пружної і кінетичної енергії для основних форм поздовжніх, поперечних і крутильних коливань. На основі аналізу структури кінематичних інваріантів, асоційованих з енергією, отримані рівняння для розрахунку 8 видів локальної енергії частинок, що беруть участь в коливаннях, у тому числі 2 види, які не впливають на інтегральну за обсягом тіла енергію деформації. Показано, що, за аналогією з вільними коливаннями пружних тіл, коли зміна геометричної структури відбувається без припливу енергії через зовнішні межі системи, можливі зміни в мікрооб'ємах, що проявляються в рівняннях руху і відбуваються за рахунок внутрішніх джерел енергії без обміну енергією з сусідніми частинками. Висловлено припущення, що впливаючі на інтегральні за обсягом частини енергії забезпечують виконання закону збереження, а два інших виду відображають особливості диференціальних рівнянь руху. Частинки в перетинах, через які відбуваються зовнішні впливи для порушення поперечних і крутильних коливань, не змінюють форму і об'єм, енергія на деформацію частинок не витрачається. Отримані результати, в тому числі по періоду та частотам коливань, а також виконання закону збереження для інтегральних за обсягом значень кінетичної і пружної енергії, на додаток до відомих рішень для абсолютно твердих і деформуваних тіл, можна розглядати як додаткові аргументи правомірності застосування енергетичної моделі для рішення різних задач механіки.

Ключові слова: рівняння руху, змінні Лагранжа, інваріанти, енергетична модель, власні коливання.

Алієва Л. І., Алієв І. С., Грудкіна Н. С., Малій Х. В. Моделювання процесу комбінованого радіально-зворотного видавлювання деталей з фланцем // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Розглянуто способи виготовлення стрижневих деталей з фланцем і осьовим відростком видавлюванням. Наведено результати моделювання процесу комбінованого радіально-зворотного видавлювання стрижневої деталі з фланцем і відростком енергетичним методом верхньої оцінки. Для оперативного розрахунку компонент приведеного тиску для кінематичних елементів паралельної течії металу розроблені та підготовлені залежності для розрахунку елементів приведеного тиску деформування, зсуву і тертя на межах модуля.

Встановлено, що при комбінованому видавлюванні з переміщенням металу в радіальному і зворотному напрямках, осередки інтенсивної пластичної деформації зосереджені в зонах вихідних отворів, на перехідних крайках деформуючого інструменту. Між ними розміщена недеформована жорстка зона. Кінематичні параметри процесу знаходять з умови рівноваги даної зони. За цією умовою потужності, прикладені до жорсткої зоні по обидва боки, рівні. Дана також оцінка закономірностям формозміни і розвитку деформованого стану заготовки в процесі комбінованого видавлювання. Представлені графічні залежності формозміни заготовки, які дозволяють прогнозувати отримання напівфабрикатів з необхідними геометричними параметрами.

Дано зіставлення розрахункових значень параметрів формозміни і силового режиму, отриманих методом скінченних елементів з енергетичним методом верхньої оцінки і експериментальними даними. Порівняння

теоретичних та експериментальних значень тисків деформування і швидкостей течії між собою, а також з результатами, отриманими методом скінченних елементів, показало прийнятність отриманих залежностей для технологічних розрахунків силових параметрів і оцінки формоутворення деталей.

Ключові слова: деталі з фланцем і відростком, комбіноване радіально-зворотне видавлювання, деформований стан, метод скінченних елементів, формозміна, сили деформування.

Алієва Л. І., Тітов А. В., Корденко М. Ю. Моделювання процесів поперечного бокового видавлювання // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Моделювання силового режиму процесу бокового видавлювання методом верхньої оцінки дозволило оцінити вплив геометричних параметрів і виду поля швидкостей на приведений тиск деформування. Встановлено, що оптимальне число жорстких елементів залежить від відносної товщини відростка, що видавлюється. Розрахункові формули для плоского бокового видавлювання, отримані методом верхньої оцінки, показують результати, близькі аналогічним рішенням для інших завдань плоского деформування в процесі доштамповки і осадки, що відрізняються видом розривного поля швидкостей.

Отримано уточнені залежності для розрахунку тиску деформування в матрицях з кінчною і закругленою перехідною крайкою. Для останнього випадку застосований криволінійний трикутний модуль, для якого описана методика побудови і розрахунку компонентів наведеного тиску на лініях розриву швидкостей. Метод верхньої оцінки дозволив оцінити нерівномірність розподілу деформацій по перетину видавленого відростка і розрахувати величину тепловиділення відповідного накопиченої деформації уздовж ліній струму металу. Розглянуто процес бокового видавлювання відростка в матриці з кінчною перехідною крайкою і підтверджена можливість взаємної компенсації нерівномірності деформації при простих схемах видавлювання, при їх взаємному поєднанні або доповненні. Підбір схем видавлювання в багатоперехідному процесі або при комбінованому деформуванні, проведений з урахуванням характеру розподілу деформацій, може бути ефективним методом зниження нерівномірності деформації заготовки.

Ключові слова: бокове видавлювання, метод верхньої оцінки, приведений тиск, криволінійні кінематичні елементи, нерівномірність деформації, тепловиділення.

Калюжний В. Л., Левченко В. М. Використання методу балансу потужностей і інженерного методу для аналізу усталеної стадії холодного зворотного видавлювання з роздачою // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Методом балансу потужностей спільно з інженерним методом проведений аналіз холодного зворотного витискування з роздачою в рухомій матриці порожнистих виробів на стаціонарній стадії. Використання методу балансу потужностей дозволяє визначити вплив тертя на контактуючих поверхнях інструменту з осередком деформації і об'ємами заготовки, що не деформуються. Застосування інженерного методу дозволило знайти напруження в осередку деформації для подальшого врахування тертя по Кулону при визначенні потужностей на подолання сил тертя. У рішенні враховано зміцнення металу у осередку деформації при формоутворенні по ступеневій апроксимації діаграми істинних напружень. Отримані формули для визначення зусилля видавлювання і питомих зусиль на пуансоні і матриці, а також межі текучості здеформованого металу. Для перевірки адекватності результатів розрахунків по отриманих залежностях виконано моделювання видавлювання порожнистих виробів конкретних розмірів із сталі 10 з використанням методу скінченних елементів. Порівняння результатів розрахунків по зусиллю видавлювання, зміцненню металу у осередку деформації, питомих зусиллям на пуансоні показало можливість використання отриманих формул для практичних розрахунків процесу зворотного витискування з роздачою.

Ключові слова: зворотне витискування, порожнистий виріб, метод балансу потужностей, інженерний метод, зусилля і питомі зусилля, зміцнення, метод скінченних елементів, порівняння результатів розрахунків.

Тітов В. А., Бень А. М. Моделювання технологічного процесу видавлювання заготовок компресорних лопаток // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Метою роботи є чисельне моделювання процесу видавлювання заготовок лопаток компресорів авіаційних двигунів при вирішенні задач пластичного деформування, порівняння результатів моделювання із реальними результатами.

Показано спосіб використання сучасних систем моделювання, що дозволяють значно скоротити витрати та час розробки нового оснащення за рахунок віртуального моделювання процесу штампування, без виготовлення оснащення та завантаження ковальсько-пресового обладнання. В якості системи моделювання процесів використано програму QForm 2D/3D, за допомогою якої можна варіювати різними параметрами процесу деформування.

Проведено моделювання технологічного процесу видавлювання заготовок компресорних лопаток газотурбінних двигунів. Процес видавлювання моделювався за фактичними розмірами лопатки та штампного оснащення. За формою профілю заготовки компресорної лопатки з урахуванням температурного розширення створено моделі штампного оснащення. Розглянуто особливості створення тривимірної моделі, завдання параметрів моделі в розрахунковий модуль та нанесення сітки кінцевих елементів. Представлено результати

комп'ютерного моделювання, показано характер плинину металу при деформації, силові та енергетичні параметри процесу. Показано результати експериментальних досліджень, проведених на серії заготовок, що були отримані із поступовим збільшенням довжини пера до технологічних параметрів.

Представлено відповідність форми видавленої заготовки, отриманої розрахунковим шляхом, зовнішньому вигляду реальної заготовки, характер заповнення порожнини матриці, а також місця утворення можливих дефектів. Показано застосування прикладних технологій для моделювання процесу деформації та виготовлення штампового оснащення.

Ключові слова: компресорна лопатка, видавлювання, чисельне моделювання, пластична деформація, тривимірна модель, перо, заготовка, газотурбінний двигун.

Медведев В. С., Базарова К. В. Математична модель формозміни металу в чорнових закритих балкових калібрах // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Закриті балкові калібри застосовуються на сортових станах при виробництві двотаврових профілів широкого сортаменту. У чорнових калібрах з прямокутної заготовки за декілька проходів формують підкати двотаврової форми зі стінкою і досить високими фланцями. Для підвищення точності готових двотаврових профілів підкати в чорнових калібрах необхідно формувати з симетричними фланцями і з висотою, що забезпечує надійне висотне обтиснення фланців в наступних контрольних калібрах і отримання точних розмірів по ширині полиць в чистових універсальних калібрах. Для вирішення цього завдання розробник технології повинен мати у своєму розпорядженні надійні методи розрахунку формозміни металу в калібрах.

Метою даної роботи є розробка математичної моделі формозміни металу в закритих балкових калібрах з відношенням товщини стінки до висоти профілю, рівним 0,2–0,4.

У результаті теоретичних досліджень розроблено математичну модель розрахунку інтегральних характеристик формозміни металу (коефіцієнтів висотної деформації полиці, відкритого і закритого фланців) в залежності від прямого обтиску стінки, бокового обтиску фланців і геометричних параметрів осередку деформації. В основу математичної моделі покладено багатофакторний теоретичний експеримент в динамічній постановці з варіюванням безрозмірних технологічних параметрів прокатки (коефіцієнту обтиску стінки по товщині, середнього коефіцієнту бокового обтиску по товщині відкритих і закритих фланців і відношення ширини стінки до її товщини). Межі варіювання безрозмірних технологічних параметрів прокатки обрані за результатами аналізу діючих калібрів прокатних валків. Перебіг металу в калібрах досліджували з використанням методу скінченних елементів і програмного комплексу SIMULIA / ABAQUS. Наведено графіки зміни коефіцієнтів висотної деформації полиць, відкритих і закритих фланців від обтиску стінки, бокового обтиску фланців і ширини стінки. Результати моделювання оброблені класичними методами регресійного аналізу з використанням програм MathCad14 і SPSS і представлені у вигляді регресійних залежностей. Математична модель адекватно описує формозміну металу в чорнових закритих балкових калібрах і її рекомендується використовувати на практиці при розробці технології прокатки і робочих калібрувань валків для виробництва двотаврових профілів підвищеної точності.

Ключові слова: прокатка, калібрування валків, двотавровий профіль, балковий калібр, формозміна, приріст фланців, графік, математична модель, деформація металу.

Ремез О. А., Огінський Й. К., Кузьміна О. М. Моделювання процесу безперервної прокатки в калібрах системи «овал-круг» // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Розробка технології прокатки для різних груп сталей на безперервних станах в даний час виконується за відсутності достовірних відомостей про взаємозв'язок висотної і поперечної деформацій в умовах переднього, заднього натягнення і спільної їх дії. Недостатньо дослідженим є вплив систем витяжних калібрів на параметри прокатки в безперервних станах. Дослідження параметрів прокатки в калібрах системи «овал-круг» (розглянуті на прикладі схеми «круг-овал» при прокатці круглої заготовки в овалному калібрі) проводилося з використанням кінцево-елементної програми FORGE 3D. Дослідження виконувались для сталі 08X13, що відноситься до матеріалів, схильних до підвищеного розширення. Ця особливість течії металу при деформації вивчена недостатньо, що створює труднощі при розробці режимів обтиснень. Результати, представлені в статті, призначені, зокрема, для підготовки експериментальних досліджень.

Метою роботи є розвиток методів дослідження кінематичних параметрів безперервної сортової прокатки за допомогою методів комп'ютерного моделювання, і визначення на цій основі закономірностей зміни технологічних параметрів при безперервній прокатці в системі витяжних калібрів «овал-круг».

Моделювання за зазначеною схемою виконувалося для випадків прокатки з різними поєднаннями переднього і заднього натягнення. Дослідження проводилися для умов неузгодженості швидкостей переднього, заднього, одночасно переднього і заднього кінців смуги. Діапазон відносної неузгодженості швидкостей (по відношенню до прокатці без натягнення) склав 2,5 ... 10 % з кратністю 2,5.

Діапазон зміни коефіцієнтів витяжки склав $\lambda = 1,043 \dots 1,529$, що є досить характерним для даної системи калібрів.

Ключові слова: МСЕ, система калібрів, реологія, натягнення, коефіцієнт витяжки, прокатка, розширення, марка сталі, безперервний стан.

Герасименко О. В., Марков О. С., Косілов М. С., Хващинський А. С., Іванов П. П. Дослідження процесу розкочування ступінчастих конусних кілець // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

В роботі досліджено новий спосіб розкочування крупногабаритних конусних кілець зі ступінчастим профілем. Запропонований спосіб полягає у деформуванні заготовки з уступом ступінчастим бойком. В роботі запропонована методика проведення досліджень методом скінчених елементів. Методика призначена для визначення залежностей напружено-деформованого стану та формозмінення заготовки у процесі розкочування ступінчастим бойком. Змінними параметрами були відносна висота виступу ступінчастих заготовок, яка варіювалась в інтервалі 2,3 ... 2,4. На основі скінчено-елементного моделювання були встановлені: розподіл інтенсивності деформацій у перерізі поковки після розкочування ступінчастим бойком. Визначалась конусність поковки, яка утворюється при розкочуванні за даним способом. Скінчено-елементне дослідження дозволило встановити, що розкочування ступінчастим бойком призводить до утворення конусної форми поковки. Це пояснюється тим, що при обтисканні уступу йде більша тангенціальна деформація кільцевої заготовки в зоні уступу, ніж зоні виступу внаслідок різної висоти ступінчастої заготовки. Встановлено, що при розкочуванні заготовки з різницею відносних діаметрів 0,43 виступ та уступ одночасно деформуються під час всього процесу розкочування. При цьому уступ інтенсивніше збільшується у діаметрі, ніж виступ, через що поковка набуває конусну форму. Це пояснюється різними ступенями деформації, які утворюються у виступі та уступі. Причому ступінь деформації в уступі збільшується інтенсивніше, ніж у виступі. Різниця у ступенях деформації виникає через різницю у товщині стінок виступу та уступу. В результаті досліджень, виконаних в роботі, було встановлено, що розкочування ступінчастих конусних заготовок можливе, це розширює технологічні можливості процесу розкочування крупногабаритних поковок.

Ключові слова: ступінчасте конусне кільце, розкочування, ступінчастий боек, розподіл деформацій, формозмінення, конусність.

Марков О. С., Злигорєв В. М., Житніков Р. Ю., Інчаков С. В., Різак П. І. Удосконалення процесу осадження чотирипроменевих заготовок з кутом увігнутих граней 150° // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Запропоновано новий спосіб осадження заготовок. Спосіб полягає в осадженні заготовок з увігнутими гранями. Розроблено методику теоретичних досліджень. Ця методика полягала в дослідженні механізму закриття штучних осьових дефектів в заготовках. Дослідження проводилися на основі методу скінчених елементів. Основним параметром дослідження була глибина увігнутих граней заготовки. Цей параметр варіювався в діапазоні 25 %; 20 % і 25 %. Кут увігнутих граней становив 150°. Результатами теоретичних досліджень були розподіли: деформацій і напружень в тілі заготовки в процесі осадження заготовок з увігнутими гранями. На основі цих параметрів встановлювався показник напруженого стану в осьовій зоні заготовки. В результаті теоретичних досліджень було встановлено, що ефективною глибиною увігнутих граней є співвідношення діаметрів виступів і уступів рівних 15 %. Для цього співвідношення відбувається інтенсивне закриття осьового дефекту. Це пояснюється високим рівнем стискаючих напружень при осадженні заготовок з увігнутими гранями. Встановлена ефективна ступінь деформації, при якій відбувається інтенсивне закриття дефектів. Встановлені розподіл деформацій за перерізом і висотою заготовки, а також зміна показника напруженого стану в процесі осадження заготовок з увігнутими гранями. Проведені дослідження дозволили зробити висновок про високу ефективність запропонованого нового способу осадження заготовок з увігнутими гранями.

Ключові слова: увігнуті грані, осадження, напружено-деформований стан, осьові дефекти злитка, високоякісні поковки.

Старков М. В., Стрелковська Л. І. Експериментальне дослідження пластичності алюмінієвого сплаву 2024-T4 при імпульсному електрогідролічному штампуванні // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

У сучасній авіаційній промисловості традиційно використовується листовий прокат з алюмінієвих сплавів з підвищеними характеристиками міцності. При використанні таких матеріалів в листовому штампуванні на механічних пресах часто виникає проблема, пов'язана з їх схильністю до руйнування при відносно малих (до 10 %) ступені деформації. У зв'язку з цим виникла необхідність використовувати нові прогресивні технології та обладнання для виготовлення деталей з цих сплавів.

Стаття присвячена дослідженню пластичних властивостей середнічного конструкційного алюмінієвого сплаву 2024-T4, який широко використовується в літакобудуванні, і технологічних можливостей імпульсного електрогідролічного (ЕГ) штампування. Ця технологія дозволяє дозувати енергію розряду з регулюванням інтенсивності і точним прикладанням навантаження до заданих ділянок поверхні деталі, використовувати більш просту технологічну оснастку.

У режимі багатоімпульсного деформування деталі під дією високого тиску рідини і при короткочасній його дії посилюються релаксаційні процеси зі зменшенням деформаційного зміцнення і залишкових напружень в деталі. За рахунок цього збільшується гранична ступінь пластичної деформації сплаву і усувається пружинення деталей.

Це дає можливість виготовляти деталі складної форми і стабілізувати їх форму і розміри в процесі імпульсного навантаження. Ці якості ЕГ штампування створюють хороші передумови для подальшого розширення сфери її використання.

Встановлено, що гранична ступінь деформації деталей зі сплаву 2024-T4 в процесі витяжки залежить від технологічного процесу їх виготовлення. Експериментально показано, що гранична ступінь деформації при імпульсному високошвидкісному процесі ЕГ штампування зростає і для досліджуваного сплаву вона більше, ніж в 1,36 рази в порівнянні з механічним штампуванням на гідропресі.

При ЕГ штампуванні можливо домогтися високої якості поверхні деталей, що важливо для виробів, які використовуються в авіаційній промисловості, до яких пред'являються високі вимоги, особливо при плакуванні штампованих листів м'якими металами

Ключові слова: електрогідравлічний, штампування, сплав, алюміній, деформація, деталь, технологія, прес, міцність.

Бейгельзімер Я. Ю., Кулагін Р. Ю., Саввакін Д. Г., Давиденко О. А., Дмитренко В. Ю., Оришич Д. В. Вплив інтенсивної пластичної деформації на характеристики сплаву системи Ti-Zr-Nb // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Сплави системи Ti-Zr-Nb є перспективними матеріалами для виготовлення конструкційних деталей, що працюють в хімічно-агресивних середовищах. Завдяки ніобію модуль Юнга цих сплавів знижується з 95–110 ГПа, що характерно для сплавів цирконію і титану, до 50–60 ГПа і нижче. Це дозволяє наблизити його значення до відповідної характеристики кісткової тканини, що необхідно для механічної сумісності матеріалів медичних імплантатів, а також може бути використано в техніці для виготовлення пружних елементів різного призначення.

Раніше було показано, що сплави системи Ti-Zr-Nb можна отримувати методом холодного пресування і вакуумного спікання порошкових сумішей гідриду титану, гідриду цирконію і ніобію. При використанні порошків гідридів, водень грає роль тимчасового легуючого елемента і видаляється з металів в процесі вакуумного нагріву, одночасно активуючи дифузійно-контрольовані процеси спікання і хімічної гомогенізації порошкової системи, а також очищуючи поверхню титанових частинок від домішок (кисень, хлор, вуглець). Незважаючи на позитивний вплив водню, в процесі спікання при відсутності деформаційних процесів (без тиску) не вдається знизити об'ємну частку пор нижче 5–8 % в залежності від складу сплавів, що негативно відбивається, в першу чергу, на втомній міцності, а також характеристиках пластичності і міцності.

У статті досліджується вплив крутіння під високим тиском на характеристики сплаву 51Zr-31Ti-18Nb (ат.%), отриманого шляхом холодного пресування і вакуумного спікання порошкових сумішей гідриду титану, гідриду цирконію і ніобію. Показано, що інтенсивна пластична деформація призводить до наступних ефектів: забезпечує значне зниження як загальної пористості, так і розмірів окремих пор; усуває хімічну неоднорідність сплаву, що зберігається після спікання; формує в сплаві субмікроструктурну структуру; збільшує твердість сплаву. Отримані результати вказують на великий потенціал методу крутіння під високим тиском при створенні корозійно та біологічно сумісного сплаву з високим комплексом механічних характеристик.

Ключові слова: нанокристалічні метали, фазові перетворення, мікротвердість, спікання, деформація зсуву, крутіння під високим тиском.

Білошенко В. О., Бейгельзімер Я. Ю., Возняк Ю. В., Чижко В. В. Модифікація полімерних матеріалів інтенсивною пластичною деформацією // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Узагальнено результати досліджень та проведено аналіз впливу інтенсивної пластичної деформації, яка реалізується методами крутіння під високим тиском, рівноканальної кутової і багатокутової екструзії, Т-образної рівноканальної екструзії, гвинтової та плоскої гвинтової екструзії, на структуру і фізико-механічні властивості полімерних матеріалів різної архітектури. Показана ефективність застосування методів обробки, заснованих на використанні деформації простим зсувом, для модифікації структури полімерів і полімерних композитів. Інтенсивна пластична деформація дозволяє сформувати орієнтацію в блокових зразках полімерів, яка обумовлює унікальний комплекс властивостей. Зокрема, рівноканальна багатокутова екструзія допускає в склоподібних полімерах реалізацію структурного стану, що забезпечує підвищення їх деформаційно-міцнісних і ударних характеристик незалежно від напрямку навантаження. У разі аморфно-кристалічних полімерів призводить до багаторазового підвищення жорсткості і міцності при збереженні вихідної пластичності, «інварного ефекту», істотного поліпшення трибологічних характеристик. У полімерних композитів зміна структурних параметрів наповнювачів і полімерної матриці забезпечує додаткові можливості в управлінні їх морфологією і властивостями. Обговорюються фізичні механізми виявлених ефектів структурної модифікації.

Ключові слова: полімерні матеріали, інтенсивна пластична деформація, структура, фізичні та механічні властивості.

Лежнев С. Н., Волокітіна І. Є., Арбуз А. С., Гайдаренко Г. А. Дослідження процесу деформування алюмінієвого сплаву в рівноканальній кутовій матриці з кутом стику каналів 45° // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Описано різноманітні схеми інтенсивної пластичної деформації за допомогою процесу рівноканального кутового пресування (РККП), які дозволяють отримати метал з ультрадрібнозернистою структурою. Представлені результати комп'ютерного моделювання та дослідження на просвічуючому електронному мікроскопі

алюмінієвого сплаву 6060. Показано, що при рівноканальному кутовому пресуванні в запропонованій матриці з кутом стику каналів під кутом 45° забезпечується утворення однорідної субзернистої структури розміром близько 0,5 мкм, що позитивно впливає на механічні властивості алюмінієвого сплаву. За результатами випробувань на розтяг отримано, що рівень міцності заготовок, підданих пресуванню в матриці з кутом стику каналів 45° , значно перевершує аналогічний для зразків, підданих традиційному пресуванню в матриці з кутом 90° . Так значення межі міцності і текучості збільшуються за шість проходів для традиційного РККП (в матриці з кутом стику 900) з 250 до 462 МПа (абсолютний приріст значення межі міцності становить 212 МПа) і з 206 до 420 МПа (абсолютний приріст значення межі текучості складає 214 МПа). Із застосуванням матриці з кутом стику каналів 45° межа міцності і плинності збільшуються за шість проходів з 250 до 505 МПа (абсолютний приріст значення межі міцності становить 255 МПа) і з 206 до 447 МПа (абсолютний приріст значення межі текучості складає 241 МПа), відповідно. Пластичні властивості алюмінієвих зразків в процесі РККП знижуються в обох випадках. Так експериментальні дослідження зміни відносного подовження при випробуванні на розтяг показали, що рівень пластичних властивостей алюмінію після 6 проходів падає в обох випадках практично в 2 рази.

Ключові слова: РККП, ультрадрібнозерниста структура, інтенсивна пластична деформація, алюмінієвий сплав 6060.

Карнаух С. Г. Експериментальні дослідження процесу розділення прокату за схемою триточкової холодної ломки згином при статико-динамічному навантаженні // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Метою даної роботи є експериментальна перевірка адекватності математичної моделі процесу розділення зразків за схемою триточкової холодної ломки згином при статико-динамічному навантаженні і розробка перспективних схем обладнання для реалізації цього процесу. Комбіноване статико-динамічне навантаження зразків при холодній ломці згином позитивно впливає на якість поділюваних заготовок, що підтверджує теоретичні висновки. Висока якість заготовок спостерігалася при поділі зразків із сталі 50ХФА: величина відхилення траєкторії тріщини від прямолінійності практично дорівнює нулю, поверхня руйнування матова, області пластичної деформації в зоні поверхні зламу були відсутні. При поділі зразків зі сталей 30, 40 за схемою триточкової холодної ломки згином спостерігалася підвищення якості заготовок у порівнянні зі статичним і динамічним навантаженням: величина відхилення траєкторії тріщини в середньому складала (0,8 ... 1,4) мм, на поверхні зламу були окремі відколи, вириви металу, мікро- і макротріщини, висота макронерівностей не перевищувала 0,3 мм. Аналіз залежностей висоти мікронерівностей від величини статичної сили показує, що для отримання заготовок високої якості рекомендується вибирати величину статичної сили в діапазоні (40 ... 50) % від сили триточкової холодної ломки згином. На підставі аналізу залежності величини відхилення траєкторії тріщини від значення границі міцності розділяємих зразків встановлено, що зі збільшенням міцності матеріалу підвищується якість заготовок. Розроблено конструкцію прес-молота з кліношарнірним механізмом з увігнутим клином для розділювальних операцій при статико-динамічному навантаженні, яка значно розширює технологічні можливості обладнання і забезпечує високу якість заготовок.

Ключові слова: прокат, заготовка, розділення, ломка, якість, сила, статико-динамічне навантаження.

Аніщенко О. С., Кухар В. В., Присяжний А. Г. Вплив радіусів кривини та стоншення на напружений стан оболонок при надпластичній формовці // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Показано, що головні напруження, особливо тангенціальне напруження, залежать від головних радіусів кривини, а інтенсивність напружень залежить також і від стоншення оболонок при надпластичній формовці. Цих результатів досягнуто при надпластичній формовці заготовок з алюмінієвих сплавів AlMg5 і AlMg6 (заготовка мала змінну товщину) і модельного сплаву Sn-38% Pb надпластичної та ненадпластичної модифікації, яка визначається за величиною коефіцієнта швидкісного зміцнення, що дорівнює 0,60 і 0,25 відповідно. Для оболонок з висотою, що дорівнює радіусу її основи тангенціальні і меридіональні напруження для надпластичного сплаву Sn-38% Pb приблизно рівні (похибка – не більше 18 %). Погіршення надпластичних властивостей сплавів викликає перевищення тангенціальних напружень над меридіональними на 20–50 % у зв'язку з істотним зростанням меридіональних радіусів кривини. В оболонках з заготовок змінної товщини співвідношення головних напружень є функцією відносного радіуса основи і має вигляд параболи з мінімумом в місцях сполучення зон заготовки різної товщини. Похибка відношення інтенсивності напружень в досліджуваних оболонках до аналогічного показника для формування ідеально сферичної оболонки з нерівномірною товщиною стінки дорівнює 10 % для надпластичного сплаву Sn-38% Pb і зростає до 20–30 % для інших сплавів. Якщо припустити, що оболонка має контур ідеальної сфери і рівномірне стоншення стінок уздовж контуру, то зазначена раніше похибка відношення інтенсивності напружень зростає до 50–130 %.

Ключові слова: надпластична формовка, контур, радіус кривини, напруження, інтенсивність, меридіональне, тангенціальне.

Омаров Ш. А., Махмудов К. Д. Экспериментальні дослідження магнітно-еластоімпульсного формування // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Основною метою експериментальних досліджень магнітно-еластоімпульсного формування є визначення параметрів розрядного контуру, зокрема розрядного струму, напруженості магнітного поля в зазорі між індуктором і рухливим елементом, параметрів тиску в пружному середовищі при деформації заготовки, а також параметрів прогину заготовки і товщиною деформації. Дані виміри повинні виконуватися синхронно для того, щоб здійснити перевірку коректності розрахункової моделі. В основу даних вимірювань покладені методи вимірювання тисків, конструкції датчиків тиску і їх тарування, методи вимірювання розрядного струму поясу Роговського, напруженості магнітного поля – індукційними датчиками. Запропоновано систему безрозмірних параметрів, що впливають на коефіцієнт ефективності. На основі обробки експериментальних даних отримана емпірична залежність коефіцієнта ефективності від безрозмірних параметрів. Пропонується вимірювальний стенд для комплексної перевірки розрахункової моделі з параметрами розрядного струму, електромагнітного тиску на рухомий елемент і параметри тиску в пружному середовищі при деформації заготовки в процесах магнітно-еластоімпульсного формування. При цьому зроблено тарування всіх вимірювальних перетворювачів. Зіставлення математичної моделі з параметрами розрядного струму, середнього електромагнітного тиску і тиску в пружному середовищі з результатами експериментальних вимірювань показало, що значення похибки прогнозування даних параметрів знаходяться в межах значень точності визначення параметрів кривої деформаційного зміцнення матеріалу та динамічного модуля об'ємного стиснення еластичного середовища (поліуретану).

Ключові слова: експериментальні дослідження, вимірювальний стенд, магнітно-еластоімпульсне формування, напруженість магнітного поля, розрядний контур, крива деформаційного зміцнення, динамічний модуль.

Шевцов С. О. Аналіз впливу вибору температурного режиму процесу ротаційного обкочування інструментом тертя на герметичність днищ балонів // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Значне місце серед промислових виробів займає продукція з днищем. Проведено аналіз стану питання про виготовлення балонів різними способами. Досить часто балони виготовляють з декількох частин, які зварюються. Такий метод не гарантує високу надійність з'єднання металу днища й корпусу балону, а також вимагають значної кількості різноманітних виробничих операцій та обладнання, також розглянуті інші способи виготовлення пустотілих виробів. Одним із методів виготовлення балонів підвищеної міцності та герметичності є спосіб використання операції обкочування заготовки з сталюї труби інструментом тертя. Цей спосіб є доцільним з точки зору зниження собівартості для великосерійного виробництва. Ця технологія проста в реалізації, добре піддається автоматизації та не потребує значних капіталовкладень для створення серійного виробництва. Але при порушенні певних технологічних схем процесу обкочування виникають певні дефекти, що знижує якість виробів, або вимагає усунення дефектів. Метою роботи є встановлення впливу температурного режиму обкочування на процес для підвищення якості днищ балонів та ємностей з трубчастих різновтовщинних заготовок. Об'єктом досліджень є процес виготовлення днищ балонів підвищеної міцності та герметичності ротаційним обкочуванням інструментом тертя. Математичне моделювання процесу на основі рівнянь теплопровідності з урахуванням напружено-деформованого стану заготовки дозволило встановити діапазони основних параметрів процесу для подальшого моделювання методом скінченних елементів. Такими рекомендаціями будуть: початкова температура, відносна товщина стінок та відносна подача заготовки до інструмента тертя. Після моделювання були зроблені висновки: що до початку процесу обкочування оптимальною температурою нагрівання заготовки є температура приблизно рівна $T_{\text{гом}} = 0,8$. Підігрівання в процесі обкочування заготовки не потребують. Для тонкостінних заготовок для запобігання ефектів переплавлення та перегрівання виникає необхідність підстужування заготовки. Для товстостінних заготовок рекомендується нагрівання проводити максимально близьким до температури $T_{\text{гом}} = 0,8$.

Ключові слова: обкочування, інструмент тертя, температурний режим, балон, метод скінченних елементів.

Каргін Б. С., Каргін С. Б., Ашихмин А. Г. Вплив форми робочої грані пуансона і технологічного мастила на енергосилові параметри вирубки-пробивки // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Представлені результати лабораторних досліджень впливу форми робочої грані пуансона і технологічного мастила (ТМ) на енергосилові параметри вирубки-пробивки. Силові параметри визначалися за показаннями розривної машини Р20. Пуансони мали наступну форму робочої грані: плоский, з одностороннім нахилом робочої ріжучої кромки ($\alpha = 15^\circ$), з двостороннім нахилом різальних крайок ($\alpha = \alpha = 15^\circ$), з рифленою робочою бічною поверхнею (крок $t = 0,5$ мм і $t = 1$ мм). Пуансони були виготовлені зі сталі У8А і мали твердість HRC 56–59. Експерименти проводилися на листових заготовках зі сталі Ст3сп товщиною 2 мм. Діаметр вирубаної деталі 52 мм.

Встановлено, що сила вирубки пуансоном з одностороннім нахилом різальних крайок мала мінімальне значення, яке в 2,4 рази менше, ніж при вирубці плоским пуансоном.

Встановлено вплив кроку рифлення бічної поверхні пуансона. Зокрема показано, що застосування пуансона з кроком рифлення $t = 0,5$ мм дозволяє знизити силу вирубки на 22 % в порівнянні з пуансоном, що мають крок рифлення $t = 1$ мм. Показано, що зниження силових параметрів на робочі грані пуансона дозволяє підвищити їх стійкість.

Найбільш ефективною технологічним мастилом є ТС «Укринол-8». Його застосування дозволяє на 10 % знизити силу вирубки і отримати більш якісну поверхню у вирубаної деталі.

Ключові слова: вирубка-пробивка, заготовка, деталь, пуансон, сила, технологічне мастило, ріжуча кромка, рифлення, стійкість, собівартість, сталь.

Орлюк М. В., Піманов В. В., Савченко А. В. Зниження ймовірності гофроутворення при багато-перехідному витягуванні деталей з нержавіючої сталі 08X18H10T // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

В даній роботі наведені результати досліджень, виконаних на замовлення комерційної організації. Було проведено аналіз можливості оптимізації традиційної технології багатоперехідного витягування на прикладі конкретного вісесиметричного виробу зі сталі 08X18H10T. Згідно з рекомендаціями довідкової літератури для виготовлення даної деталі необхідне витягування за два переходи з притиском заготовки на кожному. За допомогою чисельного моделювання в програмному комплексі Deform 3D досліджені особливості процесу виготовлення виробу. Перевірено і підтверджено можливість прогнозування гофроутворення в середовищі Deform 3D шляхом моделювання першого переходу витягування без використання притискача. Встановлено, що реалізація першого переходу витягування без притиску заготовки неможлива. Проведено чисельне моделювання виготовлення виробу по запропонованій технології за два технологічних переходи. Визначено напружено-деформований стан напівфабрикату на переходах витягування, отримано графіки залежності зусилля процесу від переміщення пуансона. Отримані результати показали, що при створенні більш сприятливої схеми деформування (при раціональному поєднанні параметрів процесу) з'являється можливість реалізації подальших переходів витяжки без притиску. Підвищення стійкості фланця на наступних переходах за рахунок раціонального розподілу ступенів деформації і використання оптимальної геометрії матриці з конусно-тороїдальною формою робочої поверхні підтверджено практичною реалізацією розробленої технології. Різниця числових значень зусилля процесів витягування, отриманих чисельним моделюванням і в ході практичних експериментів, не перевищує 10 %.

Ключові слова: витягування, притиск, коефіцієнт витягування, чисельне моделювання, метод скінчених елементів, конусно-тороїдальна матриця, порожнистий виріб, гофроутворення.

Михайлов О. В., Михайлов А. О., Баглюк Г. А., Штефан Є. В. Дослідження ущільнення та формозміни пористих заготовок при отриманні виробів з внутрішньою конусоподібною поверхнею // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Методом комп'ютерного моделювання досліджено процес штампування порошкових виробів, що мають похилу конічну поверхню. Штампування здійснювалося в штампі з кільцевим конічним компенсатором. Досліджено закономірності ущільнення і формозміни заготовок двох типів: з однорідним розподілом початкових властивостей за об'ємом та біметалеві.

Моделювання виконано на основі континуального підходу. В якості визначальних співвідношень використовувалися співвідношення теорії пластичності пористого тіла, що представляють собою узагальнення існуючих еліпсоїдальних моделей. Визначення форми заготовки, яку штампують, а також полів щільності, напруг і деформацій виконано на основі методу скінчених елементів.

Встановлено, що деформування заготовки відбувається в кілька стадій. Спочатку спостерігається радіальна течія матеріалу від центру. Потім матеріал досягає поверхні матриці і починається витікання в компенсатор. На заключній стадії матеріал повністю заповнює порожнину штампа і відбувається вирівнювання щільності за обсягом виробу, який штампують.

При штампуванні біметалевих заготовок, матеріал верхнього шару, яких більш міцний, ніж матеріал нижнього шару, відбувається видавлювання нижнього шару з під верхнього. Уникнути цього явища можна за рахунок відмінності початкових пористостей шарів.

Ключові слова: штампування, порошкова заготовка, біметалева заготовка, конусоподібна поверхня, пористість, теорія пластичності, метод скінчених елементів.

Грибков Е. П., Бережна О. В., Івчик Р. С., Коваленко А. К. Дослідження впливу дискретизації об'єму на точність розрахунку процесу правки листів методом скінчених елементів // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Основним завданням при проектуванні процесів правки є визначення впливу режимів правки на енергосилові параметри процесу та кінцеву кривизну лисів. Найбільш точним методом моделювання процесу правки є метод скінчених елементів. Основним недоліком цього методу є значний час реалізації, що ускладнює вирішення задач оптимізаційного плану. Основною метою роботи було визначення мінімально достатньої кількості скінчених елементів для отримання результатів з відносно мінімальним розмахом своїх значень по мірі протікання процесу. На основі реалізації скінчено-елементної моделі процесу правки листів проаналізовано вплив дискретності розбиття об'єму матеріалу, що деформується, на точність та час розрахунку з метою зниження витрат машинного часу при вирішенні задач оптимізаційного плану для визначення режимів правки. Розрахункова схема представляла лист, що деформується, 11 робочих роликів з кроком 275 мм і діаметром 260 мм. Моделювання процесу правки було виконано для листа товщиною 10 мм, шириною 2000 мм та довжиною 3200 мм. Лист було представлено у вигляді пластично деформованого тіла, роликів – у вигляді абсолютно

жорстких тіл. Задачу було вирішено у двомірній площині і у динамічній постановці. По товщині з характеру самого процесу правки листи було розбито на п'ять елементів. При розрахунку сили правки на третьому роликуні та її коефіцієнту варіації було встановлено, що при моделюванні раціональною кількістю є 6000 скінчених елементів або 1875 елементів на погонний метр. При цьому час реалізації моделі склав близько 1,17 години (Intel Core i5, 8Gb RAM) при варіації сили правки 0,01 та похибці розрахунку менше 1 % відносно більш точного вирішення. Саме ця дискретизація є раціональною для постановки та вирішення задач з оптимізації технологічних налаштувань багатороликової правильної машини.

Ключові слова: листоправильна машина, правка листів, скінчено-елементна модель, робочі ролики, технологічні налаштування.

Максименко О. П., Оробцев А. Ю., Самохвал В. М., Штода М. М., Марченко К. К. Методика дослідження і аналіз зношення калібрів валків дрового блоку // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Вивчення зношення валків, як основного робочого інструменту в процесах прокатування, залишається актуальною задачею, незважаючи на численні роботи у цій галузі. Застосування нових валкових матеріалів, які забезпечують більш високу зносостійкість, вимагає додаткового вивчення особливостей їх зношення та удосконалення методики вимірювання зношення. У зв'язку з цим, метою даної роботи є розробка методики експериментального вивчення зношення валків на прикладі дрового блоку. Виконані експериментальні дослідження зношення валків дрового блоку з використанням годинникового індикатора та оптико-світлового методу. Статистична обробка отриманих даних підтвердила однорідність результатів вимірювань та можливість застосування оптико-світлового методу, як більш інформативного. Цей метод дозволяє визначати зношення по всьому контуру врізів валків. Дослідження, виконані при прокатуванні катанки діаметром 5,5 мм з використанням оптико-світлового методу, дозволили встановити, що глибина зношення врізів валків розподілена нерівномірно та істотно залежить від характеру зміни середнього тиску металу на валки. Найбільш схильні до зношення калібри четвертої та п'ятої клітей, де переважає абразивне зношення. В перших двох клітях спостерігається осповидне зношення. На знос калібрів валків певний вплив має також величина зазору між валками. При збільшенні цього зазору ймовірність звальовання розкату в калібрі зростає, що відбивається на його виробленні.

Ключові слова: рывчаки валків, калібри, зношення, дровий блок, оптико-світловий метод.

Найзабеков А. Б., Лежньов С. Н., Панін Е. А., Арбуз А. С. Вплив радіально-сдвигової прокатки на мікроструктуру і механічні властивості технічного титану // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Поліпшення якості металовиробів через поліпшення мікроструктури є одним з найголовніших трендів сучасної металургії. Такий підхід дозволяє домагатися особливих властивостей без витрати дорогих легуючих добавок. Основна ідея полягає в подрібненні зеренної структури матеріалу до розмірів менш мікрона. При ука-заних розмірах зерна починають проявлятися властивості зміцнення при відносно невеликій втраті пластичності. В цьому випадку можна говорити про ультрадрібнозернисті (УМЗ) матеріали. Даний напрямок особливо актуальний для областей науки і техніки, де дуже жорсткі вимоги до розміру і ваги деталей при високій їх міцності. Це аерокосмічна техніка і медицина (імплантологія і ортопедія). Тому має сенс проводити дослідження насамперед на актуальних матеріалах. Титан відомий своєю біологічною інертністю, тому є основою для протезування. У даній роботі були проведені експерименти на технічно чистому титані за технологією, близькою до промислової реалізації. Був проведений експеримент, в ході якого довгомірн заготовка при температурі 500 °С прокочувалася з діаметра 30 мм до діаметра 13 мм на стані СВП-08. Після чого заготовка охолоджувалася водою і з неї виготовлювалися зразки для дослідження мікроструктури і зразки для дослідження механічних властивостей. Аналіз мікроструктури показав наявність рівноосної ультрадрібнозернистої структури в периферійних областях заготовки і наявність витягнутої волокнистої текстури в осьовій зоні. Міцність заготовки зросла більш ніж в 2 рази, при цьому пластичність зменшилася не настільки значно.

Ключові слова: радіально-сдвигова прокатка, ультрадрібнозерниста структура, титан, механічні властивості, інтенсивна пластична деформація.

Фролов Я. В., Дьоміна К. Г., Андрєєв В. В. Порівняльний аналіз результатів моделювання та оцінки пророблюваності структури сталі 09Г2С в процесі поздовжньої прокатки трубною заготовки Ø 250 мм // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Для розвитку методу оцінки деформованого стану металу зі зміни параметрів колишньої дендритної структури в роботі виконано аналіз напружено-деформованого стану, який сформувався під час прокатки в останньому, круглomu, калібрі кліті 900 трубозаготівельного стану 900 / 750 – 3, і зіставлення результатів математичного моделювання з оцінкою пророблюваності структури трубною заготовки Ø 250 мм. Результати математичного моделювання та металографічного аналізу показали хорошу збіжність. На підставі отриманих результатів визначено зони активної і пасивної деформації та їх розташування в напрямку ½ вертикальної осі поперечного перерізу дослідженої заготовки. Глибина зони прилипання становить 12,5 мм, зона інтенсивної пластичної деформації зосереджена на відстані 50–112,5 мм від центру заготовки, центральні шари заготовки є зоною пасивної деформації. Вперше показано, що зміна зсувного напруження τ_{zx} повністю відображає характер

зміни коефіцієнта пророблюваності структури K крупносортового прокату. При дослідженні впливу деформаційної дії на мікроструктуру сталі використання її структурної складової – хімічної неоднорідності, що успадковується від дендритної ліквіації кремнію та марганцю, – дозволяє виконати не тільки кількісну оцінку інтенсивності та локалізації деформації, але і якісно судити про зміну напруження зсуву по перерізу заготовки. Подальші дослідження в даному напрямку дозволять розширити теоретичні уявлення про формування напружено-деформованого стану металу в високих осередках деформації при прокатці та стати підставою для розробки практичних рекомендацій щодо вдосконалення технології виробництва крупносортового прокату.

Ключові слова: моделювання, подовжня прокатка, високий осередок деформації, трубна заготовка, напружено-деформований стан, сталь, дендритна структура, коефіцієнт пророблюваності.

Боровік П. В. Обґрунтування профілювання фасонного ножа для розділення квадратної заготовки в гарячому стані // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Проаналізовано переваги та недоліки процесу гарячого розділення безперервнолитої квадратної заготовки на ножицях з фасонними ножами. Відзначається доцільність проведення теоретичних досліджень розділових операцій на ножицях на базі методу скінченних елементів. Метою даної роботи було теоретичне обґрунтування профілювання фасонного ножа для розділення квадратної заготовки в гарячому стані шляхом математичного моделювання на базі методу скінченних елементів. Представлено опис тривимірної математичної моделі, на базі якої виконані теоретичні дослідження процесу розділення квадратної заготовки перерізом 120×120 мм із сталі 20 при температурі 970°C зі швидкістю 70 мм/с. Для оцінки впливу профілювання ножів на формування заготовки в зоні різку наведені результати симуляцій процесу з ножами різної конфігурації. В ході обробки даних моделювання були отримані три відносних параметра, два з яких характеризують змінання (затяжка) кінців розкату, і ще один – ромбічність торцевої поверхні. За результатами досліджень відзначено, що на якість поверхні різання істотно впливає профілювання ножів. Отримано рівняння регресії для всіх трьох параметрів якості різання, котрі дозволяють визначити оптимальні значення кутів розкриття і нахилу ріжучих кромки ножів, при забезпеченні необхідних параметрів якості різання. Запропоновано кут розкриття ріжучих кромки ножів приймати рівним $95,6^\circ$ при куті нахилу 7° , що дозволить забезпечити ромбічність $1,05$. Результати роботи можуть бути рекомендовані для використання при прийнятті проектно-конструкторських і технологічних рішень в питаннях гарячого розділення безперервнолитої квадратної заготовки фасонними ножами на кут.

Ключові слова: фасонний ніж, розділення квадратної заготовки в гарячому стані, ножиці, математична модель.

Корчак О. С., Біленець К. Є. Дослідження триботехнічних властивостей силових циліндрів гідравлічних пресів на базі інженерної методики оцінки їх ресурсу безвідмовної роботи // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Метою роботи є підвищення ресурсу безвідмовної роботи силових циліндрів гідравлічних пресів на основі дослідження їх триботехнічних властивостей, а також розробка заходів зниження загального рівня їх зношення. Найбільш визначальними з факторів зношення є тиск сполучення поверхонь тертя та швидкість їх відносного переміщення у вузлах ущільнень силових гідроциліндрів, а також рівень перепадів тиску та пов'язані з ним кавітаційні явища для корпусів і плунжерів силових гідроциліндрів. За результатами досліджень ресурсів зношення базових вузлів на базі інженерної методики оцінки їх триботехнічних властивостей побудовані чотири групи кривих, що являють собою залежності коефіцієнта прискорення випробувань, тривалості випробувань, швидкості зношення деталі та ресурсу безвідмовної роботи деталі від зусилля гідравлічного пресу. Дослідженнями встановлено, що зі збільшенням зусилля гідравлічного преса: коефіцієнт прискорення випробувань робочого і зворотного циліндрів, ущільнення і направляючих рухомої поперечини зменшується; тривалість випробування робочого і зворотного циліндрів збільшується, незначно підвищується час випробування роботи ущільнень, а направляючих рухомої поперечини – навпаки зменшується; швидкість зношення робочого і зворотного циліндрів, направляючих рухомої поперечини зменшується; ресурс безвідмовної роботи робочого і зворотного циліндрів та ущільнення збільшується, а направляючі рухомої поперечини мають великий стрибок вгору. Розробка заходів постійного автоматичного контролю та запобігання наближення роботи гідравлічного преса до аварійної границі є вирішальним фактором забезпечення безвідмовної роботи його базових вузлів при умові раціонального їх проектування та відповідності показників роботи заданим експлуатаційним характеристикам.

Ключові слова: прес гідравлічний, циліндр силовий, тиск, рідина робоча, корпус циліндра, зношення.

Мінков К. О., Мінков О. Н., Мартинов С. В., Калінов А. М. Мобільний комплекс для регульованого водоповітряного гартування ковальського оснащення // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Розглянуто проблему підвищення рівня стійкості інструментів для гарячого деформування сталей. Розглянуті вимоги до найбільш поширених у виробництві сталей 5ХНМ і 4Х5МФС, а також існуючі традиційні способи їх забезпечення. Описані гартувальні середовища, що застосовуються при зміцненні оснащення, показані їхні сильні та слабкі сторони. Показано порівняно новий спосіб зміцнення – водоповітряне гартування, що регулюється, його переваги перед об'ємним зануренням у середу, а також його екологічна чистота. Описані деякі стаціонарні і рухомі установки, що використовуються у даний час, а також підприємства, на яких такі установки працюють. Дано їх опис та принцип роботи.

Описана установка, розроблена на ПАО «Русполімет». Показана її принципіальна відмінність від подібних установок: застосування комп'ютерного управління роботою двофазних водоповітряних форсунок за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, наявність запірних електроклапанів та системи пароутримання. Дано її опис, приведені ескізи і принцип роботи. Перевагою комп'ютерного управління автори статті вважають можливість зміни інтенсивності зрошення поверхні виробу, що охолоджується, безпосередньо в процесі охолодження, що особливо важливо при загартуванні великогабаритних штампів, так як дозволяє забезпечити ізотермічні умови в області мартенситного перетворення, запобігаючи тим самим утворення тріщин і повідці металу, на відміну від безперервного охолодження металу в процесі об'ємного загартування при використанні традиційних способів. Наявність же двох дискретно регульованих охолоджувальних контурів установки дозволяє отримати диференційовану твердість робочої зони штампа і хвостовика.

Представлено також розроблений автомат для отримання водоповітряної суміші високої однорідності та щільності – двофазна водоповітряна форсунка. Дано його опис і переваги перед подібними пристроями. Розроблена методика визначення інтенсивності охолодження з використанням спеціалізованого стенду.

Ключові слова: установка для загартування, спосіб зміцнення, сталь 5ХНМ, штамп, форсунка, методика.

Чоста Н. В. Рекомендації з конструювання ковальсько-пресового обладнання з клиношарнірним механізмом з увігнутим клином для розділювальних процесів // Обробка матеріалів тиском. – 2019. – № 1 (48).

Метою статті є розроблення рекомендацій з конструювання обладнання з клиношарнірним механізмом з увігнутим клином для розділювальних операцій. Розроблено математичні моделі для розрахунку геометричних, кінематичних і силових параметрів клиношарнірного механізму з увігнутим клином. Для практичного використання запропонованих математичних моделей, результати розрахунків геометричних і силових характеристик представлені у вигляді номограм. З використанням номограм розроблено конструкцію преса з клиношарнірним механізмом з увігнутим клином. Пропонований прес з клиношарнірним механізмом з увігнутим клином принципово не має обмежень по діаметру розділюваних заготовок, оскільки такий механізм забезпечує значний вигреш в силі і змінність співвідношення між приводною і технологічною силами. Крім того, прес має значну закриту висоту штампового простору, що дозволяє розширити його технологічні можливості за рахунок реалізації більш досконалих схем відрізки з використанням штампового оснащення. В результаті підвищення жорсткості запропонованого клиношарнірного преса з увігнутим клином в 1,2 ... 1,3 рази, у порівнянні з традиційними механічними пресами, зменшується пружна деформація його деталей і приводу при реалізації розділювальних процесів, а значить – підвищується надійність роботи обладнання. При цьому підвищується коефіцієнт використання обладнання по зусиллю – від 0,3 ... 0,4 (через пружне миттєве розвантаження преса) до 0,7 ... 0,8. Також підвищується ККД нового преса внаслідок того, що приблизно на 60 % зменшується величина роботи, що витрачається на розділення, а саме – величина роботи пружної деформації машини. В цілому знижується собівартість нового преса, у порівнянні з традиційними механічними пресами для розділювальних операцій, в тому числі і тому, що деталі клиношарнірного механізму більш технологічні у виготовленні.

Ключові слова: прокат, заготовка, розділення, сила, якість, коефіцієнт корисної дії, жорсткість, клин, шарнір, повзун.

ABSTRACTS

Chigirinsky V. V., Naumenko E. G. Some features of solution of continuum mechanics plane problem // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

Based on the argument functions method, the solution of a plane elasticity problem in classic formulation was found. The argument functions of base variables were introduced. During substitution in differential equations, abstract functions are formed, defined by the argument functions, which are used as a somewhat search tool. As a result of this search, conformities of solution existence as correlations of Cauchies-Riemann and Laplace's equations are shown. The solutions of plane problems of theory of elasticity and plasticity, received by the same method, were confronted. It was stated, that accordance with principle correlations exists between them, which approve at the use of argument functions method. Those include correlations of Cauchies-Riemann, differential Laplace's equations. The argument functions, as components of the base trigonometric and exponential functions, must be capable of satisfying them. The new result was received due to the increased difficulty of the problem by analysis of area of deformation in two states, elastic and plastic, considering their integrated influence on the strained and stressed states. Those combined deformation zones include plastic working zones of intermediate and big size, which show the signs of developed stick region, when contacting the tool. Due to the contact friction, the developed stick region extends into the depth of the deformation zone, creating the restrained zone.

Keywords: elasticity, plasticity, plane elasticity, argument functions, comparableness of solutions, correlations of Cauchies-Riemann, Laplace's equations, stick region.

Alyushin Y. A. The mechanisms of natural vibrations in elastic bodies // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The energy-isolated system in the form of an elastic rod fixed between two absolutely solid supports is considered. On the basis of the energy model of mechanics, the volume distribution and time change of the elastic and kinetic energy components for the main forms of longitudinal, transverse and torsional vibrations are obtained. Based on the analysis of the structure of the kinematic invariants associated with energy, the equations for the calculation of 8 types of local energy for the particles involved in vibrations, including 2 types that do not affect the strain energy integrated in the body volume, are obtained. It is shown that, by analogy with the free vibrations of elastic bodies when the change of the geometrical structure takes place without the flow of energy through the outer boundary of the system, possible changes in the micro-volumes shown in the equations of motion and what is happening at the expense of internal energy sources without the exchange of energy with the neighbouring particles. It is suggested that the energy parts affecting the volume integral parts ensure the conservation law, and the other two types reflect the features of the differential equations of motion. The particles in the cross sections through which external influences occur to excite transverse and torsional vibrations do not change shape and volume, the energy for the deformation of the particles is not consumed. The results obtained, including the period and frequencies of oscillations, as well as the implementation of the conservation law for the volume integral values of kinetic and elastic energy, in addition to the known solutions for absolutely rigid and deformable bodies, can be considered as additional arguments for the legitimacy of the application of the energy model to solve various problems of mechanics.

Keywords: equations of motion, Lagrange variables, invariants, energy model, natural oscillations.

Aliieva L. I., Aliiev I. S., Grudkina N. S., Malii K. V. Simulation of combined radial-backward extrusion process with flange part // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The methods of manufacturing core parts with flange and axial branches in extrusion process are considered. The simulation results of combined radial-backward extrusion process core part with a flange and branches by using upper bound methods are defined. For the rapid calculation of relative pressure components for kinematic elements of parallel metal flow are determined to calculate the deformation relative pressure in the element and shear and friction at the element boundaries.

It is considered that for combined extrusion with metal outflow in the radial and backward directions, intensity plastic deformation is concentrated in the areas of the outlets on transition edges of the deforming tool. There is a non-deformable rigid zone between them. The kinematic parameters of the process are found from the equilibrium condition of this zone. Under this condition, the powers applied to the rigid zone are equal on both sides. Evaluation of the laws governing the shaping and development of the billet deformed state in combined extrusion process are defined. Graphic dependencies of the billet shape, which allow us to predict the production of semi-finished products with the necessary geometric parameters, are determined.

Values of the shaping parameters and power mode by using different methods such as finite element method, upper bound method and experimental data are considered. Comparison of theoretical and experimental values in deformation pressure and flow velocity between each other and so with the results obtained by the finite element method showed the acceptability of the obtained dependencies for technological calculations of power parameters and evaluation of the parts shaping are defined.

Keywords: part with flange and branch, combined radial-backward extrusion process, deformation state, finite element method, shaping form, deformation force.

Aliieva L. I., Titov A. V., Kordenko M. Yu. Simulation of transverse lateral extrusion process // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The simulation of power mode in lateral extrusion by using upper bound method allowed us to estimate the influence of geometric parameters and the type of velocity field on the reduced deformation pressure. The optimal number of rigid elements depends on the relative thickness branches of the extruded process are considered. Calculation formulas for plane strain stress in lateral extrusion, obtained by using upper bound method are shown that these results similar analogical solutions that for other problems of plane strain stress deformation in processes such as extrusion and upsetting, differing by the type of discontinuous velocity field. Refined dependences for calculating deformation pressure in matrices with a conical and rounded transition edge are determined. For the last case, a curvilinear triangular module is applied for which the construction method and calculating the components of relative pressure at the discontinuity velocity lines. Uneven distribution of deformations in the cross section of branches in the extruded process and calculate the heat generation value of the corresponding accumulated strain along the metal streamlines by using upper bound method are defined. The lateral extrusion processes with different branches in a matrix with a conical transition edge and confirmed the possibility of mutual compensation of uneven deformations with simple extrusion schemes with their mutual combination or addition. Selection of extrusion schemes in a multi-transition process or with a combined deformation, carried out character of deformations distribution can be an effective method to reduce the uneven deformation of the billets are considered.

Keywords: lateral extrusion, upper bound method, relative pressure, curvilinear kinematic elements, unevenness of deformation, heat dissipation.

Kaliuzhnyi V. L., Levchenko V. N. Using the method of power balance and engineering method for the analysis of the stationary stage of cold reverse extrusion with hole expanding // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The analyze of cold reverse extrusion with hole expanding of axisymmetric hollow products in the movable die at the stationary stage is carried out by using of the method of power balance together with the engineering method. The use of the power balance method makes it possible to determine the influence of friction on the contacting surfaces of the tool with the deformation region and the elastic volumes of the deformed workpiece. The use of the engineering method made it possible to find stresses in the deformation region for the subsequent consideration of Coulomb friction in determining the power for overcoming friction forces. The solution takes into account the hardening of the metal in the deformation region during forming according to the power approximation of the true stress diagram. Formulas are obtained for determining the extrusion force and specific force on the punch and the die, as well as the yield strength of the deformed metal. The finite element simulation of hollow products with specific dimensions from steel 10 was carried out to check the adequacy of the calculation results based on the obtained dependences. Comparison of calculation results of the load of extrusion, hardening of the metal in the deformation region, the specific forces on the punch showed the possibility of using the formulas obtained for practical calculations of the process of reverse extrusion with hole expansion.

Keywords: reverse extrusion, hollow product, power balance method, engineering method, force and specific force, hardening, finite element method, comparison of calculation results.

Titov V. A., Ben A. M. Modeling of the extrusion technological process of compressor blades blanks // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The purpose of research is numerical modeling of the process of aviation engines compressor blades blanks extruding with solving plastic deformation tasks, comparing simulation results with actual results.

The method of using modern modeling systems is shown, which makes it possible to significantly reduce the costs and development time of new tooling through virtual modeling of the stamping process, without making tooling and loading forging equipment. The QForm 2D/3D program was used as a process modeling system, with which you can vary the various parameters of the deformation process.

It was carried out technological process modeling of compressor blades blanks extrusion of gas-turbine engines. The extrusion process was modeled on the actual blade size and die tooling. According to the shape of the profile of the compressor blade blank, taking into account thermal expansion, models of die tooling have been created. It was considered the creating peculiarities of a 3D model, setting the model parameters in the calculation module and applying the finite element grid. It was presented the results of computer simulation, the nature of the metal flow under deformation, the power and energy parameters of the process. It was shown that the obtained results are consistent with experimental studies carried out on a series of blanks that were obtained with a gradual increase in the length of the blade to technological parameters.

It was presented a good correspondence of the extruded blade, obtained by calculation, the external form of the real workpiece, the filling of empty matrices, as well as the place of defects. The use of applied technologies for modeling the deformation process and the manufacture of stamp equipment is shown.

Keywords: compressor blade, extruding, numerical modeling, plastic deformation, 3D model, blank, gas turbine engine.

Medvedev V. S., Bazarova E. V. Mathematical model of metal deformation in roughing closed girder passes // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

Closed girder passes are used at shape mills under production of a wide range of I-beams. In rough passes rectangular billets are formed during several passes into semi-finished rolled stock of I-form with a wall and rather high flanges. To improve accuracy of finished I-beams, semi-finished rolled stock in rough passes have to be formed with symmetrical flanges and with a height that ensures reliable high-altitude compression of flanges in subsequent control passes and obtaining accurate dimensions upon the width of flanges in finishing universal passes. To solve this task, the developer of the technology should have reliable methods for calculating metal deformation in passes.

The purpose of the work is to develop mathematical model of metal deformation in closed girder passes with a ratio of wall thickness to profile height equal to 0.2–0.4.

As a result of theoretical studies, mathematical model has been developed for calculating integral characteristics of metal deformation (coefficients of height deformation of a flange, open and closed flanges) depending on direct wall compression, lateral compression of flanges and geometric parameters of deformation zone. Mathematical model is based on a multifactorial theoretical experiment in dynamic formulation with varying dimensionless technological parameters of rolling (wall compression ratio in thickness, average ratio of side compression upon thickness of open and closed flanges and ratio of wall width to thickness). Limits of variation of the dimensionless technological parameters of rolling were selected according to the results of analysis of the current rolls calibrations. Metal flow in passes was investigated with using the finite element method and software package SIMULIA/ABAQUS. Graphs of coefficients' variance of height deformation of flanges, open and closed flanges from wall compression, side compression of flanges and wall width are given. Simulation results are processed with using classical regression analysis methods using the MathCad14 and SPSS programs and presented as regression dependencies. Mathematical model adequately describes metal deformation in rough closed girder passes and is recommended to be used in practice under development of rolling technology and working roll calibrations for producing high-precision I-beams.

Keywords: rolling, roll calibration, I-beam, girder passes, deformation, flange increment, graph, mathematical model, metal deformation.

Remez O. A., Oginsky I. K., Kuz'mina O. M. Simulation of continuous rolling process in “oval - circle” groove system // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The development of rolling technology for various steel groups on continuous mills is currently being carried out in the absence of reliable information about the relationship between height and transverse deformations under conditions of front and rear tension and their joint action. The effect of exhaust gauge systems on rolling parameters in continuous mills is not sufficiently studied. The study of rolling parameters in the calibers of the oval-circle system (discussed on the example of the circular-oval scheme when rolling round billet in an oval caliber) was carried out using the FORGE 3D finite element program. Studies were done for steel 08X13, related to materials with increased widening. This feature of metal flow during deformation has not been studied enough, which makes it difficult to develop deformation regimes. The results presented in the article are intended, in particular, for the preparation of experimental studies.

The purpose of this work is the development of methods for studying the kinematic parameters of continuous section rolling using computer simulation methods, and determining on this basis the laws of change of technological parameters during continuous rolling in the oval-circle exhaust gauges system.

Simulation according to the specified scheme was performed for rolling cases with various combinations of front and rear tension. Studies were done for the conditions of the mismatch of the speeds of the front, rear, at the same time front and rear ends of the strip. The range of relative mismatch speeds (with respect to rolling without tension) was 2.5 ... 10 % with a multiplicity of 2.5.

The range of variation of the elongation ratio was $\lambda = 1.043 \dots 1.529$, it is quite characteristic for this system of calibers.

Keywords: FEM, gauge system, rheology, tension, elongation ratio, rolling, widening, steel grade, continuous mill.

Gerasimenko A. V., Markov O. E., Kosilov M. S., Hvashinskiy A. S., Ivanov P. H. Investigation of the rolling process of stepped cone rings // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

A new method of rolling large-sized conical rings with a stepped profile has been investigated. The proposed method consists into deforming of the workpiece with a step in a stepped die. The paper proposed a methodology for conducting research using the finite element method. The technique is designed to determine the dependencies of the stress-strain state and the shaping of the workpiece in the process of rolling with a stepped dies. Variable parameters were the relative height of the protrusion of the stepped work-pieces, which varied in the range of 2.3 ... 2.4. On the basis of the finite element modeling, the following were established: the intensity distribution of the deformations in the forging section after rolling with a stepped die. The taper of forgings was determined, which is formed when rolling by this method. This is explained by the fact that when the ledge is compressed, there is a greater tangential deformation of the ring work-piece in the step zone than the protrusion zone due to the different height of the stepped work-piece. It was established that when rolling a work-piece with a difference of relative diameters of 0.43, when rolling, the protrusion and the ledge are deformed simultaneously. In this case, the diameter of the ledge increases more intensively than the protrusion due to which the forging acquires a conical shape. This is due to the different degrees of deformation that are formed in the protrusion and the ledge. Moreover, the degree of deformation in the ledge increases more intensively than in the ledge. The difference in degrees of deformation arises from the difference in the thickness of the walls of the protrusion and the ledge. As a result of research carried out in the work, it was found that the rolling of stepped conical billets is possible, this expands the technological capabilities of the process of rolling large-sized forgings.

Keywords: stepped conical ring, rolling, stepped die, strain distribution, change of shape, taper.

Markov O. E., Zligoriev V. N., Zhytnikov R. U., Inchacov E. V., Rizak P. I. Improvement of upsetting process of four-beam workpieces with an angle of bent faces of 150 °// Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

A new method of upsetting workpieces is proposed. The method consists in upsetting of the workpieces with concave faces. A methodology for theoretical research has been developed. This technique consisted in investigating the mechanism of closing of artificial axial defects in blanks. The studies were carried out on the basis of finite element method. The main parameter of the study was the depth of the concave faces of the workpiece. This parameter varied in the range 25 %; 20 % and 15 %. The angle of the concave faces was 150°. The results of the theoretical studies were the distribution of: deformations and stresses in the body of the workpieces during the upsetting of the workpieces with concave faces. On the basis of these parameters, the index of the stressed state in the axial zone of the workpiece was established. As a result of theoretical studies it was found that the effective depth of the concave faces is the ratio of the diameters of the protrusions and ledges equal to 15 %. For this relationship, an intensive closing of the axial defect occurs. This is due to the high level of compressive stresses during the draft of workpieces with concave faces. An effective degree of deformation is established, at which an intensive closure of defects occurs. The distribution of deformations along the cross-section and the height of the workpiece has been established, as well as the change in the index of the stressed state during the deposition of blanks with concave faces. The carried out researches have allowed to draw a conclusion about high efficiency of the proposed new method of settling blanks with concave faces.

Keywords: concave faces, upsetting, stress-strain state, axial defects of the ingot, high-quality forgings.

Starkov N. V., Strelkovskaya L. I. Experimental study of plasticity of aluminum alloy 2024-T4 under pulsed electrohydraulic stamping // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The modern aviation industry traditionally uses sheet metal from aluminum alloys with increased strength characteristics. When using such materials in sheet punching on mechanical presses, there is often a problem associated with their tendency to fracture with a relatively small (up to 10 %) degree of deformation. In this context, there is a need to use new advanced technologies and equipment for the manufacture of parts from these alloys.

The article is concerned the plastic properties of medium-strength structural aluminum alloy 2024-T4, which is widely used in aircraft construction, and the technological capabilities of pulsed electrohydraulic (EH) stamping. This technology makes it possible to dose the discharge energy with intensity control and precise load application to specified parts of the surface of the part, use a simpler tooling.

In the multi-pulse deformation mode of the sheets under the influence of high pressure of the liquid and at its short-term effect, relaxation processes are intensified with a decrease in deformation hardening and residual stresses in the component. Due to this, the maximum degree of plastic deformation of the alloy increases and the sheets are not springing off.

This makes it possible to manufacture parts of complex shape and stabilize their shape and size in the process of pulsed loading. These qualities of EH stamping create good prerequisites for further expanding the scope of its use.

It was established that the limiting degree of deformation of parts from alloy 2024-T4 in the process of drawing depends on the technological process of their manufacture. It was experimentally shown that the maximum degree of deformation during the pulse high-speed process of EH stamping increases and for the alloy under study it is more than 1.36 times bigger than their maximum limits for mechanical stamping by the hydraulic press.

The EH stamping can achieve high surface quality of the parts, which is important for products used in the aviation industry, which high demands are made, especially when cladding stamped sheets with soft metals.

Keywords: electrohydraulic, stamping, alloy, aluminum, deformation, part, technology, press, strength.

Beygelzimer Y. Yu., Kulagin R. Yu., Savvakina D. G., Davydenko O. A., Dmytrenko V. Yu., Oryshych D. V. Influence of the severe plastic deformation on characteristics of Ti-Zr-Nb alloys // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

Alloys of the Ti-Zr system are promising materials for the manufacture of structural parts operating in chemically aggressive environments. Due to Nb, the Young's modulus of these alloys decreases from 95–110 GPa, which is typical for the Ti-Zr alloys, to 50–60 GPa and below. This allows one to bring its values to the corresponding characteristic of bone tissue, which is necessary for the mechanical compatibility of materials of medical implants, and can also be used in the technique for the manufacture of elastic elements for various purposes.

It was previously shown that alloys of the Ti-Zr-Nb system can be obtained by cold pressing and vacuum sintering of powder mixtures of titanium hydride, zirconium hydride and niobium. When using hydride powders, hydrogen plays the role of a temporary alloying element and is removed from metals during vacuum heating, simultaneously activating diffusion-controlled sintering and chemical homogenization of the powder system, as well as cleaning the surface of titanium particles from impurities (oxygen, chlorine, carbon). Despite the positive effect of hydrogen, during sintering in the absence of deformation processes (without pressure), it is not possible to reduce the volume fraction of pores below 5–8 % depending on the composition of the alloys, which negatively affects, first of all, on fatigue strength, plasticity and strength.

The article examines the effect of high-pressure torsion on the characteristics of 51Zr-31Ti-18Nb alloy (at.%), obtained by cold pressing and vacuum sintering of powder mixtures. It has been shown that severe plastic deformation

leads to the following effects: it provides a significant reduction in both the total porosity and the size of individual pores; it eliminates chemical heterogeneity of the alloy, persists after sintering; it forms a submicrocrystalline structure in the alloy; it increases the hardness of the alloy. The obtained results indicate a high potential of the high-pressure torsion for creating a corrosive and biocompatible alloy with a high complex of mechanical characteristics.

Keywords: nano-crystalline metals, phase transformations, microhardness, sintering, shear deformation, high pressure torsion.

Beloshenko V. A., Beygelzimer Y. E., Voznyak Yu. V., Chishko V. V. Modification of polymeric materials by severe plastic deformation // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The results of the research are summarized and the analysis of the effect of severe plastic deformation, realized by high pressure torsion, equal-channel angular and multi- angular extrusion, T-shape equal-channel extrusion, twist and planar twist extrusion, on the structure and physics and mechanical properties of polymeric materials of various architectures. The efficiency of the application of processing methods based on the use of deformation by simple shear for modifying the structure of polymers and polymer composites is shown. Severe plastic deformation allows forming orientation in block samples of polymers, which determines a unique complex of properties. In particular, equal-channel multi-angular extrusion in glassy polymers allows the realization of a structural state that ensures an increase in their deformation-strength and impact characteristics, regardless of the direction of the load. In the case of semi crystalline polymers, it leads to a manifold increase in stiffness and strength while maintaining the initial plasticity, "invar effect", a significant improvement in tribological characteristics. In polymer composites, a change in the structural parameters of the fillers and the polymer matrix provides additional possibilities in controlling their morphology and properties. The physical mechanisms of the identified effects of structural modification are discussed.

Keywords: polymeric materials, severe plastic deformation, structure, physical and mechanical properties.

Lezhnev S. N., Volokitina I. E., Arbuz A. S., Gaydarenko G. A. Study of the process of deformation of the aluminum alloy in the uniform angle angular matrix with the angle of joint of channels 45° // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

This article is described the various possible schemes of severe plastic deformation, by equal channel angular percussion (ECAP) process that allows receiving metal with ultrafine-grained structure. The results of computer simulation and on a transmission electron microscope investigations of aluminium alloy 6060 were presented. It is shown that the equal-channel angular pressing in the proposed matrix with a channel joint angle 45° provides the formation of a homogeneous subgrain structure with a size about 0.5 µm and has a positive effect on the mechanical properties of the aluminium alloy. According to the results of tensile tests, it was found that the strength level of blanks subjected to pressing in a matrix with a junction angle of 45 ° channels is much higher than that of samples subjected to traditional pressing in a matrix with an angle of 90 °. So the values of strength and yield increase in six passes for the traditional ECAP (in a matrix with a joint angle of 90°) from 250 to 462 MPa (the absolute increase in the value of the tensile strength is 212 MPa) and from 206 to 420 MPa (the absolute increase in the value of the yield strength is 214 MPa). Using a matrix with a junction angle of 45°, the ultimate strength and yield strength increase in six passes from 250 to 505 MPa (the absolute increase in the value of the tensile strength is 255 MPa) and from 206 to 447 MPa (the absolute increase in the yield strength value is 241 MPa), respectively. The plastic properties of aluminum samples in the ECAP process are reduced in both cases. So experimental studies of changes in the relative elongation in the tensile test showed that the level of plastic properties of aluminum after 6 passes drops in both cases almost 2 times.

Keywords: ECAP, ultrafine-grained structure, severe plastic deformation, aluminium alloy 6060.

Karnaugh S. G. Experimental studies of the process of rolling separation according to the three-point cold breaking scheme by bending under static-dynamic loading // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The purpose of this work is to experimentally verify the adequacy of the mathematical model of the process of separation of samples according to the three-point cold breaking by bending under static-dynamic loading and the development of advanced equipment schemes for the implementation of this process. Combined static-dynamic loading of samples during cold bending with a bend has a positive effect on the quality of shared blanks, which confirms the theoretical conclusions. High quality of the workpieces was observed when separating steel 50XΦA: the deviation of the crack trajectory from straightness is almost zero, the fracture surface is dull, there were no areas of plastic deformation in the area of the fracture surface. When separating samples from steel 30, 40 according to the three-point cold breaking by bending, an increase in the quality of the workpieces was observed compared to static and dynamic loads: the deviation of the crack trajectory averaged (0,8 ... 1,4) mm, on the surface of the fracture there were separate chips, breaks of the metal, micro and macro cracks, height macro irregularities did not exceed 0,3 mm. The analysis of dependences height of asperities on the magnitude of the static force shows that to obtain high quality blanks, it is recommended to choose the value of static force in the range of (40 ... 50) % of the force of three-point cold bending. Based on the analysis of the dependence of the deviation of the crack trajectory on the value of the tensile strength of the divided samples, it was established that with increasing material strength, the quality of the workpieces increases. The design of the press hammer with a wedge mechanism with a concave wedge for separation operations under static-dynamic loading, which greatly expands the technological capabilities of the equipment and ensures high quality of the split blanks.

Keywords: metal rolling, billet, separation, breaking, quality, force, static-dynamic loading.

Anischenko A. S., Kukhar V. V., Prysiashnyi A. G. Influence of the radii of curvature and thinning on the stressed state of the shells during superplastic forming // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The authors of the article show that the principal stresses, especially the tangential stress, depend on the principal radii of curvature, and the intensity of the stresses also depend on the thinning of the shells during superplastic forming. These results were achieved with superplastic forming of blanks from aluminum alloys AlMg5 and AlMg6 (the blank had a variable thickness) and the model alloy Sn-38% Pb superplastic and non-superplastic modification (modification is determined by the magnitude of the speed hardening coefficient of 0.6 and 0.25, respectively). For shells with a height equal to the radius of their base, the tangential and meridional stresses for the superplastic alloy Sn-38 % Pb are approximately equal (the error is no more than 18 %). The deterioration of the superplastic properties of the alloys causes tangential stresses to exceed the meridional stresses by 20–50% due to a substantial increase in the meridional radii of curvature. In shells of workpieces of variable thickness, the ratio of main stresses is a function of the relative radius of the base and has the shape of a parabola with a minimum at the junction points of the workpiece zones of various thickness. The error in the ratio of stress intensity in the studied shells to the same indicator for forming an ideally spherical shell with uneven wall thickness is 10 % for the superplastic alloy Sn-38% Pb and increases to 20–30 % for other alloys. If we assume that the shell has a contour of an ideal sphere and uniform thinning along the contour, then the previously indicated error of the ratio of stress intensity increases to 50–130 %.

Keywords: superplastic forming, circuit, radius of curvature, stresses, intensity, meridional, tangential.

Omarov S. A., Mahmudov K. D. Experimental study magnetic anastomoses forming // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The Main purpose of the experimental research of magnetic-anastomoses forming the definition of the parameters of discharge circuit. in particular, the discharge current, the magnetic field strength in the gap between the inductor and the moving element, the pressure parameters in the elastic medium during deformation of the workpiece, as well as the parameters of the deflection of the workpiece and the deformation thickness. These measurements must be performed synchronously in order to check the correctness of the computational model. The measurement data are based on pressure measurement methods, pressure sensor design and calibration, methods of measuring discharge current by the Rogovsky belt, magnetic field strength – by induction sensors. A system of dimensionless parameters affecting the efficiency coefficient is proposed. The empirical dependence of the efficiency coefficient on dimensionless parameters is obtained on the basis of experimental data processing. A measuring stand for complex verification of the design model on the parameters of discharge current, electromagnetic pressure on the moving element and pressure parameters in an elastic medium during deformation of the workpiece in the magnetic-anastomoses forming processes is proposed. At the same time calibration of all measuring converters is made. Comparison of the mathematical model on the parameters of discharge current, average electromagnetic pressure and pressure in an elastic medium with the results of experimental measurements showed that the error of forecasting these parameters are within the accuracy of the parameters of the deformation hardening curve of the material and the dynamic module of the volume compression of the elastic medium (polyurethane).

Keywords: experimental study, measuring the stand parameters of magnetic anastomoses forming, magnetic field strength, discharge circuit, the curve deformation uprajneniya, the dynamic module.

Shevtsov S. O. Analysis of the choice of the temperature mode of the process of rotational rotation using the tool of friction for leaktightness of the bottoms of cylinders // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

A significant place among industrial products takes products from the bottom. The analysis of the state of the issue of manufacturing cylinders in various ways. Quite often, cylinders are made of several parts that are welded. This method does not guarantee the high reliability of the connection of the metal of the bottom and body of the cylinder, and also require a significant number of various manufacturing operations and equipment, as well as other methods for the production of hollow products. One of the methods of manufacturing cylinders of increased strength and tightness is the method of using the operation of rolling a billet of steel pipe with a friction tool. This method is expedient from the point of view of cost reduction for large-scale production. This technology is simple to implement, lends itself well to automation and does not require significant capital investment to create mass production. But in case of violation of certain technological schemes of the running-in process, certain defects arise, reduce the quality of products, or require the elimination of defects. The aim of the work is to establish the influence of the temperature regime of running-in on the process to improve the quality of the bottoms of cylinders and containers of tubular different thickness blanks. The object of research is the process of manufacturing bottoms of cylinders of increased strength and tightness with a rotating friction tool. Mathematical modeling of the process on the basis of the heat conduction equations, taking into account the stress-strain state of the workpiece, made it possible to establish ranges of the main process parameters for further modeling by the finite element method. Such recommendations will be: the initial temperature, the relative thickness of the walls and the relative feed of the workpiece to the friction tool. After the simulation, the conclusions were made: that prior to the start of the running-in process, the optimum temperature for heating the workpiece is approximately equal to $T_{zom} = 0.8$. Heating in the process of running the workpiece is not required. For thin-walled workpieces, to prevent the effects of melting and overheating, it is necessary to cool the workpiece. For thick-walled blanks, it is recommended that heating be carried out as close as possible to the temperature $T_{zom} = 0.8$.

Keywords: running in, friction tool, temperature, balloon, finite element method.

Kargin B. S., Kargin S. B., Ashikhmin A. G. Influence of the shape of the working face of the punch and technological lubricant on the energy-power parameters of cutting-punching // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The results of laboratory studies of the influence of the shape of the working face of the punch and technological lubricant on the energy-power parameters of cutting-punching are presented. The power parameters were determined by the testimony of the P20 bursting machine. The punches had the following shape of the working face: flat, with one-sided inclination of the working cutting edge ($\alpha = 15^\circ$), with double-sided inclination of the cutting edges ($\alpha = \alpha = 15^\circ$), with corrugated working side surface (step $t = 0.5$ mm and $t = 1$ mm). The punches were made of steel U8A and had a hardness of HRC 56–59. The experiments were carried out on sheet blanks of St3sp steel with a thickness of 2 mm. The diameter of the cut part 52 mm.

It was established that the punching force with a punch with one-sided inclination of the cutting edges had a minimum value, which is 2.4 times less than when cutting with a flat punch

The effect of the grooved pitch of the side surface of the punch is established. In particular, it is shown that the use of a punch with a groove pitch $t = 0.5$ mm makes it possible to reduce the cutting force by 22 % compared with a punch having a groove pitch $t = 1$ mm. It is shown that the reduction of power parameters on the working faces of the punch can increase their durability. The most effective technological lubricant was "Ukrinol-8". Its use allows a 10 % reduction in the cutting force and a better surface for the cut part.

Keywords: cutting-punching, billet, part, punch, force, technological lubricant, cutting edge, corrugation, durability, cost, steel.

Orliuk M. V., Pimanov V. V., Savchenko A. V. Reducing of corrugations emergence probability in the case of multistep drawing of stainless steel 08Cr18Ni10Ti parts // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The article is devoted to results of investigation which were performed bespoke commercial organization. Analysis of traditional technology optimization possibility in case of multistep drawing was performed by the example of specific axisymmetric product made of stainless steel 08Cr18Ni10Ti. According to the scientific reference recommendations the two-step drawing with clamp application at each is required in order to manufacture a product. By means of numerical modeling in software package Deform-3D process features of detail manufacturing were investigated. Predictability of corrugations emergence in Deform 3D environment was conducted and confirmed by means of numerical modeling of first drawing without clamp application. It was estimated that the first drawing realization was impossible without clamp application. Numerical modeling of detail manufacturing by proposed technology with two-step drawing was also conducted. Stress-strain rate of the semifinished product on two-step drawing and effort charts were also defined. Obtained results have shown, that in a case of more favorable scheme of deformation using (with rational combination of process parameters) the possibility of drawing steps implementation without clamp using appeared. Flange stability on following drawing steps has increased thought rational deformation ratio distribution and matrix with cone-toroidal form of a working surface using. Results have been confirmed while practical realization of proposed technology. Obtained difference between values of drawing efforts, received by means of numerical simulation and practical experiment, does not exceed 10 %.

Keywords: drawing, clamp, drawing ratio, numerical modeling, finite element method, cone-toroidal matrix, hollow product, corrugations emergence.

Mikhailov O. V., Mikhailov A. O., Bagluk G. A., Shtefan E. V. Researching of compaction and forming of porous parts for obtaining forgings with the internal cone-shaped surface // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The finite-element method is used to study the process of forming a powder product with an inclined conical surface. Stamping is carried out in a stamp with an annular conical compensator. The patterns of compaction and forming of blanks of two types (with a uniform distribution of the initial properties by volume and bimetallic) are investigated.

Modeling is performed on the basis of a continual approach. The relations of the theory of plasticity of a porous body, which are a generalization of existing ellipsoidal models, were used. Determination of the shape of the stamped powder blank, as well as the fields of density, stresses and strains is carried out on the basis of the finite element method.

It is established that the deformation of the workpiece occurs in several stages. The radial flow of material from the center occurs at the beginning. Further, the material reaches the surface of the matrix and the flow into the compensator begins. At the final stage, the material completely fills the die cavity and the difference of density over the volume of the part decreases.

When stamping bimetallic blanks, the material of the upper layer is stronger than the material of the lower layer. In this case, the lower layer flows from under the upper layer. This phenomenon can be avoided due to differences in the initial porosities of the layers.

Keywords: stamping, powder blank, bimetallic blank, conical surface, porosity, plasticity theory, finite element method.

Gribkov E. P., Berezshnaya E. V., Ivchyk R. S., Kovalenko A. K. Investigation of the influence of volume discretization on the accuracy of calculation of sheet editing by the finite element method // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The main task in designing straightening processes is to determine the influence of straightening modes on the energy and process parameters and the final curvature of the sheets. The most accurate method for modeling the straightening process is the finite element method. The main disadvantage of this method is the long implementation time, which makes it difficult to solve optimization problems. The main goal of the work was to determine the minimum sufficient number of finite elements to obtain results with a relatively minimal scope of their values as the process progresses. On the basis of the implementation of the finite element model of the sheet straightening process, the influence of the discreteness of partitioning the volume of a deformable material on the accuracy and calculation time is analyzed in order to reduce the cost of machine time when solving optimization problems for determining straightening modes. The design scheme was a deformable sheet, 11 working rolls with a pitch of 275 mm and a diameter of 260 mm. The straightening process was modeled for a sheet 10 mm thick, 2000 mm wide and 3200 mm long. The sheet was presented in the form of a plastically deformable body, the rollers - in the form of absolutely rigid bodies. The problem was solved in a two-dimensional plane and in a dynamic formulation. Considering the nature of the process of straightening the thickness of the sheets were divided into five elements. When calculating the straightening power on the third roller and its coefficient of variation, it was found that when modeling, the rational number is 6000 finite elements or 1875 elements per linear meter. At the same time, the model implementation time was about 1.17 hours (Intel Core i5, 8Gb RAM) with a variation of straightening power of 0.01 and a calculation error of less than 1 % relative to a more accurate solution. It is this discretization that is rational for setting and solving problems of optimizing the technological settings of levelers.

Keywords: levelers, straightening, finite element model, work rollers, technological settings.

Maksymenko O. P., Orobtssev A. Yu., Samokhval V. M., Shtoda M. M., Marchenko K. K. Methods of research and analysis of wear gauges rolls wire block // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The study of roll wear as the main working tool in rolling processes remains an urgent task, despite numerous works in this area. The use of new roll materials, providing higher wear resistance, requires additional study of the features of their wear and improvement of methods for measuring wear. In this regard, the purpose of this work is to develop a methodology for the experimental study of roll wear, using the example of a wire block. Experimental studies of the wear of the rolls of the wire block using a hour indicator and optical-light method are performed. Statistical processing of the obtained data confirmed the uniformity of the measurement results and the possibility of applying the optical-light method as more informative. This method allows you to determine the wear on the entire contour of the grooves of rolls. Studies performed during the rolling of a rod of 5.5 mm in diameter using an optical-light method made it possible to establish that the depth of wear of the rolls of the rolls is unevenly distributed and significantly depends on the nature of the change in the average pressure of the metal on the rolls. Gauge of the fourth and fifth stands, where abrasive wear prevails, are most susceptible to development. In the first two stands, osteous wear is observed. The size of the gap between the rolls also has a certain influence on the wear of the roll gauges. With an increase in this gap, the probability of stalling a roll in caliber increases, which is reflected in its development.

Keywords: groove rolls, gauge, wear, wire rod block, optical-light method.

Naizabekov A. B., Lezhnev S. N., Panin E. A., Arbuz A. S. Effect of radial-shear rolling on the microstructure and mechanical properties of technical titanium // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

Improving the quality of hardware through the improvement of the microstructure is one of the main trends of modern metallurgy. This approach allows us to achieve special properties without the expense of expensive alloying additives. The basic idea is to grind the grain structure of the material to a size less than micron. At the specified grain sizes, the hardening properties begin to manifest with a relatively small loss of plasticity. In this case, one can speak of ultrafine-grained (UFG) materials. This direction is especially important for areas of science and technology where there are very strict requirements for the size and weight of parts with their high strength. These are aerospace engineering and medicine (implantology and orthopedics). Therefore, it makes sense to conduct research primarily on relevant materials. Titanium is known for its biological inertness, therefore it is the basis for prosthetics. In this work, experiments were performed on technically pure titanium using a technology close to industrial implementation. An experiment was conducted in which a lengthy number billet at a temperature of 500 °C rolled from a diameter of 30 mm to a diameter of 13 mm in the mill SVP-08. After that, the billet was cooled with water, and samples were prepared for studying the microstructure and samples for studying the mechanical properties. Analysis of the micro-structure showed the presence of an equiaxial ultrafine-grained structure in the peripheral areas of the workpiece and the presence of an elongated fibrous texture in the axial zone. The strength of the workpiece has increased by more than 2 times, while the plasticity has decreased not so much.

Keywords: radial shear rolling, ultrafine-grained structure, titanium, mechanical properties, severe plastic deformation.

Frolov Ya. V., Domina K. G., Andreiev V. V. Comparative analysis of the simulation results and deformability evaluation of structure of steel grade 09Г2С in the process of lengthwise rolling of the tube billet Ø 250 mm // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

To develop the method of metal deformed state evaluation by the former dendritic structure parameters change, the analysis of the stress-strain state formed into the last, round, roller pass of stand 900 of the tube preforming mill 900 / 750 – 3 during the rolling and comparing the results of simulation with the deformability structure evaluation of the tube billet with the diameter of 250 mm have been carried out. The results of simulation and metallographic analysis have showed good convergence. On these results basis, the zones of active and passive deformation and their location in the direction of one-half vertical axis within the investigated billet cross section have been determined. The stick zone depth is 12.5 mm, the zone of intensive plastic deformation is concentrated at a distance of 50 – 112.5 mm from the billet center, and the central layers of the billet are the zone of passive deformation. For the first time, it has been shown that the change in the shear stress τ_{zx} fully reflects the nature of change in the structure deformability coefficient K of the large-size rolled metal. In the study of the strain effect on the microstructure of steel, the use its structural component – chemical heterogeneity inherited from dendritic segregation of silicon and manganese – allows to execute not only a quantitative evaluation of the intensity and localization of deformation, but also a qualitative evaluation of the change in shear stress within the billet section. Further researches in this direction will expand the theoretical concepts of the formation of metal stress-strain state in high deformation areas during the rolling and become the basis for development of practical recommendations to improve the production technology of large-section rolled products.

Keywords: simulation, lengthwise rolling, high deformation area, tube billet, stress-strain state, steel, dendritic structure, deformability coefficient.

Borovik P. V. Substantiation of profiling of shaped knife for separation of square billet in hot condition // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The advantages and disadvantages of the process of separation in hot condition of billet with square shape with special shaped knives were analyzed. There is expediency of carrying out theoretical researches of cutting knives of separating operations based on finite elements method. The purpose of the work is theoretical justification of shaped knife in order to separate square billet in hot condition by mathematical simulating based on finite elements method. The description of three-dimensional mathematical model on the basis of which theoretical researches of process of separation of square billet with a section of 120 × 120 mm of steel 20 at a temperature 970 °C with speed of 70 mm/sec is performed in this article. In order to get the assessment of the impact of profiling of knives for billet's shaping in the cut zone the results are presented of simulation process of knives with different configuration. During the data processing of simulating were received three relative parameters and two of them characterize tightening (loss of thickness) of billets ending and the other one – rhombic form of the end surface. By results of the research was noticed that knives of profiling has made huge impact on quality of cut surface. The regression equations for all three parameters of quality of a cut, which allow to defining rational values of angular position and inclination of cutting surface of shaped knives, which can allow to providing necessary parameters of cut quality. It was offered to accept angular position of disclosure of the cutting edges of knives equal 95.6° at an inclination angle 7° that will allow to providing rhombic form 1.05. Results of work can be recommended for use to get solutions in design and technology questions of hot separation square billet by shaped knife on the angle.

Keywords: shaped knife, separation of square billet in hot condition, shears, mathematical model.

Korchak E. S., Belenets K. Ye. Investigation of tribotechnical properties of hydraulic press power cylinders on the basis of engineering methodology for evaluating its fail-safe operating resource // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The purpose of the work is to increase the life of the fail-safe operation of the power cylinders of hydraulic presses on the basis of the study of its tribotechnical properties, as well as the development of measures to reduce the general level of its wear. The most important determinants of wear are pressure of friction surfaces coupling and the speed of its relative moving in the seals of power cylinders, as well as the level of pressure drop and related cavitation phenomena for the bodies and plungers of power cylinders. Based on the results of the research of base units wear on the basis of the engineering methodology for evaluating its tribotechnical properties, four groups of curves were built, representing the dependence of the acceleration coefficient, the test duration, the wear rate of the part and the part non-failure operation on hydraulic press force. The researches have determined that with the increase of hydraulic press force: the coefficient of acceleration of the tests of the working and reverse cylinders, sealing and guides of the movable cross-beam is reduced; the duration of testing of the working and reverse cylinders increases, the time of working and reverse cylinders testing slightly increases, and the guides of the movable cross-beam, on the contrary, decreases; the speed of wear of the working and reverse cylinders, the guides of the movable cross-beam decreases; the lifetime of the fail-safe operation of the working and reverse cylinders and the seal increases, and the guiding of movable cross-beam has a large jump up. The development of measures of constant automatic control and prevention of the approach of the hydraulic press to the emergency border is a decisive factor in ensuring the reliability of its basic units, provided that they are of rational design and match the performance indicators to the given operational characteristics.

Keywords: hydraulic press, power cylinder, pressure, hydraulic fluid, cylinder body, wear.

Minkov K. A., Minkov A. N., Martynov S. V., Kalinov A. M. Mobile complex for regulated water-air hardening of forging equipment // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

In the present article the problem of increase in firmness of the tool for hot deformation of staly is considered. Requirements to the most used for production of the equipment сталям 5HNM and 4H5MFS and also the existing traditional ways of their providing are considered. The hardening environments applied when hardening the equipment are described, also weaknesses are shown their strong. Rather new way of hardening – adjustable air-and-water tempering, its advantages before volume immersion on Wednesday and also its ecological purity is presented. Some permanent and mobile units, now in use and also the enterprises at which such installations work are described. Their descriptions and the principle of work are given.

The installation developed on PJSC Ruspolimet is described. Its fundamental differences from similar installations are shown: application of computer management of work of two-phase air-and-water nozzles by means of a specialized software, existence of locking electrovalves and the system of a paroulavliviye. Its description is given, sketches are provided and the principle of work is described. Authors of article consider advantage of computer management a possibility of change of intensity of irrigation of a surface of the cooled product directly in the course of cooling that is especially important when tempering large-size stamps as allows to provide isothermal conditions in the field of martensitic transformation, preventing thereby crack formation and leads of metal, unlike continuous cooling of metal in the course of volume tempering when using traditional ways. Existence of two discretely adjustable cooling circuits of installation allows to receive the differentiated hardness of the work area of a stamp and shaft.

The device which is also developed by authors for receiving air-and-water mix of high uniformity and density – a two-phase air-and-water nozzle is presented. Its description and advantages in front of similar devices is given. The technique of determination of intensity of cooling with use of the specialized stand is developed.

Keywords: quenching installation, hardening method, steel 5XHM, stamp, nozzle, technique.

Chosta N. V. Recommendations on the design of forging equipment with a wedge mechanism with a concave wedge for separation processes // Material working by pressure. – 2019. – № 1 (48).

The purpose of this article is to develop recommendations for the design of equipment with a wedge mechanism with a concave wedge for separation operations. Mathematical models for calculating the geometrical, kinematic and force parameters of the wedge mechanism with a concave wedge have been developed. For the practical use of the proposed mathematical models, the results of calculations of geometric and power characteristics are presented in the form of nomograms. Using nomograms, the design of a press with a wedge mechanism with a concave wedge has been developed. The proposed press with a wedge mechanism with a concave wedge essentially has no restrictions on the diameter of the part being separated, since such a mechanism provides a significant gain in strength and variability of the ratio between the drive and technological forces. In addition, the press has a large closed height of the die space, which allows it to expand its technological capabilities through the implementation of more advanced cut patterns using die tooling. As a result of increasing the stiffness of the proposed wedge press with a concave wedge 1.2 ... 1.3 times, compared with traditional mechanical presses, the elastic deformation of its parts and drive decreases during the implementation of separation processes, and therefore increases the reliability of the equipment. This increases the utilization of equipment for the force – from 0.3 ... 0.4 (due to the elastic instantaneous unloading of the press) to 0.7 ... 0.8. The efficiency of the new press also increases due to the fact that the amount of work spent on separation decreases by about 60%, namely, the amount of work done by the elastic deformation of the machine. In general, the cost of a new press is reduced, compared to traditional mechanical presses for separation operations, also because the details of the wedge mechanism are more technological in manufacturing.

Keywords: hire, billet, separation, strength, quality, efficiency, rigidity, wedge, hinge, slider.