

Машеков С.А., Нуртазаев А.Е., Нурахметова К.К.

**ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
ЗАГОТОВКИ ПРИ ВЫСАДКЕ ОСЕСИММЕТРИЧНЫХ ПОКОВОК
С ПРИМЕНЕНИЕМ MSC.SUPERFORGE**

S.A. Mashekov, A.E. Nurtazaev, K.K. Nurakhmetova

**INVESTIGATION OF THE STRESS-STRAIN STATE OF THE WORKPIECE DURING
THE LANDING AXISYMMETRIC FORGINGS USING MSC.SUPERFORGE**

УДК: 669.35.074.669.539.5

В данной статье было исследовано напряженно-деформированное состояние заготовки при штамповке осесимметричных поковок с применением MSC.SUPERFORGE.

Показано, что при штамповке в инструменте с изменяющейся формой приращение степени деформации сдвига распределяется равномерно по сечению высаживаемой части заготовки. Установлено, что благодаря меньшей контактной поверхности и благоприятным условиям трения деформирующее усилие при штамповке в этом инструменте почти в 10 раз меньше, чем при обычной штамповке.

Ключевые слова: *напряженно-деформированное состояние, штамповка, высадка, титановые сплавы, локализация деформации.*

In this paper the stress-strain state of the workpiece during forming of axisymmetric forgings was investigated using MSC.SUPERFORGE. It was shown that in stamping tool with the changing shape, the increment of the degree of shear strain is distributed uniformly over the cross section of the planted workpiece. It has been established that because of the lower contact surface and good conditions of friction during stamping, the deforming force is almost 10 times smaller in this tool than during a conventional press forming.

Key words: *stress-strain state, stamping, landing, titanium alloys, deformation localization.*

Ведущие мировые производители машиностроительной продукции в настоящее время при проектировании особенно активно используют вычислительные программные комплексы Computer Aided Engineering (CAE-системы) [1]. Новые экономические реалии обуславливают применение систем, использующих метод конечных элементов (МКЭ), практически во всех областях машиностроения.

Основной эффект от использования вычислительных систем (ЭВМ + программа) в машиностроении получается не в сфере автоматизированной генерации чертежей, не в автоматизированном документообороте, как это нередко представляется, а в ускорении этапов проектирования изделия, замене дорогостоящего натурного эксперимента вычислительным [1]. Таким образом, использование CAE-систем при разработке машиностроительных объектов позволяет не только снизить себестоимость изделий, но и существенно повысить их качество.

В последнее время в мире возросли потребности в изделиях из материалов на основе титана [2]. Характерные для титановых сплавов сочетание высокой прочности и пластичности, возможность применения их до рабочих температур 600 – 650 °С,

относительно низкая плотность, обеспечивающая высокий уровень удельных эксплуатационных характеристик, отличная коррозионная стойкость во многих природных и промышленных средах предопределили широкую потребность в этом материале и высокую эффективность его применения.

В свете перечисленных преимуществ очень перспективным видится использование титановых сплавов в производстве клапанов двигателей.

Сегодня стоит задача организации опытного мелкосерийного производства заготовок клапанов из титанового сплава BT9 на существующем в КазНТУ имени К.И. Сатпаева оборудовании. Методом формообразования поковки из титанового прутка выбрана горячая объемная штамповка высадкой. Следует отметить, что в настоящее время в крупносерийном производстве выпуске клапанов, методом формообразования поковки является электровысадка.

В мелкосерийном производстве существует несколько способов получения поковок для изготовления клапанов. Среди них можно отметить 2 методики [1]:

- получение поковки за 4 перехода с использованием конических пуансонов (методика проф. Томленова А. Д.);
- получение поковки за 2 перехода с использованием специальных штампов (методика НИИТРАКТОРОСЕЛЬХОЗМАШ).

По нашему мнению использования для высадки инструмента с изменяющей формой является наиболее перспективной [3]. Использование этого процесса позволяет при сохранении всех преимуществ классических способов объемной штамповки избежать свойственных этому методу недостатков, в том числе повышенные требования к жесткости рабочего инструмента и необходимость приложения высоких удельных давлений при штамповке поковок небольшой высоты.

В работе была поставлена задача провести имитационное моделирование процесса изготовления поковки, используя способ штамповки в инструменте с изменяющей формой. В частности, рассчитать напряженно-деформированное состояние (НДС) заготовки.

В качестве инструмента моделирования и расчета был выбран популярный CAE-пакет MSC. SuperForge. MSC.SuperForge – универсальный конеч-

но-элементный пакет, на протяжении 30 лет являющийся одним из мировых лидеров.

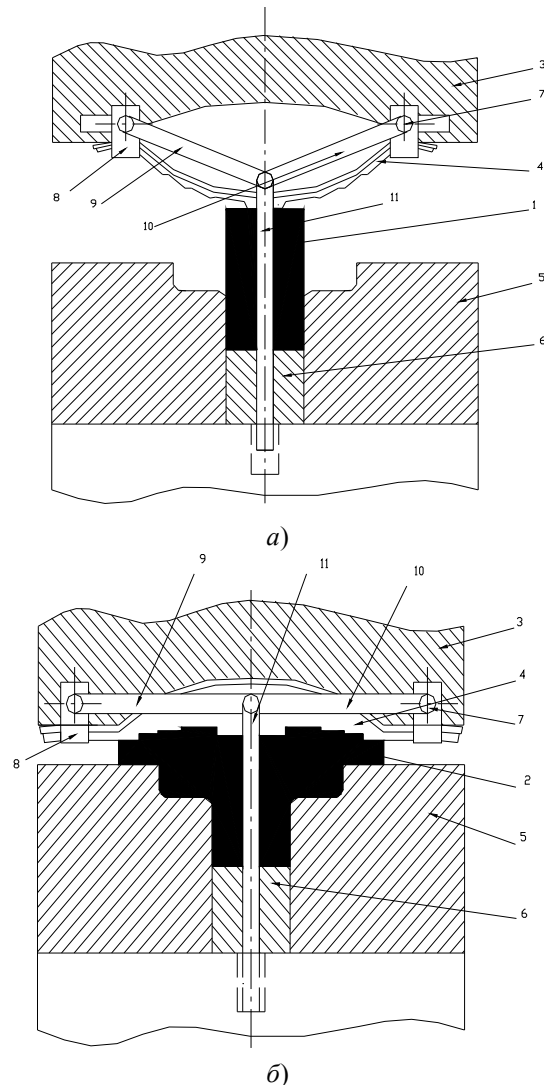
Самым ответственным среди этапов проектирования технологического процесса является анализ технологии изготовления детали с использованием MSC.SuperForge [1]. Все функции, выполняемые программой MSC.SuperForge, объединены в группы, которые называются процессорами. Программа имеет один препроцессор, один процессор решения, два постпроцессора и несколько вспомогательных процессоров, включая оптимизатор. Препроцессор используется для создания конечно-элементной модели и выбора опций для выполнения процесса решения. Процессор решения используется для приложения нагрузок и граничных условий, а затем для определения отклика модели. С помощью постпроцессора пользователь обращается к результатам решения для оценки поведения расчетной модели, а также для проведения дополнительных вычислений, представляющих интерес.

Задача получения поковки моделируется в трехмерной среде с разбиением заготовки на 4-х узловые элементы (CTETRA). Соприкасающиеся поверхности пуансона (штампа) и заготовки (контакт типа «rigid-to-flexible») разбиваются также на элементы TARGE169 и CONTA171 соответственно. Контакт между ними учитывает трение [4]. Материал заготовки принимается изотропным упруго-пластическим с нелинейным упрочнением (BISO). Весь процесс деформирования разбивается на достаточно малые подшаги. Шаг задачи определяет соответствующий переход. Решение соответствующей нелинейной системы уравнений осуществляется при помощи полного метода Ньютона-Рафсона. Заготовка нагревается до температуры 950 °С. Таким образом, наряду с прочностным расчетом осуществляется решение задачи термодинамики.

Данные имитационного моделирования в системе MSC.SuperForge достаточно точно соответствуют результатам реального натурного эксперимента [1]. Полученные данные о НДС заготовки в процессе формообразования позволяют оптимизировать технологический процесс получения поковки. Разработанная оригинальная методика исследования процессов пластического деформирования в среде MSC. Super Forge дает возможность максимально эффективно решать подобные задачи.

Сущность штамповки в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности состоит в том, что заготовку устанавливают между матрицей 5 и криволинейно-выпуклым элементом 4 пуансона 3 (рисунок 1). При движении траверсы пресса вниз происходит пластическая деформация заготовки криволинейно-выпуклым элементом пуансона и матрицей. При достижении верхнего нажимного механизма соответствующего упора, данный винт приводит в движение верхнюю V-образную направляющую, которая приводит к изгибу криволинейно-выпуклого элемента пуансона. Изгиб криволинейно-

выпуклого элемента приводит к вытеснению металла в радиальном направлении штампа. В конце процесса штамповки криволинейно-выпуклый элемент пуансона превращается в элемент с плоской рабочей поверхностью, что позволяет полностью заполнить полость штампа.



1 – заготовка; 2 – получаемая поковка; 3 – пуансон; 4 – криволинейно-выпуклый элемент пуансона; 5 – матрица; 6 – выталкиватель; 7 и 8 – клиновое крепление криволинейного выпуклого элемента; 9 и 10 – V-образная направляющая пуансона; 11 и 12 – нажимной винт пуансона.

Рисунок 1. Инструмент с изменяющейся формой рабочей поверхностью до (а) и после (б) выполнения операции штамповки

При штамповке в инструменте новой конструкции деформирующее усилие воздействует только на часть обрабатываемой заготовки. При этом трение между заготовкой и криволинейно-выпуклым элементом снижается, и материал заготовки достаточно свободно перемещается в радиальном направлении (известно, что криволинейно-выпуклая форма элемента снижает величину трения). Благодаря меньшей контактной поверхности и благоприятным

условиям трения при штамповке в инструменте новой конструкции достигается уменьшение усилия деформирования, нагрузки на инструмент и быстрое заполнение полости ручья штампа.

Еще одним преимуществом штамповки в инструменте новой конструкции является постепенный перенос акцента деформации от центральных частей заготовки к периферийным частям поковки в конце процесса штамповки. Все это и снижение величины трения способствует более равномерному распределению деформации по сечению заготовки и тем самым повышению качества получаемых поковок.

При обычном процессе штамповки трение затрудняет радиальное перемещение материала по рабочим поверхностям штампа [4]. Удельное давление на единицу поверхности достигает максимума по оси поковки и снижается в направлении ее периферийных участков. Максимальное напряжение σ_{\max} тем больше, чем больше трение между заготовкой и инструментом. В ряде случаев σ_{\max} может достигать значений, в несколько раз больших предела текучести материала.

Если при обычной штамповке деформирующее усилие воздействует одновременно на всю поверхность заготовки, то при штамповке в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности – только на часть поверхности (рисунок 1). В этом случае инструмент совершает обкатывающее движение. При этом трение снижается и материал заготовки достаточно свободно перемещается в радиальном направлении (за счет изменения трения скольжения на комбинированное трение качения и скольжения).

В работе произведено имитационное моделирование процесса изготовления поковки из титанового сплава ВТ9 в инструменте с изменяющейся формой рабочей поверхности. В частности, рассчитано НДС заготовки при штамповке.

Задача получения поковки моделируется в трехмерной среде с разбиением заготовки на 4-х узловые элементы (STETRA) [1]. Соприкасающиеся поверхности пуансона (штампа) и заготовки разбиваются также на элементы. Контакт между ними учитывает трение. Материал заготовки принимается изотропным упругопластическим с нелинейным упрочнением (BISO). Весь процесс деформирования разбивается на достаточно малые подшаги. Шаг задачи определяет соответствующий переход. Решение соответствующей нелинейной системы уравнений осуществляется при помощи полного метода Ньютона-Рафсона. Заготовка нагревается до температуры 950 °С. Таким образом, наряду с прочностным расчетом осуществляется решение задачи термодинамики.

Взаимодействие между инструментом и деформируемым материалом заготовки моделируется с помощью контактных поверхностей, которые описывают контактные условия между поверхностями инструмента и поверхностью поковки. В процессе моделирования контактные условия постоянно обновляются, отражая обкатывание инструмента и деформацию материала, что позволяет моделировать скольжение между инструментом и материалом обрабатываемой заготовки. Контакт между инструментом и поковкой смоделирован трением по Кулону, коэффициент трения был принят 0,3.

На основе полученных результатов численного моделирования установлено, что:

1) в начальный момент высадки в инструменте с изменяющей формой эквивалентные напряжения и деформации локализуются в контактных зонах заготовки с инструментом (рисунки 2, а, б и 3, а, б);

2) увеличение единичного обжатия приводит к переносу акцента эквивалентных напряжений и деформаций от контактной поверхности к периферии высаживаемой части заготовки (рисунки 2, в, г и 3, в, г);

3) максимальные значения эквивалентного напряжения по сечению заготовки равно 350 МПа, что меньше предела прочности, который для сплава ВТ9 равен 900 МПа.

4) в процессе штамповки в зонах локализации деформации повышается температура (рисунки 4);

5) с увеличением единичного обжатия максимальная величина контактного давления переносится от оси к периферии заготовки (рисунки 5);

6) характер скорости течения металла аналогичен развитию эквивалентной деформации во времени (рисунок 6);

7) при штамповке в инструменте с изменяющейся формой приращение степень деформации сдвига распределяется равномерно по сечению высаживаемой части заготовки;

8) благодаря меньшей контактной поверхности и благоприятным условиям трения деформирующее усилие при штамповке в инструменте с изменяющимся формой рабочей поверхности почти в 10 раз меньше, чем при обычной штамповке.

Таким образом, при сравнении существующих и предлагаемого способов штамповки следует отметить следующие преимущества штамповки в инструменте с изменяющимся рабочей поверхности: меньшее усилие деформирования; меньшая нагрузка на инструмент; более высокая стойкость инструмента.

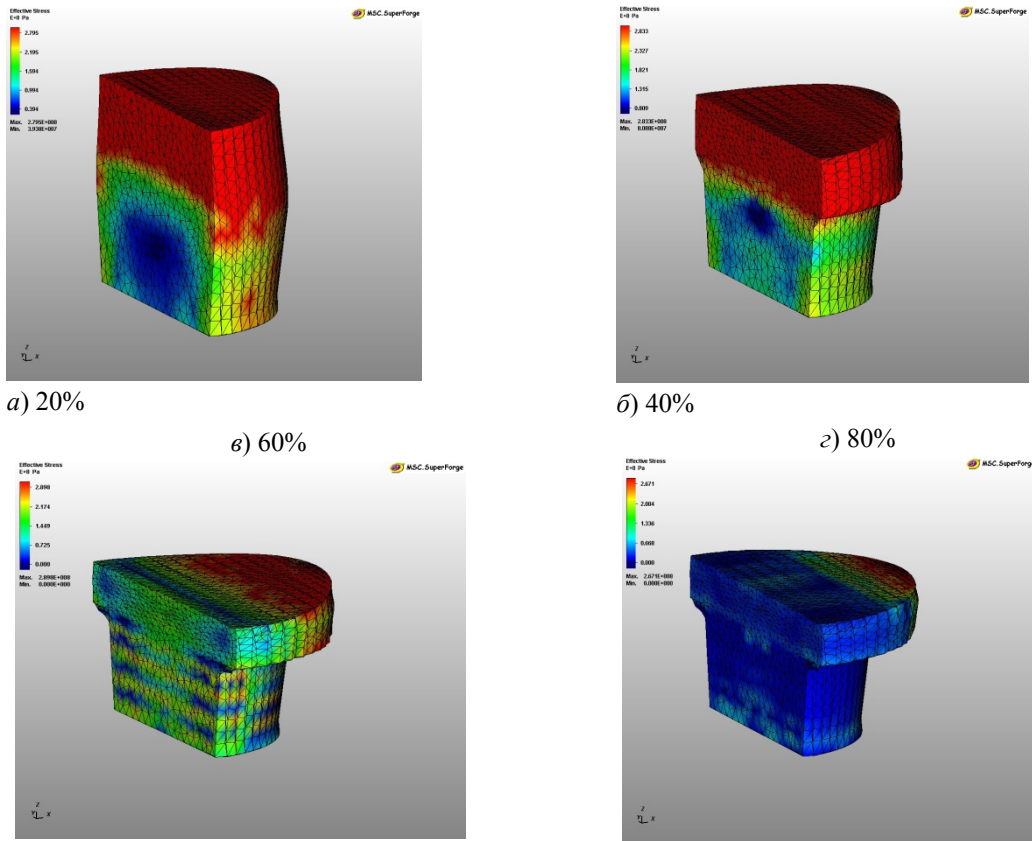


Рисунок 2. Картина распределения эквивалентных напряжений в заготовке при высадке в инструменте с изменяющейся формой, $t = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$

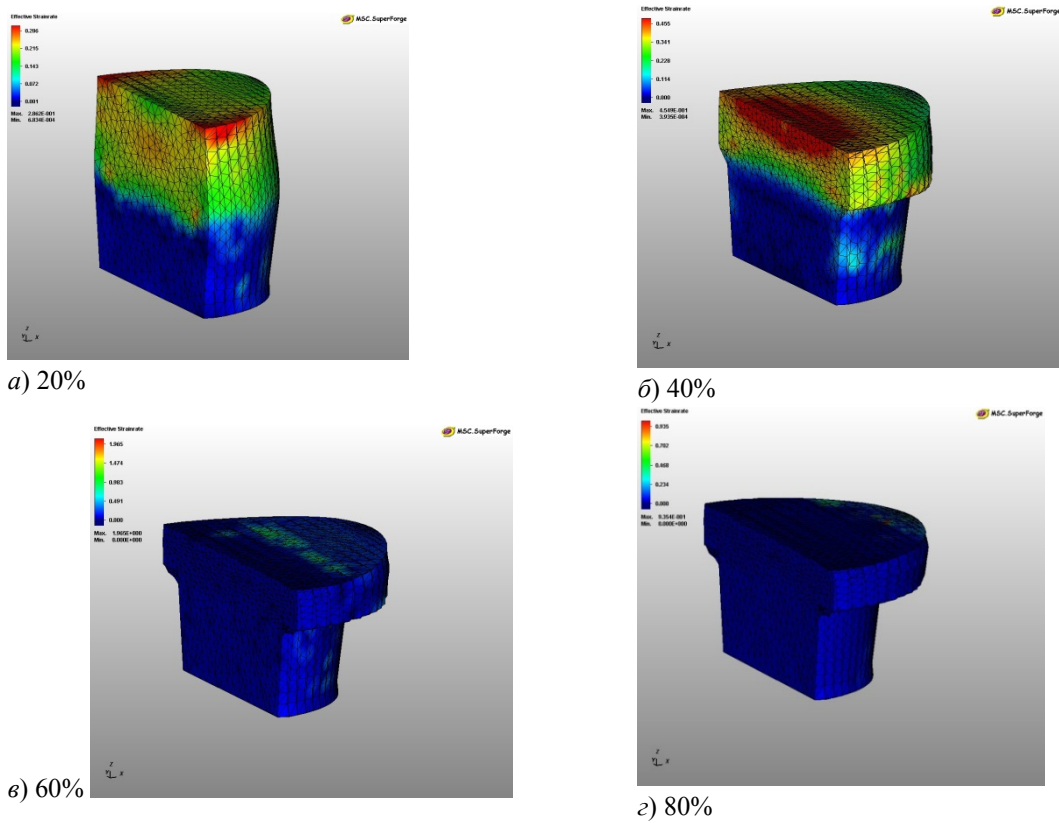


Рисунок 3. Картина распределения эквивалентных деформаций в заготовке при высадке в инструменте с изменяющейся формой, $t = 950\text{ }^{\circ}\text{C}$

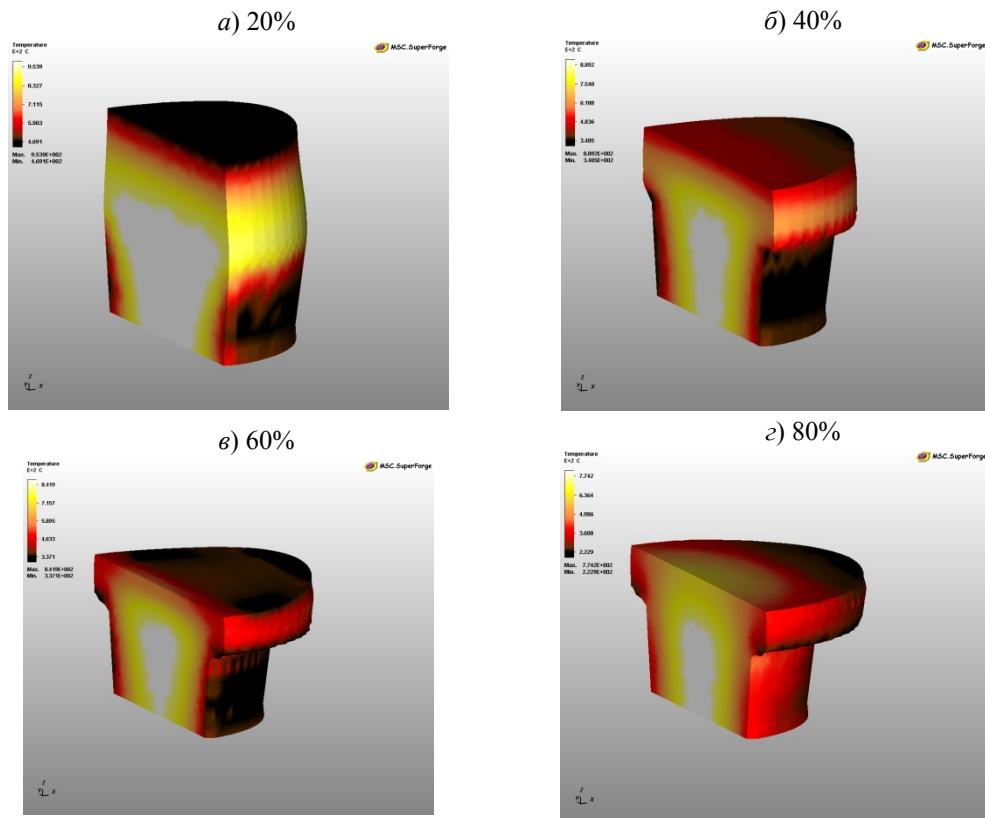


Рисунок 4. Картина распределения температурного поля в заготовке при высадке в инструменте с изменяющейся формой, $t = 950 \text{ }^\circ\text{C}$

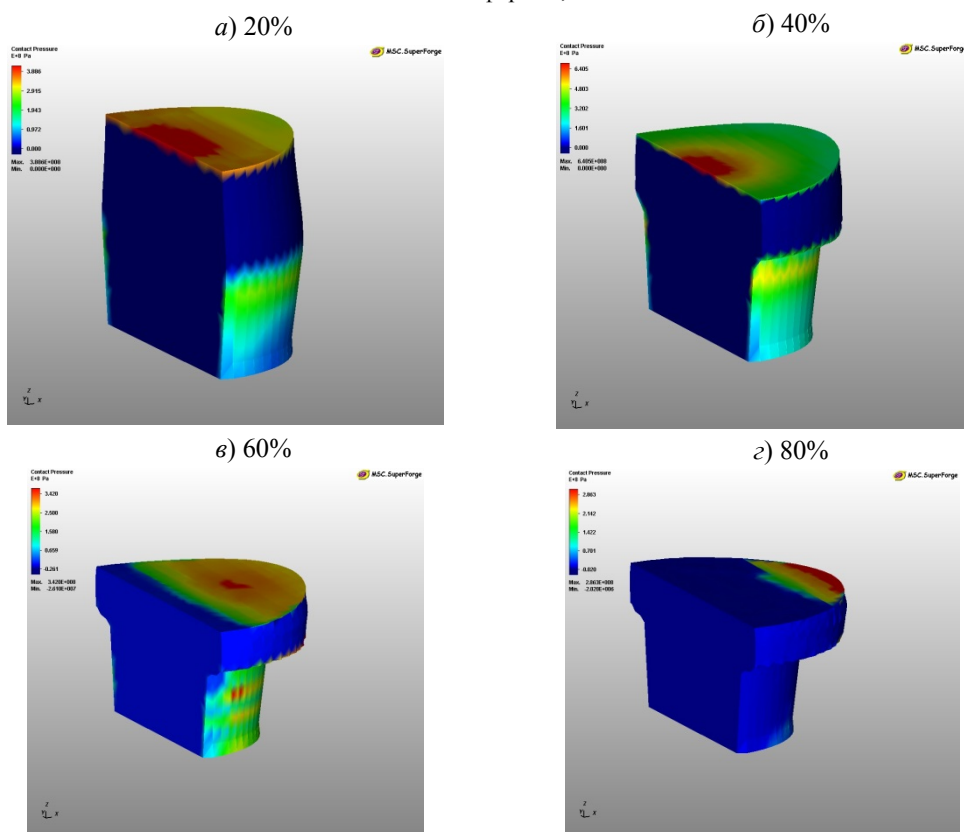


Рисунок 5. Картина распределения контактного давления в заготовке при высадке в инструменте с изменяющейся формой, $t = 950 \text{ }^\circ\text{C}$

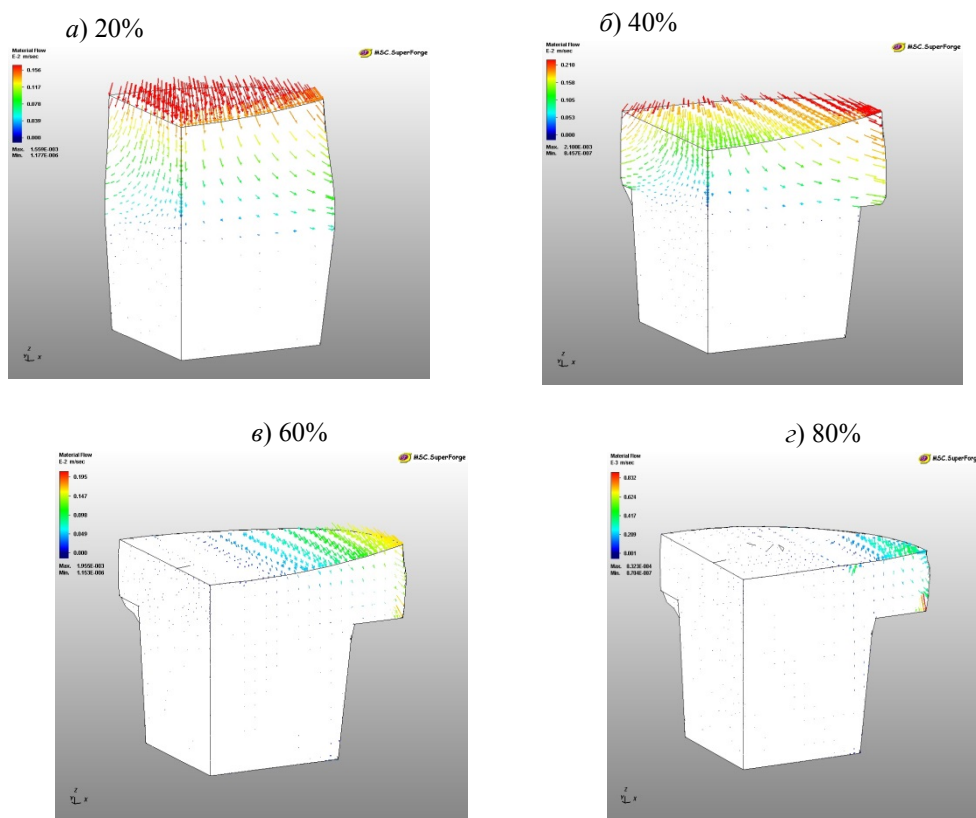


Рисунок 6. Картина распределения скорости течения металла в заготовке при высадке в инструменте с изменяющейся формой, $t = 950 \text{ }^{\circ}\text{C}$

Литература:

1. Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Нуртазаев А.Е. Технологияковки в инструменте с изменяющейся формой.- Павлодар: Издательство «Кереку», 2008. 634 с.
2. Машеков С.А., Биякаева Н.Т., Машекова А.С. Монография. Проблемыковки титановых сплавов и их решения. Часть 1 и 2 Издательство: LAP LAMBERT Academic Publishing. 2013. 230 с. и 251 с.
3. Патент РК № 15280. Инструмент для штамповки /А.Д. Омаров, С.А. Машеков, Н.Т. Биякаева и др. Опубл. 17.01.2005, бюл. № 1. - 2с:ил.
4. Nagy Jan. Orbitalne tvarnenie a kyvavou zapustkou // Strjirenska vyroba. – 1987. – № 5. – S. 317 – 322.

Рецензент: д.т.н., профессор Сазамбаева Б.Т.